



cg ee



Subsídios Técnicos para a
Agenda Brasileira de Bioetanol

Estudo de Sustentabilidade da Produção de Etanol de Cana-de-Açúcar

Relatório Técnico Final

Subsídios Técnicos para a Agenda Brasileira de Bioetanol

Estudo de Sustentabilidade da Produção de Etanol de Cana-de-Açúcar

Relatório Técnico Final



Brasília, DF
Setembro, 2009

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos

Presidenta

Lucia Carvalho Pinto de Melo

Diretor Executivo

Marcio de Miranda Santos

Diretores

Antonio Carlos Filgueira Galvão

Fernando Cosme Rizzo Assunção

Estudo de Sustentabilidade da Produção de Etanol de Cana-de-Açúcar. Subsídios Técnicos para a Agenda Brasileira de Bioetanol. Relatório final. Brasília: CGEE, 2009. 337 p : il.

1. Energia Renováveis - Brasil. 2. Sustentabilidade dos Recursos Hídricos – Brasil. 3. Sustentabilidade e o Uso de Água - Brasil. 4. Sustentabilidade dos Bicombustíveis – Brasil. I. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. II. Título.

*Centro de Gestão e Estudos Estratégicos - CGEE
SCN Qd 2, Bl. A, Ed. Corporate Financial Center sala 1102
70712-900, Brasília, DF
Telefone: (61) 3424.9600
<http://www.cgee.org.br>*

Esta publicação é parte integrante das atividades desenvolvidas no âmbito do Contrato de Gestão CGEE – 13º Termo Aditivo/Ação: Subsídios Técnicos para a Agenda Brasileira de Etanol – Subação: Sustentabilidade - Etanol /MCT/2008.

Todos os direitos reservados pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE). Os textos contidos nesta publicação poderão ser reproduzidos, armazenados ou transmitidos, desde que citada à fonte.

Subsídios Técnicos para a Agenda Brasileira de Bioetanol

Estudo de Sustentabilidade da Produção de Etanol de Cana-de-Açúcar

Relatório Técnico Final

Supervisão

Marcio de Miranda Santos

Consultores

Luís Augusto Barbosa Cortez (Coordenador)

André Tosi Furtado

Arnaldo Cesar da Silva Walter

Gilberto De Martino Jannuzzi

Heitor Cantarella

Isaias de Carvalho Macedo

Joaquim Seabra

Luiz Augusto Horta Nogueira

Manoel Regis Lima Verde Leal

Marcelo Cunha

Marco Aurélio Pinheiro Lima

Paulo S. Graziano Magalhães

Raffaella Rossetto

Rogério Cezar de Cerqueira Leite

Silvia Azucena Nebra

Weber Antônio Neves do Amaral

Equipe técnica do CGEE

Marcelo Khaled Poppe (Coordenador)

Mayra Jurua Gomes de Oliveira (Especialista em C&T)

Parceria

Centro de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE)

GRUPO DE TRABALHO

PARTICIPANTES

INSTITUIÇÃO

Dr. Luís Augusto Barbosa Cortez, Coordenador	FEAGRI/NIPE/UNICAMP
Dr. André Tosi Furtado	IG/NIPE/UNICAMP
Dr. Arnaldo Cesar da Silva Walter	FEM/NIPE/UNICAMP
Dr. José Teixeira Filho	FEAGRI/UNICAMP
Dr. Gilberto De Martino Jannuzzi	FEM/NIPE/UNICAMP
Dr. Heitor Cantarella	APTA
Dr. Isaias de Carvalho Macedo	NIPE/UNICAMP
Dr. Joaquim Seabra	NIPE/UNICAMP
Dr. Luiz Augusto Horta Nogueira	UNIFEI
Dr. Manoel Regis Lima Verde Leal	CENEA/CTBE
Doutorando Marcelo Cunha	NIPE/UNICAMP
Dr. Marco Aurélio Pinheiro Lima	CTBE
Dr. Paulo S. Graziano Magalhães	FEAGRI/NIPE/UNICAMP
Dra. Raffaella Rossetto	APTA
Dr. Rogério Cezar de Cerqueira Leite	NIPE/UNICAMP
Dra. Silvia Azucena Nebra	NIPE/UNICAMP
Dr. Weber Antônio Neves do Amaral	ESALQ/USP

INSTITUIÇÕES CONTRATADAS

UniSoma Matemática para Produtividade S.A

ICONE (Instituto de Estudos do Comércio e Negociações Internacionais)

SUPORTE

Isis Maria Ditrich Demário Fujii	CTBE
Rodolfo Dourado Maia Gomes	NIPE/UNICAMP

SUMÁRIO

OE1. ESTUDO DOS NEXOS AGRO-ECOLÓGICOS LOCAIS DA PRODUÇÃO DE ETANOL DE CANA-DE-AÇÚCAR..... 1

1.1	Caracterização das possíveis condições de produção de bio-etanol em 2015 e 2025, consideradas as novas tecnologias agrícolas.....	1
1.1.1	Introdução	1
1.1.2	Aspectos relacionados à produção de cana-de-açúcar.....	5
1.1.2.1	Identificação dos parâmetros relevantes	5
1.1.2.2	Levantamento dos valores de referência	10
1.1.2.3	Estimativas dos valores prospectivos em 2015	20
1.1.3	Aspectos relacionados ao processamento da cana-de-açúcar	28
1.1.3.1	Identificação dos parâmetros relevantes	28
1.1.3.2	Levantamento dos valores de referência	30
1.1.3.3	Estimativas dos valores prospectivos em 2015	37
1.1.3.4	Estimativas dos valores prospectivos em 2025	39
1.2	Comentários sobre a "renovabilidade" efetiva dos combustíveis.....	44
1.2.1	Introdução	44
1.2.2	Energias renováveis e sustentabilidade: fundamentos e conceitos	45
1.2.3	Certificação e sustentabilidade na agroindústria do bioetanol (BNDES, 2008, resumido)	48
1.3	Sustentabilidade dos Recursos Hídricos em Bacias Hidrográficas com Cobertura Predominante de Cana-de-Açúcar.....	50
1.3.1	Sustentabilidade dos Recursos Hídricos	50
1.3.2	Balanço Hídrico.....	54
1.3.3	Modelagem do balanço hídrico proposta para as áreas de cultura de cana-de-açúcar	57
1.3.4	Conclusão	60
1.4	Estudo das formas de redução do consumo de água nas fases agrícola e industrial	60
1.4.1	Objetivo	60
1.4.2	Introdução	61
1.4.3	A sustentabilidade e o uso de água.....	62
1.4.3.1	Sustentabilidade.....	62
1.4.3.2	Necessidades de água.....	63
1.4.3.3	Limites ou disponibilidade de água	65
1.4.3.4	Legislação de uso da água	67
1.4.3.5	Cobrança e Legislação no Estado de São Paulo.....	68
1.4.3.6	Legislação referente ao descarte de efluentes	69
1.4.4	Fase agrícola	69
1.4.5	Fase industrial.....	71
1.4.5.1	Revisão da Literatura: o reuso e a qualidade da água	71
1.4.5.2	Algumas soluções para a redução de consumo industrial de água.....	73
1.4.5.3	Modelagem: Potencial de Redução de Consumo de Água numa Usina Sucroalcooleira.....	75
1.4.6	Conclusões.....	85
1.5	Uso de fertilizantes na cultura da cana-de-açúcar	86
1.5.1	Avaliação das necessidades de nutrientes para a produção de cana-de-açúcar e quantidade e tipos de fertilizantes e corretivos efetivamente empregados na cultura	86
1.6	Suprimento de fertilizantes, corretivos e matérias-primas	93
1.6.1	Análise da dependência de importação e da evolução do mercado internacional de fertilizantes	93
1.7	Fixação biológica de Nitrogênio	95
1.8	Uso de resíduos agro-industriais para o suprimento de nutrientes em cana-de-açúcar	96

OE2. ANÁLISE DAS TRAJETÓRIAS SÓCIO-ECONÔMICO-AMBIENTAIS DA PRODUÇÃO DE ETANOL DE CANA-DE-AÇÚCAR	97
2.1 Estudo dos sistemas de produção associados à cana	97
2.1.1 Metodologia – análise de insumo-produto	98
2.1.2 Resultados	104
2.2 Exame da integração da expansão em grande escala da produção e uso do bioetanol com a produção de alimentos (açúcar, grãos), e com a atividade pecuária (carne)	107
2.2.1 Considerações Técnicas	108
2.2.2 Representação da Dinâmica de Planejamento da Integração Cana, Grãos, Bioetanol, Energia e Pecuária	111
2.2.2.1 Simulação da integração Destilaria e Pecuária	111
2.2.3 A integração da cana-de-açúcar com a produção anual de grãos	120
2.2.4 Modelo Matemático para Manejo Bovino	122
2.2.4.1 Descrição	122
2.2.5 Comentários Finais	125
2.3 Apreciação da integração da produção em grande escala de bioeletricidade e de insumos industriais no sistema produtivo açúcar – álcool tradicional	125
2.3.1 Análise de Custo Energético do processo de produção de energia elétrica, açúcar e etanol	125
2.3.1.1 Custo energético	126
2.3.1.2 Casos analisados	131
2.3.1.3 Volumes de controle adotados para a análise	133
2.3.2 Resultados e Discussão	147
2.4 Mapeamento das trajetórias de indicadores críticos selecionados – tecnológicos, econômicos, sociais e ambientais – da produção e uso do bioetanol ao longo dos últimos 30 anos	156
2.4.1 Indicadores tecnológicos	156
2.4.2 Indicadores sociais	159
2.4.2.1 Indicadores sociais agregados por Unidades Territoriais	159
2.4.2.2 Indicadores de Nível e Qualificação do Emprego	162
2.4.3 Indicadores ambientais	167
2.4.4 Síntese dos Indicadores de Sustentabilidade	169
OE3. SUBSÍDIOS PARA A AGENDA NACIONAL E INTERNACIONAL DE CERTIFICAÇÃO DE PRODUTOS E DE PROCESSOS PRODUTIVOS DO BIOETANOL	172
3.1 Levantamento das iniciativas atuais, nacionais e internacionais, de certificação	172
3.1.1 Introdução	172
3.1.2 Visões sobre a Sustentabilidade dos Biocombustíveis	172
3.1.3 Iniciativas Voltadas a Sustentabilidade dos Biocombustíveis	175
3.1.3.1 Iniciativas Internacionais	175
3.1.3.2 Iniciativas Nacionais	184
3.1.4 Comentários Finais	187
OE4. ESTUDO DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NA CADEIA PRODUTIVA DE BIOETANOL DE 1ª E 2ª GERAÇÃO	188
4.1 Introduction	188
4.2 Sugarcane ethanol sustainability: summary of the state of the art	190
4.2.1 “Environmental sustainability of sugarcane ethanol in Brazil”	190
4.2.2 “Prospects of the sugarcane expansion in Brazil: impacts on direct and indirect land use changes”	196
4.2.3 “Mitigation of GHG emissions using sugarcane bioethanol”	199
4.3 LCA database update	205

4.4	By-product credits	210
4.5	Efeitos Indiretos da Mudança no uso da terra (Indirect Land Use Change)	214
4.5.1	Introdução	214
4.5.2	Colaboração institucional	215
4.5.3	Avaliação das Metodologias Utilizadas.....	216
4.5.4	Modelo Conceitual para Mensurar ILUC.....	220
4.5.5	Desenvolvimentos Implementados	222
4.5.6	Compatibilidade do BLUM com Outros Modelos	224
4.5.7	Necessidade de Melhorias Identificadas	225
4.5.8	Conclusões e Sugestões de Pesquisa	226
4.6	Carbon and other Green House Gases (GHGs) datasets and suggestions on a long term transdisciplinary research agenda	228
4.6.1	Introduction.....	228
4.6.2	Sustainability and research drivers for sugarcane production systems.....	229
4.6.3	Benchmark of Brazilian research initiatives on ethanol	230
4.6.4	Regulatory and new environmental frameworks for sugarcane in Brazil.....	233
4.6.5	Carbon data and other Green House Gases (GHGs) for Brazil	235
4.6.6	The need of a transdisciplinary research: contributions to a research agenda.....	238
4.6.7	The current and future role of biotechnology on ethanol production systems and regulatory frameworks.....	243
4.6.8	Other critical issues for improving ethanol productivity and sustainability	244
4.6.9	Concluding remarks	245
5.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	247

OE1. Estudo dos nexos agro-ecológicos locais da produção de etanol de cana-de-açúcar

1.1 Caracterização das possíveis condições de produção de bio-etanol em 2015 e 2025, consideradas as novas tecnologias agrícolas¹

1.1.1 Introdução

A relevante expansão da produção de etanol para fins automotivos no Brasil durante as últimas décadas apoiou-se de forma decisiva no desenvolvimento tecnológico. Podem ser identificadas nesse período três fases no desenvolvimento e implantação de tecnologias (Macedo, 2007):

- entre 1975 e 1985: ênfase em produtividade, para atender aos aumentos de demanda, particularmente com aumentos de capacidade nos sistemas de moagem e destilação e ganhos expressivos na produtividade das fermentações.
- a partir de 1980: ênfase na eficiência de conversão, tendência reforçada com o advento da estabilização da produção em meados dos anos oitenta, consolidando-se os ganhos no rendimento da fermentação e na extração.
- a partir de 1985: preocupação com o gerenciamento da produção, resultando na implementação de ferramentas tecnológicas como os programas para otimização da reforma de canaviais, acompanhamento da safra; controle operacional de processos e os controles mútuos agrícolas e industriais.

Por conta da existência de um significativo número de unidades produtoras, implementando de forma diferenciada as melhorias e avanços tecnológicos, de modo a coexistirem as fases mencionadas acima, os padrões de desempenho variam bastante entre tais unidades. Com efeito, as avaliações sistemáticas do desempenho industrial implementadas pelo CTC (anteriormente Centro de Tecnologia Copersucar, desde 2005 Centro de Tecnologia Canavieira) em uma ampla amostra de usinas apresentavam uma razoável diferença entre os “valores máximos praticados” para a eficiência total de conversão e os “valores médios”, ambos crescentes no tempo, sinalizando uma margem para a transferência interna de tecnologia (Macedo, 2007).

Entre os avanços tecnológicos implantados desde 1975 no processo industrial devem ser destacados:

- Desenvolvimento de melhores sistemas de preparo da cana (picadores e desfibradores)

¹ Paulo S. Graziano Magalhães – Prof. Titular da Feagri, UNICAMP; Prof. L.A. Horta Nogueira – Professor Titular da UNIFEI.

- Desenvolvimento do sistema de moagem com 4 rolos, embebição cruzada e alimentação sob pressão, com elevados rendimentos de extração
- Tecnologia para operação de fermentações “abertas” de grande porte
- Aumento na produção de energia elétrica na indústria (auto-suficiência)
- Obtenção de excedentes de energia elétrica e venda para a concessionária
- Avanços em automação industrial
- Avanços no gerenciamento técnico (agrícola e industrial)

O desenvolvimento tecnológico observado nesse setor tem sido basicamente a resultante de esforços tanto do setor privado (grupos como a Copersucar, com o CTC, a Cooperativa de Alagoas com o NATT, e grande número de empresas fornecedoras de equipamentos, como a Dedini, Zanini, Smar, etc, em São Paulo) quanto de áreas do setor público (institutos governamentais e universidades, como Planalsucar/RIDESA, Instituto Agrônomo de Campinas, ESALQ/USP, IPT, UNICAMP, e muitos outros) (FAPESP, 2007).

Além da diversificação de produtos, valorização de sub-produtos e redução dos impactos ambientais, um dos efeitos mais tangíveis da incorporação de aperfeiçoamentos na cadeia agroindustrial é a evolução da produtividade agroindustrial, mostrada na Figura 1, onde se apresentam de maneira separada as produtividades agrícola e industrial, respectivamente em t/ha e litro/t, bem como sua combinação, avaliada em litro/ha. Ao longo das últimas três décadas, essa produtividade apresentou taxa de crescimento anual de 3,1%, em valores médios para todas as unidades produtoras brasileiras, multiplicando por 2,6 o volume de bioetanol produzido por área cultivada.

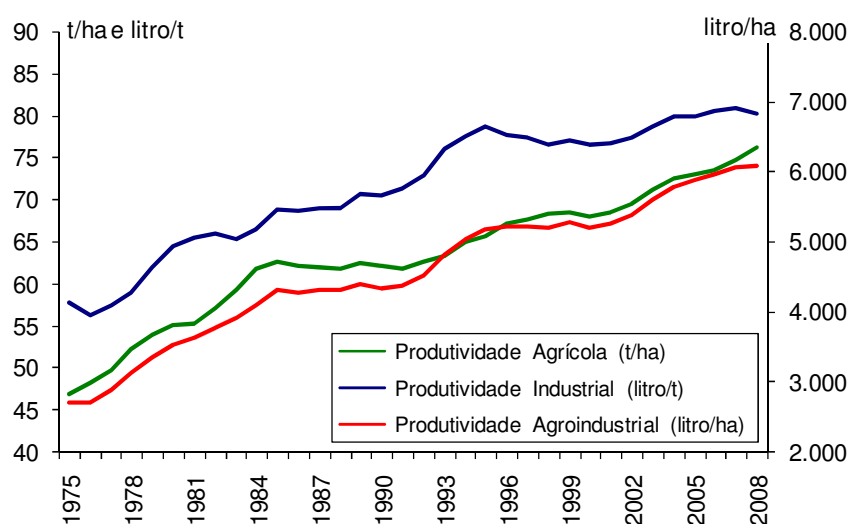


Figura 1: Evolução da produtividade na agroindústria do etanol no Brasil (MAPA, 2009).

Nesse contexto os ganhos de produtividade na área agrícola foram preponderantes e responderam pela maior parte do resultado global alcançado, como se apresenta na Figura 2, Figura 2: Incrementos relativos de produtividade referidos a 1975 (MAPA, 2009) onde se evidencia como os incrementos de biomassa produzida foram

acompanhados por ganhos menores na conversão industrial, cujos níveis ficaram praticamente estáveis desde meados dos anos noventa, quando os objetivos de racionalização dos processos, redução de custos e introdução de métodos gerenciais inovadores passaram a ser igualmente valorizados, sugerindo também uma relativa saturação nos ganhos de produtividade na conversão da matéria prima.

Não obstante, existe espaço para melhoramentos adicionais, como pode ser constatado assumindo uma produtividade agrícola de 85 t/ha e uma disponibilidade de 160 kg de ART por tonelada de cana, um valor típico das melhores lavouras, em termos teóricos resultaria 90 litros de etanol por tonelada de cana (tc) e 7.640 litros por hectare, níveis bem superiores aos valores médios atualmente praticados pela agroindústria brasileira. Vale observar que as tecnologias industriais estão próximas desse nível de conversão, enquanto a produtividade agrícola, como vista, poderá ser ainda significativamente melhorada.

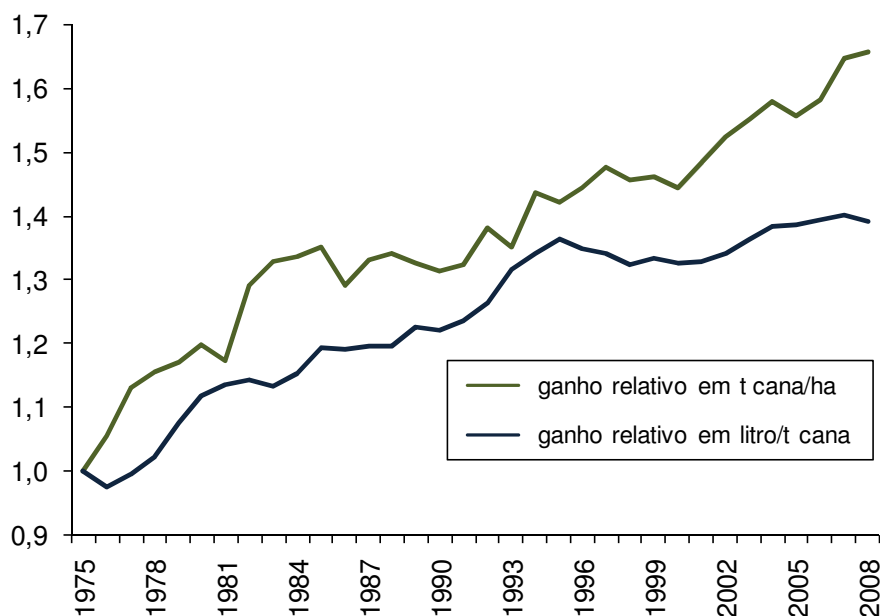


Figura 2: Incrementos relativos de produtividade referidos a 1975 (MAPA, 2009)

A evolução da produção anual de cana-de-açúcar no Brasil tem crescido de forma exponencial ($R^2 = 0,95$) desde a metade do século passado, como pode ser observado na Figura 3Figura 4 elaborada a partir dos dados da série histórica do MAPA (2009). Considerando este modelo de crescimento, atingiremos no ano de 2025 uma produção anual de 1.200 milhões de toneladas.

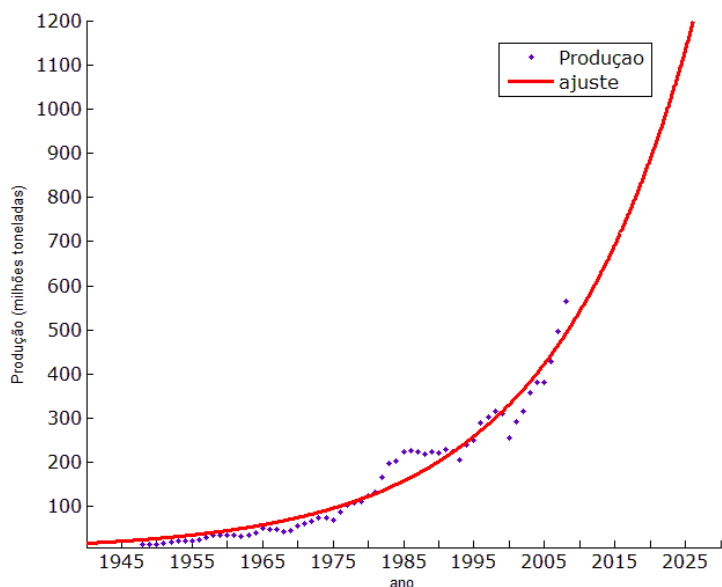


Figura 3: Evolução da produção de cana-de-açúcar no Brasil (MAPA, 2009).

Considerando apenas o período de 1975 a 2008 observamos que este crescimento ocorreu não só pela expansão da área de cultivo (200%), mas também devido a ganhos de produtividade (50%), como já mencionado, Figura 4. Baseado nesta série a perspectiva é que a área plantada com cana super os 11 milhões ha em 2025 com rendimento de 115 t ha^{-1} .

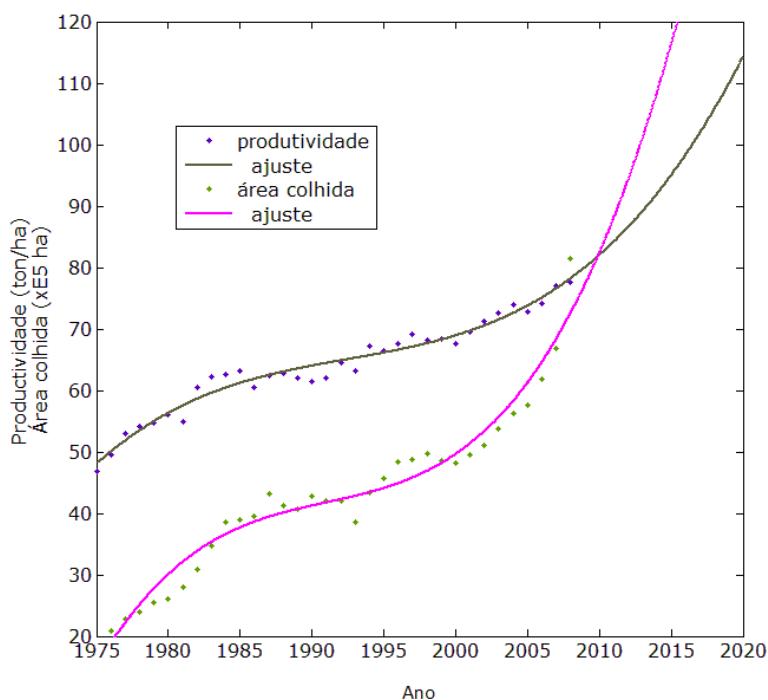


Figura 4: Área de cana-de-açúcar colhida anualmente no Brasil ($\times 10^5 \text{ ha}$) e produtividade média (ton ha^{-1}) considerando-se a razão entre produção e área colhida. (MAPA, 2009).

1.1.2 Aspectos relacionados à produção de cana-de-açúcar

1.1.2.1 Identificação dos parâmetros relevantes

Nos últimos anos observamos significativas alterações no setor agrícola com o incremento significativo da mecanização e modernização do processo de plantio, corte-carregamento e transporte da cana. Observamos no Estado de São Paulo que colheita mecanizada cresceu de 35% em 2002 com apenas 20% de cana crua para cerca de 70% na safra 2007/08 (Silvestrin, 2008) com mais de 49% colhida sem queima (GESP, 2009). Estes valores em menor escala se refletem nas demais regiões do país principalmente no Sudeste e Centro-Oeste. Isto tem ocorrido em função da implementação de leis federais e estaduais que estabeleceram prazos para a eliminação da prática da queimada, mas principalmente devido aos protocolos de intenções como o firmado entre o Governo do Estado de São Paulo e a UNICA (com adesão voluntária de seus associados) no qual aceita eliminar a queima nas áreas mecanizáveis até 2014, e nas áreas não mecanizáveis, até 2017. Protocolo semelhante foi firmado em Minas Gerais, entre representantes do segmento do estado e o poder público. O objetivo é o de estabelecer prazos para eliminar a queima da palha da cana-de-açúcar, até 2014 por meio da mecanização da colheita (UNICA, 2008).

A Anfavea (2009) em seu relatório anual não faz distinção entre a produção e comercialização de colhedoras por categoria, mas a Tabela 1 apresenta uma estimativa baseada em dados de fabricantes da produção de colhedoras de cana vendidas no Brasil a partir do ano 2000. Hoje se estima que estejam em operação cerca de 1600 colhedoras. Considerando a capacidade efetiva de colheita anual média destas colhedoras, e o ritmo de crescimento da produção e vendas destas máquinas, observamos que este número é insuficiente para atender a necessidade de mecanização da área de produção e expansão da cana prevista para os próximos anos.

Tabela 1: Vendas de colhedoras no mercado interno.

Ano	Total*	Cana-de-açúcar**
2000	3.628	110
2001	4.054	135
2002	5.616	100
2003	5.434	70
2004	5.598	80
2005	1.533	135
2006	1.030	180
2007	2.347	350
2008	4.340	300

Fonte: * ANFAVEA, 2009; ** estimativa baseada em dados de fabricantes.

Se a mecanização da colheita da cana trouxe benefícios inequívocos ao sistema, alguns trabalhos mostram que o uso intensivo das máquinas também causa danos ao solo comprometendo a sustentabilidade. Braunbeck (2009) mostra como o atual modelo de mecanização da cana, caracterizado pelo tráfego intensivo de máquinas e equipamentos causa a compactação do solo com consequências negativas na sua estrutura, reduzindo a porosidade, troca gasosa, e prejudicando a infiltração e retenção de água.

Apesar de sua disponibilidade e seu valor econômico a palha da cana que resulta da colheita sem queima só agora começa a ser utilizada no processo de cogeração de energia, mas ainda hoje é deixada sobre o solo. Se a manutenção da palha no campo traz benefícios evidentes à produção da cana-de-açúcar, como a proteção ao solo contra erosão; redução na variação da temperatura do solo protegido contra a radiação direta do sol; aumento das atividades biológicas; melhor infiltração de água; maior disponibilidade de água devido à menor evapotranspiração; e melhor controle das ervas daninhas (Rossetto et al., 2009), também apresenta inconvenientes, como o aumento da incidência de pragas que afetam a qualidade da matéria prima e retardam a brotação diminuindo a produtividade, risco de incêndio, dificuldades de se realizar o cultivo mecânico durante a entre safra. Estes fatores negativos devem estimular a recuperação parcial da palha que pode representar significativa fonte de energia no processo de cogeração.

Parte da cana deixada sobre o solo durante o processo de decomposição é incorporada proporcionando o aumento do estoque de carbono e promovendo o sequestro do carbono atmosférico. Alguns trabalhos como os de Wood (1991), Blair (2000), e Noble et al. (2003) na Austrália; Dominy et al. (2002) e Graham et al. (2002b) na África do Sul, e Villegas (1998) em Cuba citados por Luca et al. (2008) mostram que a supressão da queima com manutenção da palhada sobre o solo resultou em maior concentração da matéria orgânica do solo, composta basicamente por cerca de 50% de carbono orgânico, e conseqüentemente aumento do estoque de carbono.

O sistema de plantio da cana também evolui neste período. O preparo de solo para a renovação da área de plantio de cana-de-açúcar ocorre em intervalo de quatro a seis anos, podendo, em alguns casos, chegar a dez anos, dependendo de vários fatores tais como tipo de solo, condições climáticas da região e tipo de cultivo realizado na área nos anos anteriores entre outros. O sistema de preparo de solo varia de acordo com a unidade sucroalcooleira, mas em áreas de renovação de canavial tradicionalmente inicia com a erradicação da soqueira. Esta operação é realizada mecanicamente (utilizando grade de disco rasa ou eliminador de soqueiras) ou quimicamente (utilizando-se herbicida glifosato). Devido ao intenso tráfego de veículos pesados nas entrelinhas de cana durante os anos produtivos do canavial, geralmente o grau de compactação da área é alto exigindo que se realize a operação de subsolagem, utilizando-se subsoladores de haste tracionados por tratores de grande potência. Em seguida é necessária a mobilização do perfil do solo visando o preparo do terreno, utilizando arados de aivecas ou grades pesadas, seguidas de gradagens com o objetivo de reduzir o tamanho dos torrões e uniformizar a superfície do solo deixando-o apto ao plantio. Detectada a necessidade de aplicação de calcário para elevação da saturação por base a 60%, este deve ser feito o mais uniforme possível no período que compreende o início do preparo do solo e antes da última gradagem.

O plantio tradicional da cana-de-açúcar envolve três etapas distintas. A colheita das mudas, em local distinto da área de plantio, a sulcação da área de plantio e distribuição das mudas e por último a cobertura das mesmas.

Até meados da década de 90 toda a cana era plantada de modo manual ou semi-mecanizado, onde a sulcação é realizada mecanicamente, a distribuição de mudas e a picagem do colmo é executado de forma manual, e o cobrimento das mudas e a aplicação de inseticida mecanicamente.

A partir de 1996-97 iniciava-se no país o processo de mecanização do plantio de cana, através da importação de equipamentos ou o desenvolvimento de soluções próprias como a projetada pelo Centro de Tecnologia Copersucar (Pinto & Moraes, 1977,a,b). No Sistema mecanizado todas as operações de plantio, são executadas em uma única passada, reduzindo a necessidade de mão de obra e melhorando a eficiência operacional do sistema com significativa redução de custo. Contudo as máquinas disponíveis hoje no mercado, devido ao baixo grau tecnológico empregado, requerem maior densidade de plantio, aumentando significativamente o número de gemas distribuídas por metro linear, e conseqüentemente demandando área maior para a produção de mudas. A introdução do plantio mecanizado associado à agricultura de precisão contribuiu com a redução de alguns problemas operacionais como falta de paralelismo entre linhas, melhorando a operação de colheita, principalmente a noturna, e ambientais associados ao preparo intensivo de solo como erosão hídrica e eólica.

O conceito mecânico de condicionamento físico do solo por meio de sua movimentação intensa e profunda vem sendo substituído pelo conceito de cultivo mínimo ou plantio direto na palha (SPD). O SPD é um sistema de produção em que se evita a perturbação do solo e se mantém sua superfície sempre recoberta de resíduos (palha) e/ou de vegetação. Neste sistema a atividade biológica, a incorporação de matéria orgânica e a redução do tráfego são capazes de manter o solo apto para o desenvolvimento das culturas com reduções drásticas da erosão, dos custos e das perdas de água.

No Workshop - Uso da Água na Produção de Etanol de Cana-de-açúcar realizado na UNICAMP, Braunbeck (2008) afirma que para mitigar os efeitos negativos do preparo convencional do solo o plantio direto na palha (SDP) se apresenta como um caminho muito promissor para conseguir conservação da água e do solo na agricultura canavieira. Plantio direto é a prática de cultivo de plantas sem preparo físico do solo em área total, movimentando apenas uma faixa estreita na linha onde as sementes ou mudas são depositadas e mantendo resíduos vegetais de outras culturas ou de ciclos anteriores sobre a superfície.

Atualmente, é reconhecida a importância irreversível do plantio direto no Brasil (Figura 5), que é utilizado principalmente nas lavouras de soja, milho, feijão, trigo e arroz, sendo que na soja se verifica a maior incidência. O plantio da cana pode e é feito por algumas usinas diretamente sobre a palhada da própria cana ou sobre a palha remanescente de outras plantas utilizadas no ciclo de rotação de culturas. As condições de cobertura do solo para a implantação do plantio direto na cana-de-açúcar são favoráveis, a não ser pelo elevado tráfego associado ao sistema de mecanização utilizado atualmente.

A industrialização da cana-de-açúcar gera resíduos como vinhaça, torta de filtro e cinzas de caldeira. De acordo com a composição desses resíduos foram desenvolvidas aplicações na lavoura na forma de fertilizantes sólidos ou líquidos, sempre focados na redução dos custos de adubação e redução dos impactos ambientais.

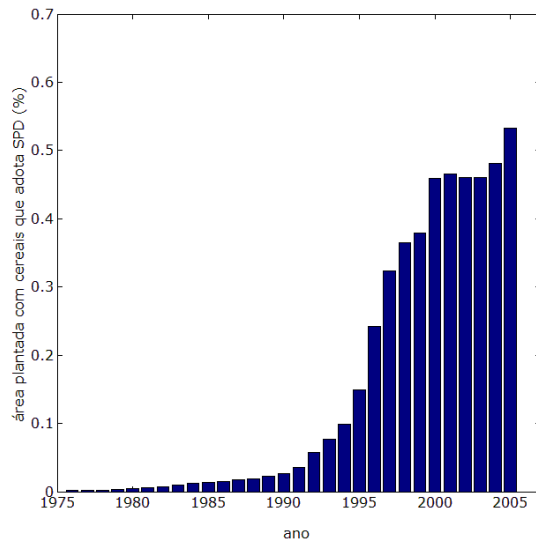


Figura 5: Evolução do sistema de plantio direto no Brasil na área cultivada com cereais em porcentagem.

Fonte: Federação Brasileira de Plantio Direto e MAPA (2009).

A vinhaça é um resíduo líquido proveniente da destilação do vinho para a obtenção do álcool. Produzida à razão de aproximadamente 11 litros por litro de etanol, constitui o mais importante efluente líquido da agroindústria da cana. Fatores positivos como a recuperação do potássio, da matéria orgânica e da água somados a fatores negativos como o poder poluente tornam a vinhaça assunto de elevada importância econômica e ambiental. Entre os efeitos da vinhaça nos solos ao longo do tempo Mutton et al. (2009) destaca que esta eleva o pH, aumenta a capacidade de troca catiônica (CTC), fornece e aumenta a disponibilidade de alguns nutrientes; melhora a estrutura do solo, aumenta a retenção de água; melhora a atividade biológica promovendo maior número de pequenos animais, bactérias e fungos e que eventuais efeitos maléficos causados aos solos ou às plantas são normalmente decorrentes de doses excessivas.

Segundo Braunbeck e Albrecht Neto (2009) a utilização da vinhaça na fertirrigação requer de sistemas de transporte, armazenamento e distribuição eficientes com baixos custos operacionais e de investimento que permitam atingir, com viabilidade econômica, áreas mais afastadas da usina, reduzindo dessa forma o impacto ambiental.

A torta de filtro surge do processo de clarificação do açúcar onde são produzidos de 30 a 40 kg de torta por tonelada de cana processada. É um composto orgânico em 85% da sua composição, rico em cálcio, nitrogênio, potássio e fósforo cuja composição varia com a matéria prima,

Tabela 2. Segundo Korndorfer (2004) citado por Santos (2009), algumas destilarias autônomas têm introduzido o sistema de clarificação de caldo, obtendo assim a torta de filtro, fazendo com que este resíduo deixe de ser produzido exclusivamente por unidades produtoras de açúcar. O mesmo autor ainda relata que a torta de

filtro é rica em fósforo, no entanto o teor de P_2O_5 é variável, tendo a torta gerada pelas usinas o dobro de fósforo quando comparada com a torta gerada pelas destilarias.

Tabela 2: Composição média da torta de Filtro.

Componente	g.100g ⁻¹		Componente	ppm	
	Mínimo	Máximo		Mínimo	Máximo
N	1,1	1,4	Cu	40	80
P ₂ O ₅	1,04	2,55	Fe	800	1200
K ₂ O	0,3	0,96	Mn	500	800
CaO	4,07	5,46	Zn	150	220
MgO	0,15	0,56	Mo		0,6
S	2,70	2,96	Co		1,4
Cinzas		18,37			
Matéria Orgânica		81,7			

Fonte: Adaptado de Nardin (2007) e Santos (2009)

A torta é utilizada como complementação da adubação mineral ou fluída, podendo ser aplicada na forma de torta úmida em dosagens que variam de 15 a 35 t.ha⁻¹ quando aplicadas nos sulcos de plantio, ou se aplicadas na soqueira as dosagens variam de 80 a 100 t.ha⁻¹ quando distribuída a lanço em área total e de 40 a 60 t.ha⁻¹ quando distribuída nas entrelinhas da soqueira (CORTEZ et al., 1992). Os processos de aplicação e estocagem da torta de filtro exigem processos de controle já que pela sua elevada demanda bioquímica de oxigênio pode-se transformar em fonte poluidora, pois, o aumento dos teores de metais pesados que não são absorvidos pela planta tendem a percolar com risco de contaminação do lençol freático, Ramalho & Amaral (2001) citado por Braunbeck e Albrech Neto (2009).

O aproveitamento da torta de filtro implica na utilização de várias operações de armazenamento, mistura, secagem, transporte, carregamento e descarregamento, dosagem e distribuição, operações essas que acontecem desde a saída do material da moega da usina até sua colocação em contato com o solo. O custo de transporte da torta com alto teor de umidade, utilizando caminhões com caçambas de baixa capacidade, determina que as áreas de armazenamento se localizem próximas da usina. O material depositado na área sofre um processo de fermentação e secagem que pode ser natural ou com movimentação e arejamento intenso como no caso do misturador ilustrado na Figura 6. Na compostagem o material orgânico sofre ação microbiana sob condições aeróbias, dando origem a um produto estabilizado em que os compostos orgânicos sofreram mineralização, com redução da relação C/N para próximo de 10.



Figura 6: Misturador de resíduos operando na compostagem da torta de filtro

Fonte: Centro de Tecnologia Canavieira.

Braunbeck e Albrech Neto (2009) ressaltam ainda que apesar de existir viabilidade econômica no aproveitamento da torta como complemento da adubação, principalmente no caso do plantio, existe ainda espaço de desenvolvimento com potencial para reduzir custos, reduzir compactação e riscos ambientais, ou seja, aumentar a sustentabilidade da agricultura canavieira por meio do aprimoramento da logística na distribuição da torta de filtro.

Os parâmetros relevantes para a descrição das condições produtivas na etapa agrícola relacionado à sustentabilidade podem ser definidos como sendo o sistema de plantio da cana-de-açúcar; o método de colheita; o nível de compactação do solo; o aproveitamento da palha como fonte energética, de proteção do solo e de sequestro de carbono; e o modo de se aproveitar os resíduos da indústria.

1.1.2.2 Levantamento dos valores de referência

Plantio de cana

Dentro deste parâmetro observamos que hoje, na produção de cana-de-açúcar, de 30 a 40% da área de plantio de cana é realizada mecanicamente e o restante semimecanizado, sendo o plantio direto utilizado apenas experimentalmente em algumas usinas.

Os equipamentos utilizados para o plantio mecanizado de cana-de-açúcar apresentam baixo desenvolvimento tecnológico. Não são capazes de realizar dosagem precisa dos rebolos, há falta de uniformidade de espaçamento, obrigando a utilizar maior densidade de gemas por metro linear de sulco. No plantio mecanizado são utilizadas entre 8 a 12 ton ha⁻¹ de mudas, Janini (2008). Garcia (2008) apresenta um estudo comparativo entre os custos de plantio realizado utilizando-se o sistema semimecanizado e mecanizado. O autor destaca que em termos de custos operacionais de plantio, sem envolver custos anteriores (corte, carregamento e transporte de mudas até a área de plantio), o plantio mecanizado é altamente vantajoso quando comparado com o semimecanizado, que apresentou um custo total de 216, 24 R\$ ha⁻¹, comparado aos 121,00 R\$ ha⁻¹ do sistema mecanizado, ou seja, 56% a mais. Contudo no plantio mecanizado é utilizado um percentual superior de mudas, acréscimo na massa de muda plantada não é acompanhado por um correspondente incremento de produtividade servindo somente para compensar a menor proporção de gemas viáveis. A Figura 7 mostra que para o plantio mecanizado apresentar vantagens econômicas em relação ao

semimecanizado é necessário que a porcentagem de mudas danificadas seja menor que 17%.

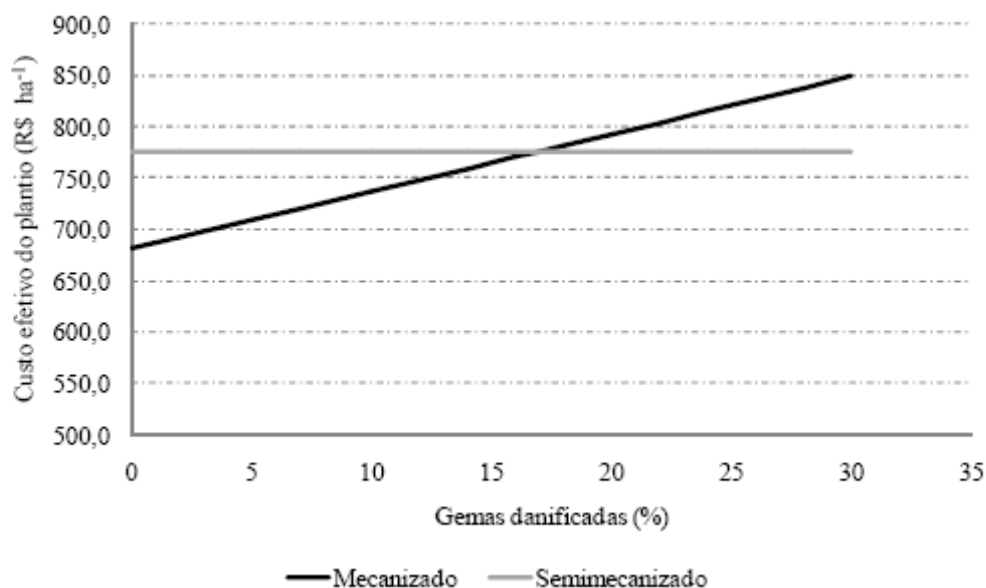


Figura 7: Simulação do custo efetivo de plantio, considerando as mudas e porcentagem de gemas danificadas, Garcia (2008).

Recentemente foi veiculada a notícia que a empresa Syngenta está pesquisando novas mudas de cana com altura de 3 ou 4 centímetros, denominadas de "Plene" com uma gema tratada previamente para garantir o vigor na germinação e protegê-la contra doenças e pragas, com previsão desta tecnologia estar disponível comercialmente em 2010. Esta técnica promete avanços significativos ao sistema de cultivo. Este novo sistema poderá reduzir em 15% os custos para o produtor. Esta tecnologia resultará numa redução da quantidade de mudas para 1 ton.ha⁻¹ e a necessidade de uma plantadora específica, que se encontra em desenvolvimento.

Observa-se que com relação ao preparo do solo para o plantio que as demandas de sustentabilidade que podem ser materializadas por meio de mudanças nas práticas agrícolas, como é o caso do controle de tráfego, o plantio direto e a agricultura de precisão.

Considerando que as tecnologias da agricultura conservacionista estão sendo praticadas em aproximadamente 88 milhões de hectares em todo o mundo, questiona-se por que as usinas do setor sucroalcooleiro ainda não utilizam esta tecnologia como estratégia para reduzir custos, conservar o solo e a água, e alcançar maior sustentabilidade da produção agrícola. O potencial de vantagens do plantio direto no caso da cana-de-açúcar não difere com relação a outras culturas nas quais o resultado tem sido comprovadamente bem sucedido. A Tabela 3, apresenta o custo das operações agrícolas necessária no preparo do solo pelo método convencional e pelo sistema de plantio direto, evidenciando as vantagens econômicas da adoção desta técnica. Deve-se destacar que para viabilizar o Sistema de Plantio Direto torna-se necessário um sistema de mecanização que reduza drasticamente o tráfego com relação ao sistema de mecanização convencional atualmente em uso.

Tabela 3: Custo de cultivo de solo pelo método convencional e plantio direto.

Operação	Convencional	Plantio Direto
	Cana planta R\$ ha ⁻¹	
Subsolagem	88,3	--
Aração	79,6	--
Nivelamento	34,0	--
Plantio (mecanizado)	121,00	121,00
Total	322,90	121,00

Compactação

Os princípios de colheita mecanizada utilizado hoje no Brasil não atendem satisfatoriamente aos requerimentos atuais em termos de recuperação eficiente da biomassa e utilização sustentável do solo. As colhedoras capazes de colher apenas uma linha apresentam alto consumo de energia não renovável e baixa eficiência operacional. Obrigam o tráfego de máquinas e equipamentos pesados sobre mais de 60% da área de plantio, com consequentes danos à estrutura do solo e ao stand da cultura.

O número de passagens de máquinas nas entrelinhas da cana-de-açúcar hoje é excessivo, reduzindo a longevidade do canavial e obrigando a realizar as operações de subsolagem durante a reforma do canavial. Do ponto de vista ambiental e econômico é necessário reduzir a compactação do solo durante a colheita. O problema pode ser minimizado através da colheita de cana sem queimar, pois a presença da cobertura com resíduos vegetais diminui o escoamento superficial contribuindo com a estabilidade estrutural do solo. O sistema de tráfego controlado (CT) utilizado em algumas usinas também contribui com a redução da compactação. Esta técnica consiste em alterar a bitola dos tratores e equipamentos de transbordo, ajustando ao espaçamento entre linhas de plantio de forma a criar zonas distintas para o crescimento da planta e para o tráfego de veículos, de forma a evitar o pisoteio dos pneus sobre as soqueiras. A técnica de tráfego controlado mostrou-se uma inovação bem sucedida na Austrália, a Figura 8 mostra a evolução das áreas em CT, nesse país. Segundo Yule (2003) o controle de tráfego conduz a ganhos de produtividade, redução de custos operacionais e de investimentos, faz uso mais eficiente das águas de chuva, gera menor escoamento superficial e erosão, assim como melhoria na condição física e de fertilidade do solo.

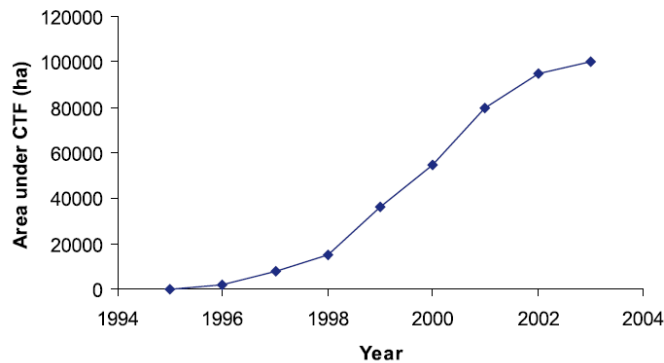


Figura 8: Evolução do controle de tráfego na Austrália, Yule (2003).

Porém, isto são apenas medidas paliativas, pois redução da compactação só seria possível se fossem disponibilizadas colhedoras capazes de colher duas ou mais linhas, ou se um sistema de colheita totalmente novo fosse desenvolvido.

Colheita mecanizada

Com o avanço das áreas de plantio de cana observamos também o avanço da mecanização da colheita, sendo a média no Brasil hoje não superior a 40%.

Um dos principais desafios a serem vencidos pela colheita mecanizada é a limitação da operação da colhedora em declividades acima de 12%. As restrições que impedem a operação em declividades maiores estão associadas à estabilidade ao tombamento e falta de estabilidade direcional.

Para se chegar a 100% de mecanização, é preciso haver equipamentos capazes de andar em terrenos de maior declividade. O desenvolvimento de colhedoras aptas a operarem em declividades mais acentuadas pode implicar em algumas vantagens. Uma delas está associada à possibilidade da máquina operar em duas linhas exigindo, a princípio, aumento da bitola, melhorando a estabilidade e viabilizando a colheita em áreas hoje restritas. Com duas linhas aumenta-se a capacidade de trabalho e se reduz o tráfego no talhão, trazendo reflexos positivos com relação à compactação. Porém existem dificuldades a serem superadas relacionadas à necessidade de aumento da capacidade de recolhimento e processamento da colhedora (massa de cana-de-açúcar por unidade de tempo), associada às perdas, visíveis e invisíveis e a qualidade da matéria prima.

As colhedoras hoje disponíveis no mercado apresentam baixo índice tecnológico e novos investimentos devem ser realizados para melhorar sua eficiência. O desenvolvimento de sistemas semimecanizados para facilitar o trabalho do corte manual pode ser uma tendência em áreas na qual a colheita mecanizada não seja a solução adequada, o que contribuirá para minimizar o problema social oriundo do rápido avanço da colheita totalmente mecânica. No horizonte de 10 a 15 anos deve existir avanço na tecnologia viabilizando a colheita em áreas hoje restritas e com tendência de aprimoramento e não substituição das tecnologias hoje existentes. É importante ressaltar que devem ser avaliados nessa perspectiva, os aspectos referentes à conservação do solo, evitando se implantar e conduzir uma cultura em declividades acima da capacidade de uso do solo.

Segundo o relatório ambiental do programa Etanol Verde do Governo do Estado de São Paulo (GESP, 2009), a evolução da colheita crua foi de 34,2 % na safra 06/07

para 49,1 % na safra 08/09, o que significa um aumento de 810 mil hectares colhidos mecanicamente sem a utilização de fogo, mostrando a tendência de se atingir 100 % da colheita de cana crua antes do prazo estabelecido pelo protocolo, Figura 9: Comparação entre a Lei 11.241/02, Protocolo Agroambiental e dados de queima (INPE).Figura 9.

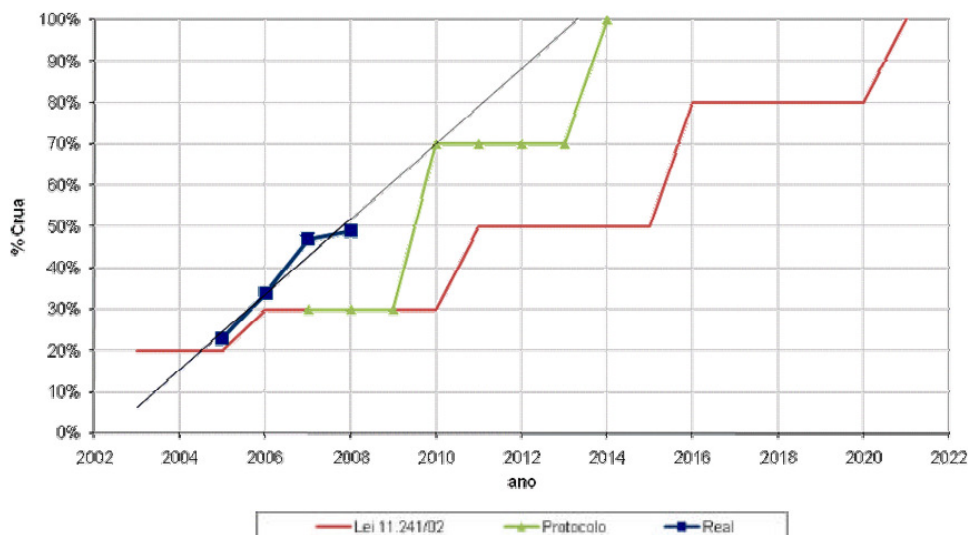


Figura 9: Comparação entre a Lei 11.241/02, Protocolo Agroambiental e dados de queima (INPE).

Recuperação da palha

Manechini et al. (2005) em trabalho realizado pelo CTC tentaram definir qual seria a quantidade mínima de resíduo vegetal que deverá permanecer no solo para se obter o máximo de benefício agrônômico proveniente desta cobertura. Os autores concluíram que com 66% (cerca de 7,5 t ha⁻¹, b.s.) a probabilidade de se conseguir efeito similar ao dos herbicidas químicos é alto.

Em estudo realizado por Paes & Olivira (2005) sobre o potencial de se utilizar a biomassa foliar da cana-de-açúcar, considerando diferentes variedades de cana, estágios de corte e regiões de colheita, concluíram que diante da frequente introdução de novas variedades com rendimentos de palha desconhecidos, e da grande dificuldade de correlacionar à produtividade de cana e de palha, adotaram o valor médio de 140 kg de matéria seca por tonelada de cana como o valor padrão para estimar o potencial de resíduos de biomassa seca, Figura 10.

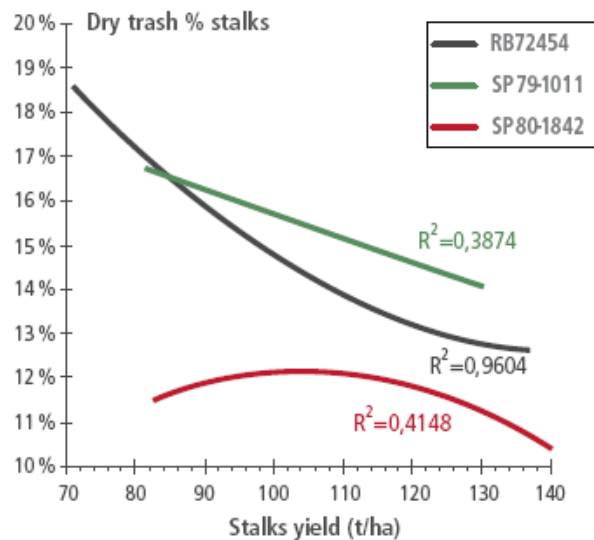


Figura 10: Curvas de regressão para a razão entre produção de palha e produtividade da cana para as variedades RB7254, SP79-1011 e SP80-1842. (Paes & Olivira, 2005).

Tomando-se como base estes valores observamos e que hoje no estado de São Paulo, são deixados no campo aproximadamente 23 Mt de resíduos (49% da cana colhida sem queimar) e considerando que apenas 34% da palha deva ser recuperada, ou seja, 48 kg.tc^{-1} (b.s.), com o calorífico da palha de 17 MJ.kg^{-1} (Hassuani et al., 2005) esta biomassa representa um potencial $135 \times 10^6 \text{ GJ}$.

Mas o aproveitamento do palhicho não consiste em um sistema tão simplificado, exige também algumas soluções financeiras e tecnológicas. A grande dificuldade atual está no manuseio e transporte deste material desde o campo até a central termoelétrica. Hoje nos deparamos com custos considerados elevados para trazer este combustível do campo, em função do preço pago pela energia elétrica produzida nas usinas. Já existem algumas iniciativas e desenvolvimentos neste sentido até mesmo com algumas experiências bem sucedidas. Para retirar o palhicho do solo e levá-lo à indústria vários sistemas foram testados. As maiores possibilidades são por enfardamento, a granel, e através de prensas algodoeiras, mas estudos desenvolvidos pela Esalq em parceria com o Grupo Cosan indicam que o melhor sistema é a colheita integral, este resultado foi referendado por Michelazzo (2005) que realizou uma análise de sensibilidade de vários métodos de recolhimento de palha. Como colheita mecânica integral do canavial entendendo-se a operação de colheita realizada pelas colhedoras de cana picada com seus dispositivos de limpeza, exaustores, primário e secundário, desligados. A Figura 11 apresenta as possíveis rotas para a recuperação da palha.

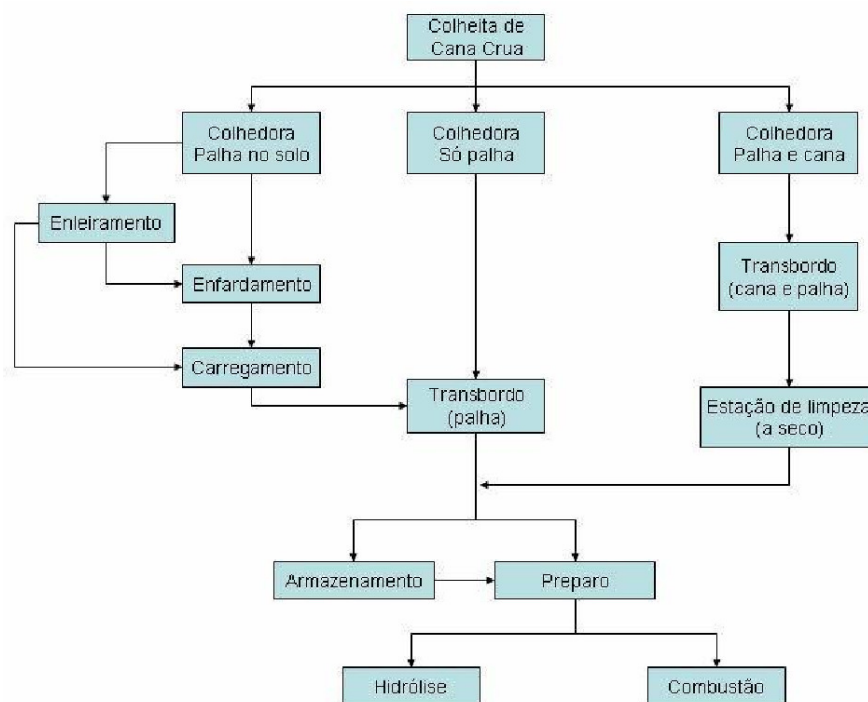


Figura 11: Possíveis rotas para recuperação da palha de cana-de-açúcar para fins energéticos.

O CTC também realizou um estudo de custo para recuperação da palha (Rodrigues Filho, 2005) simulando três alternativas, o enfardamento, a colheita integral (recuperação total da palha) e a colheita com recuperação parcial da palha. O resultado que apresentou melhor vantagem sob o ponto de vista da sustentabilidade foi a recuperação parcial da palha. A Tabela 4 mostra os resultados de simulação do custo total do palhiço posto na usina dos trabalhos de Michelazzo e do CTC

Tabela 4: Comparação entre o custo da palha nos estudos apresentados (US\$/t)

Sistema de recuperação	Michelazzo (2005) US\$ Mg⁻¹	Projeto CTC (2005) US\$ Mg⁻¹
Enfardamento	14,87	18,50
Colheita Integral	6,87	13,70

Contudo para a aplicação do sistema de colheita integral há a necessidade de instalação, na usina, de equipamentos de pré-limpeza, para a separação das impurezas minerais e vegetais da cana. O CTC desenvolveu e patenteou uma estação de limpeza a seco, Figura 12, que é fabricada em parceria com a TECHPETERSEN. Estas estações já foram instaladas em várias usinas do país² e

² USACIGA – Cidade Gaucha, PR; USINA AUCAREIRA GUAÍRA – Guaíra, SP; USINA JULIANA – STA. TEREZ. III – Tapejara, PR; CENTRAL DE ÁLCOOL LUCÉLIA – Lucélia, SP; USINA CRUZ ALTA – Olímpia, SP; USINA ESTIVA - Natal, RN; USINA GASA – Andradina, SP; USINA AÇUCAREIRA QUATÁ – Quatá, SP; USINA COSTA PINTO – Piracicaba, SP; VIRALCOOL II – Castilho, SP; USINA STA. ROSA – Boituva, SP; USINA STA. CRUZ – Américo Brasiliense, SP; USINA ALVORADA I – Araporã, MG; USINA AGROVALE – Juazeiro, BA; BARRALCOOL – Barra do Bugres, MT.

começam a operar viabilizando a recuperação da palha para fins energéticos, mas a recuperação da palha nestas usinas não passa dos 10% disponível no campo. Neste sistema o fator determinante é a densidade da carga transportada, que é reduzida em cerca de 30% quando se transporta o palhiço juntamente com os rebolos, limitando a distância economicamente viável para se realizar a colheita integral.



Figura 12: Estação de limpeza a seco instalada na Usina Equipav, SP

Fonte: Revista Canamix, junho 2009.

O gráfico mostrado na Figura 13 mostra alguns dos resultados obtidos na Usina Rafard do Grupo Cosan, durante a safra 2008/2009 da eficiência de separação de impurezas (minerais e vegetais) na estação de limpeza.

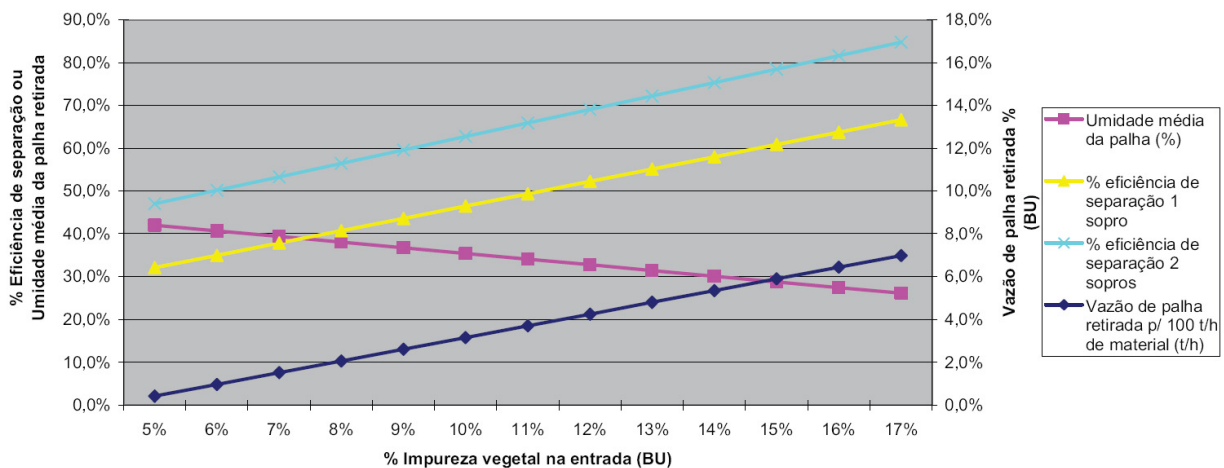


Figura 13: Eficiência de separação de impurezas na da estação de limpeza a seco instalada na Usina Rafard, Grupo Cosan, na s fra 2008/2009.

Fonte: apresentação Cosan – Impurezas da matéria-prima para sucroenergia.

Aproveitamento de resíduos

A área dos canaviais atingida pela fertirrigação depende da topografia do terreno, do sistema de distribuição adotado e de seu manejo. Atualmente existem usinas que aplicam vinhaça em 70% da sua área de cultivo e outras possuem valores bem menores (Nogueira et al, 2008).

A distribuição da vinhaça sobre o solo envolve quatro fases bastante diferenciadas que são o transporte primário, da indústria até os tanques de armazenamento, o armazenamento e o transporte secundário, dos tanques até as áreas de aplicação e a distribuição sobre o solo. Cada fase envolve equipamentos, infraestrutura, mão de obra e técnicas de manejo específicas focados em metas econômicas e ambientais (Braunbeck & Albrecht Neto, 2009).

Os principais sistemas de aplicação de vinhaça podem ser agrupados em sulcos de infiltração, caminhões-tanque e aspersão. A aplicação por sulcos de infiltração exige extensas áreas com topografia adequada para sua aplicação racional o que tornou sua utilização restrita Silva (1992). A aplicação por caminhões tanque, com descarga gravitacional ou forçada, foi o sistema mais utilizado no passado, pela sua versatilidade e simplicidade, com considerável uniformidade de distribuição, porém, é limitado pela distância entre o ponto de carregamento e as áreas de aplicação. A aplicação por aspersão tornou-se uma opção comercial com a evolução dos métodos de irrigação. Nesta linha, os equipamentos semifixos captam a vinhaça dos canais principais com o auxílio de moto bomba que, por sua vez, alimenta tubulações principais e laterais, nas quais se acoplam os aspersores. Atualmente, no Estado de São Paulo, tem-se popularizado o sistema de aspersão conjugado, principalmente por meio de canal e carretel enrolador (Braunbeck & Albrecht Neto, 2009).

Segundo Mutton et al. (2009) a utilização contínua da vinhaça nos mesmos solos, ainda que em dosagens baixas, pode gerar a saturação de cátions, principalmente de potássio na CTC dos solos, ocasionando problemas de lixiviação de seus constituintes para águas subterrâneas. A lixiviação de K para a subsuperfície não é um problema ambiental, uma vez que este elemento não é poluente de águas. Não obstante, a alta concentração favorece a formação de complexos químicos, que com carga neutra, são facilmente lixiviados. O complexo formado entre o $(K)^+$ e o $(NO_3)^-$ é especialmente preocupante do ponto de vista ambiental, uma vez que o nitrato é grande poluente de águas. No Estado de São Paulo, a Portaria P 4.231/2005 (Cetesb), regulamentou os critérios e procedimentos para a aplicação da vinhaça, estabelecendo normas para o seu armazenamento, transporte e disposição no solo. Com a normativa em vigor, muitas áreas sofrerão restrições, sendo que o setor já se prepara para transportar a vinhaça a distâncias maiores e/ou viabilizar outras utilizações, tais como a sua concentração.

Rossetto et al. (2008) considerando os principais resíduos da cadeia sucroalcooleira estimaram o potencial de reciclagem de nutrientes tomando como base toda a área de produção, estimada em 6,9 milhões de hectares, sem queima. A Tabela 5 apresenta a estimativa das quantidades de N, P_2O_5 e K_2O economizadas e que podem potencialmente ser adicionadas ao solo através dos resíduos.

Tabela 5: Nutrientes reciclados anualmente pela agroindústria sucroalcooleira

Resíduos	Nutrientes			Volume de resíduos	Nutrientes retornados		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	----- (% no resíduo seco) -----				----- (t ano ⁻¹) -----		
Torta de filtro ¹	1,4	1,94	0,39	2,34 milhões t torta seca ano ⁻¹	32 800	45 400	9 130
Palha ²	0,46	0,11	0,57	34,5 milhões t palha seca ano ⁻¹	158 700	37 950	196 650
	----- (g m ⁻³ de vinhaça) -----						
Vinhaça ³	375	60	2.035	270 bilhões L ano ⁻¹	101 250	16 200	549 450
Total					292 750	99 550	755 230

¹ Supondo que a área de produção no Brasil seja de 6,9 milhões de hectares e 475 milhões de toneladas de cana, sendo 223 milhões utilizadas para produção de açúcar que geraria 35 kg de torta por tonelada de cana moída; torta com 70 % de umidade.
² Geração de 5 t ha⁻¹ de palhada seca, considerando 100 % da área de cana do Brasil como não queimada.
³ Produção de álcool: 20,8 bilhões de L; geração de vinhaça: 13 L/L de álcool produzido.

Fonte: Rossetto et al. 2008

Sequestro de Carbono

Bayer et al (2006) relatam que a taxa média de sequestro de carbono em regiões de solos tropicais no Brasil por ano é de 0,35 Mg ha⁻¹ similar ao registrado por outros pesquisadores em regiões de solos temperados, e inferior a 0,48 Mg ha⁻¹ estimado para solos subtropicais da região sudeste do Brasil.

Galdos et al (2009) utilizaram o modelo CENTURY³ para avaliar o efeito dos resíduos de cana-de-açúcar na dinâmica do C a longo prazo. As simulações do manejo da palha, aplicação de fertilizantes mineral e concentração de matéria orgânica mostraram boa correlação ($r^2=0,89$), Figura 14. Os autores avaliaram a tendência de retenção do C no solo em diferentes cenários, em todos eles os resultados mostram uma tendência de aumento gradual quando utilizando fertilizante mineral em sistema de colheita sem queima na razão de 2,3 g.m⁻² a 22.8 g.m⁻² dependendo do tipo de solo e da condição climática.

Cerri et al. (2009) mostram ainda que considerando que no Brasil apenas 20% da colheita de cana é realizada sem queimar, portanto apenas 1,5 Mha e utilizando os dados médios obtidos por Galdos et al. (2009) a quantidade de carbono equivalente sequestrado é hoje de 8,7 Mt/ano, sendo 2 Mt C/ano proveniente da palhada e 6,7 Mt/ano proveniente da não emissão de gás metano e óxido nitroso durante a queima da cana.

³ Modelo geral desenvolvido pela Colorado State University para prever o comportamento dinâmico da matéria orgânica e nutrientes no solo sob diferentes condições de uso e clima.

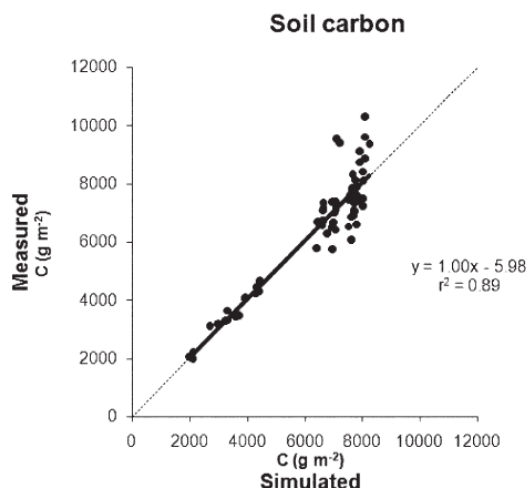


Figura 14: Regressão linear entre os valores simulados e experimentais do estoque de C utilizando o modelo CENTURY.

Fonte Galdos et al. (2009).

Observamos que o plantio da cana-de-açúcar mecanizado apresenta ainda sérios problemas que dificultam a sua adoção e afetam os parâmetros de sustentabilidade. Os equipamentos disponíveis são de baixo nível tecnológico, utilizando elevada quantidade de gemas por metro linear, demandando por parte das usinas áreas maiores para produção de mudas, gerando custos adicionais. O sistema de plantio direto ainda não foi adotado como uma prática neste setor. Pesquisas científicas registram o benefício desta técnica, mas também alertam para problemas que podem surgir com a manutenção da palhada sobre o solo. O grande risco de se adotar esta técnica de manejo está associada ao intenso tráfego de máquinas durante a colheita, causando a compactação de solo, sugerindo que alternativas tecnológicas como o tráfego controlado sobre a área de cultivo e/ou novos equipamentos de colheita devem ser desenvolvidos para garantir a sustentabilidade da produção.

A colheita mecanizada de cana crua tem avançado significativamente, trazendo benefícios imediatos ao meio ambiente, como a proteção do solo e consequentemente dos mananciais, redução do custo de produção e disponibilizando a palha que contém grande poder calorífico e começa a ser utilizada como fonte de co-geração de energia.

As práticas de manejo de solo como a adoção do plantio direto e a colheita de cana crua podem contribuir com o aumento do estoque de carbono no solo e ter um efeito positivo na sustentabilidade agrônômica e ambiental.

A cadeia produtiva da cana-de-açúcar tem importante diferencial frente às outras culturas, representado pelo grande potencial de reciclagem de nutrientes e economia de fertilizantes. Contudo deve lembrar que há legislação relativa à disposição da vinhaça apenas no estado de São Paulo.

1.1.2.3 Estimativas dos valores prospectivos em 2015

Com a perspectiva de aumento de área plantada de cana, muitas alterações devem ocorrer no setor agrícola. A expectativa é que a grande parte cana deixe de ser

queimada e passe a ser colhida crua, ao menos nas áreas passivas de mecanização no primeiro estágio (2015) e posteriormente em toda a área (2025) o que irá obrigar a mecanização desta área. Novos equipamentos destinados a colheita estão em desenvolvimento hoje e a perspectiva é em 2015 estejam em uso em áreas experimentais alterando alguns paradigmas da colheita, carregamento e transporte.

As melhorias no sistema de cultivo e colheita de cana, assim como o uso mais eficiente da biomassa para produção de eletricidade, não só aumentará rendimento de etanol significativamente, mas também melhorará o equilíbrio de energia líquido e reduzirá a emissão de GHG, Macedo et al. (2008).

Plantio

O plantio direto proporciona comprovadas melhorias nas condições de fertilidade do solo, é eficiente alternativa em acumular matéria orgânica no solo e contribuir para o seqüestro do CO₂ atmosférico, portanto, para a melhoria da qualidade ambiental. De médio, em longo prazo, o sistema de plantio direto favorece o maior acúmulo de palha na superfície do solo, maior percentagem de agregados nas classes de maior diâmetro, menor desagregação do solo, maior retenção de água, maiores taxas de infiltração de água no solo, menores temperaturas máximas e flutuação térmica, menor evaporação da água do solo em relação ao preparo convencional com o solo descoberto ou sem palhada na superfície do solo. Além do plantio direto na cana-de-açúcar proporcionar redução no número de operações, tempo disponível de pessoal e equipamentos envolvidos, custos em aproximadamente 47% em comparação com o convencional e ainda pode contribuir para o aumento da produtividade, (Duarte Júnior, 2008).

Considerando que o SPD necessitou de 30 anos para atingir o patamar de 53% da área plantada com cereais (Figura 5) e assumindo que em cana teremos uma adoção a taxa similares ao que foi observado, mesmo considerando o conhecimento atual dos benefícios desta pratica de cultivo, podemos esperar para 2015, que o SPD seja adotado em 2,7% da área plantada de cana (300 mil ha) e em 2025 atinja 50% da área (6,5 Mha), considerando a evolução da área de plantio.

A adoção do SPD passa obrigatoriamente pelo desenvolvimento de um sistema eficiente de controle de tráfego sobre a área cultivada.

A adoção de agricultura de precisão, especialmente o georeferenciamento das linhas de plantio associado á direção automática das máquinas e veículos que transitam sobre a área cultivada, deve contribuir sobremaneira para a implantação do tráfego controlado (CT) e as práticas do Cultivo Mínimo e SPD, mantendo-se intocadas as linhas de cultivo por diversos ciclos sucessivos.

O projeto de Mecanização de Baixo Impacto (MBI), hoje em desenvolvimento no Centro de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE) irá também contribuir de forma efetiva para a adoção das técnicas de CT e SPD. Esta proposta consiste em utilizar um equipamento elevado de bitola larga, bem superior a convencional, com tração e direção nas quatro rodas que transporta a cana colhida e trafega sistematicamente as mesmas linhas, desta forma irá reduzir de forma drástica os níveis de tráfego e compactação de solo sobre a área de cultivo da cana. A redução na compactação de solo se apresenta em termos da redução da área trafegada, a qual deverá se situar entre 5 e 10% da superfície do solo de acordo com a bitola adotada durante o desenvolvimento do projeto da Estrutura de Tráfego Controlado (ETC).

O projeto MBI está focalizado no desenvolvimento de uma estrutura de tráfego controlado (ETC), esquematizada na Figura 15, como unidade de potência com bitola larga, destinada à redução da compactação como forma de promover redução drástica dos níveis de tráfego, que deverá se situar entre 5 e 10% da superfície da área de cultivo. Dessa forma será possível viabilizar a implantação do SPD com todos os benefícios associados ao mesmo. A proposta de mecanização de baixo impacto (MBI) envolve mudanças nas duas peças principais da mecanização canavieira atual: o trator agrícola e a colhedora de cana picada.



Figura 15: Estrutura de tráfego controlado (ETC) proposta pelo CTBE no programa de Mobilização de Baixo Impacto (MBI) para produção de cana-de-açúcar.

O grau de adoção do SPD depende também dos avanços do conhecimento do efeito do palhicho e das espécies decompositoras no novo agroecossistema formado pela técnica de colheita mecanizada, nas pragas de solo e nos inimigos naturais e entomopatógenos presentes, e da eficiência do controle biológico sobre estas.

O sistema de plantio desenvolvido pela Syngenta "Plene", se bem sucedido, representará um avanço tecnológico importante na redução de custo e dos impactos ambientais. Espera-se com esta tecnologia em 2015 seja adotada por parte significativa das usinas e fornecedores de cana.

Este método depende do desenvolvimento de equipamentos de plantio com maior nível tecnológico, atendendo a demanda por maior precisão, e melhor distribuição de mudas, contribuindo também para a redução da área destinada ao plantio de mudas.

Compactação

Aqui novamente a técnica de tráfego controlado (CT) mostra-se como uma inovação que pode contribuir de forma efetiva para a sustentabilidade do sistema. O projeto da (ETC), para a colheita da cana consiste em utilizar uma estrutura de bitola larga (10 a 12 m) como unidade de potência. Nela será acoplado o sistema de colheita que permite colher duas linhas simultaneamente, utilizando o corte de base flutuante e sistema de limpeza (remoção das folhas) por atrito. O material colhido é lançado em veículos de transbordo, de modo similar a colhedora convencional, mas que devido a sua configuração construtiva permitirá reduzir a área de pisoteio e compactação do talhão de 60% para 13%. Desta forma não existe o tráfego de veículos sobre as linhas de plantio, nem a remoção de soqueiras

pelo sistema de corte de base, garantindo desta forma a longevidade do canavial e ampliando o prazo entre plantios.

Colheita

Os resultados do relatório ambiental realizado pelo Governo do Estado de São Paulo apontam o avanço do fim da queima da cana-de-açúcar no para o ano de 2013, uma aceleração significativa, quando comparada com os prazos estabelecidos por lei. Este avanço será registrado em outros estados como Minas Gerais que também tem um protocolo similar ao de São Paulo e em menor escala nos demais unidades da federação. A expectativa é de se colher 800 Mt em 2015 com um índice de 80% de cana colhida crua em todo país.

Espera-se que o primeiro protótipo da ETC esteja em testes na safra 2010/2011 e que já na safra seguinte seja adotado por algumas usinas experimentalmente atingindo cerca de 100 mil hectares no ano de 2015. Estudo comparativo de custo operacional da ETC mostra a vantagem deste tipo de equipamento quando comparado a colheita convencional hoje disponível no mercado. A Tabela 6 apresenta alguns valores de eficiência e custo da ETC trabalhando de forma similar a colhedora convencional, i.e. com auxílio de veículo de transbordo para recepção da carga, em um talhão de 500 m de comprimento em um canavial com 100 ton/ha e assumindo que em cada ciclo teria um tempo de espera⁴ de 5 minutos.

Tabela 6: Quadro comparativo de desempenho da ETC e colhedora convencional.

	ETC – operando com transbordo	Colhedora
Capacidade operacional potencial (ton/h)	216	90
Tempo necessário para completar a carga do transbordo (min)	5,5	13,3
Capacidade efetiva (ton/h)	68	38
Custo de reparo e manutenção (R\$/ton)	0,95	1,12
Custo mão de obra (R\$/ton)	0,12	0,18
Consumo de combustível (l/h)	50,00	58,43
Custo total colheita (R\$/ton)	2,96	4,59
Custo total com transbordo (R\$/ton)	5,19	7,87

Como a ETC é destinada a grandes produtores com áreas superiores a 10.000 ha há a necessidade de se desenvolver tecnologias semelhantes destinada aos pequenos agricultores e fornecedores de cana. A proposta do equipamento de auxílio mecânico à colheita de cana visa justamente isto, Figura 16. Este equipamento, capaz de colher várias linhas simultaneamente, depende de operadores que sob sua plataforma recolhem o colmo e o encaminham para o sistema de limpeza e armazenamento, garantindo desta forma o emprego rural e principalmente a qualidade de vida destes operadores. Devido ao equilíbrio em suas

⁴ Tempos em que a máquina não está operando por falta de transbordo.

dimensões que garante seu baixo centro de gravidade, este equipamento deverá trabalhar em áreas com inclinação de até 40% que juntamente com seu baixo custo de aquisição e manutenção deverá atender as necessidades da maioria dos fornecedores de cana, que de outra maneira serão obrigados a abandonar a atividade.

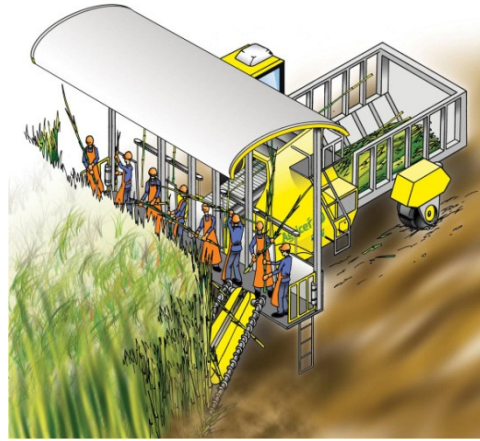


Figura 16: Auxílio à colheita mecânica de cana-de-açúcar, UNIMAC-cana, em desenvolvimento pela Agricef.

Recuperação da palha

O palhicho representa uma opção para aumentar a disponibilidade de biomassa para co-geração nas usinas nacionais.

O custo final da biomassa recuperada é determinado predominantemente por quatro parâmetros associados aos processos envolvidos, que são: o nível de investimento, o rendimento operacional, a demanda de energia e a densidade final do material. Sistemas mais simples, com menor número de equipamentos, consumindo menos combustível e com elevado rendimento diário resultam frequentemente em custos menores. O fator densidade da carga torna-se importante na medida em que aumentam as distâncias compreendidas entre as áreas de produção e a planta industrial de destino. No caso de manuseio de material solto a granel a densidade pode ser aumentada reduzindo o tamanho das partículas através de processos de picagem. No entanto, o ganho de densidade é limitado e outros princípios de adensamento têm mostrado melhores resultados.

Para atingir esta meta será necessário o desenvolvimento de técnicas de recuperação e adensamento da palha, que possam garantir seu transporte e utilização a preços competitivos. Hoje a técnica que tem se mostrado mais viável para a utilização da palha consiste na Colheita Integral onde o palhicho e processado pelas colhedoras conjuntamente com os colmos industrializáveis, é lançado, ao veículo de transporte que acompanha a colhedora. A separação ocorre posteriormente na usina, através do processo de limpeza a seco. Este processo requer altos investimentos no método de separação na usina e limita o raio de utilização desta técnica tendo em vista a redução da densidade de matéria prima transportada do campo à indústria.

Espera-se que para 2015 novas propostas tecnológicas de recuperação de palha estejam disponíveis, garantido a viabilidade econômica da utilização deste produto como fonte de co-geração a custos reduzidos.

Sequestro de Carbono

Galdos et al. (2009) apresentam projeções para séries de 100 anos avaliando o impacto do manejo da palha na dinâmica do C a longo prazo, utilizando como estoque de C inicial o existente no solo sob colheita de cana queimada. Os autores utilizaram como dados para o modelo a média anual de precipitação e temperatura. Os resultados mostraram que independente da região a tendência de aumento do estoque de C em áreas de cana colhida sem queimar, Figura 17, comprovando os benefícios ambientais da prática da colheita de cana crua. A

Tabela 7 pode ser montada adotando-se a metodologia proposta por Cerri et al. (2009).

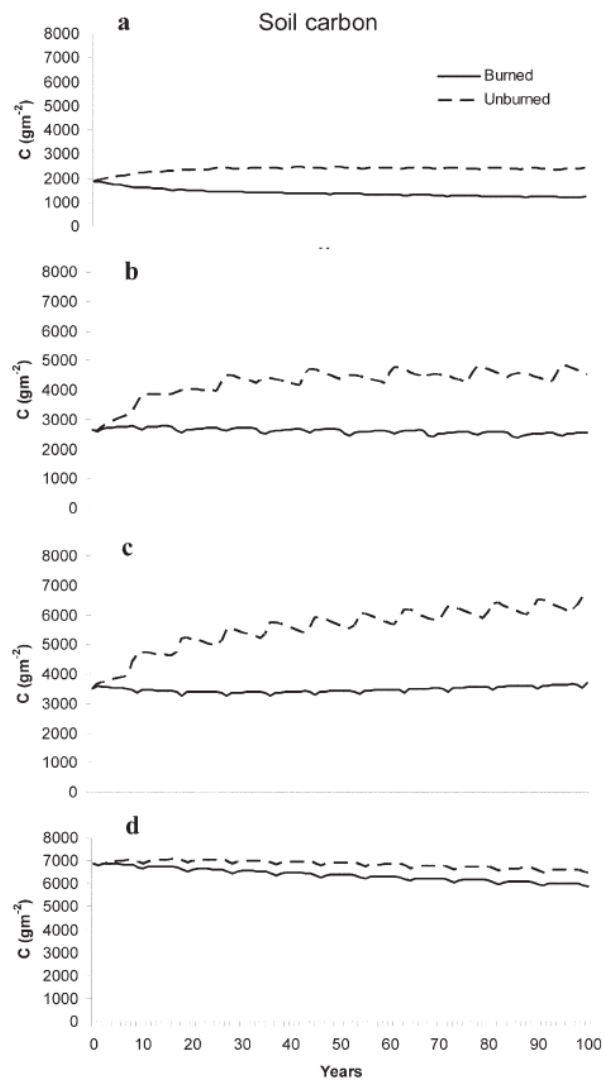


Figura 17: Projeções do estoque de C em um período de 100 anos comparando áreas com cana-de-açúcar colhida queimada e sem queimar nas localidades de (a) Goiana, (b) Timbaúba, (c) Pradópolis, e (e) Monte Edgecombe, utilizando o modelo CENTURY, - Galdos et al. (2009).

Tabela 7: Potencial de sequestro de carbono na cana-de-açúcar sem queima.

Ano	Cana sem queima (Mha/ano)	Sequestro C palha (Mt C/ano)	Ceq – CH ₄ e N ₂ O (Mt Ceq/ano)	Ceq Total (Mt Ceq/ano)
2015	7	9,1	46,9	56
2025	12	15,6	80,4	96

Para 2015 espera-se o avanço do plantio mecanizado da cana, com significativa redução de custo proporcionado pela maior eficiência das plantadoras e pela introdução da tecnologia desenvolvida pela Syngenta. O SPD deverá consolidar-se, mostrando os benefícios desta prática de manejo nos impactos ambientais, conservação de solo, e na redução da compactação. Esta técnica deve se tornar viável com a adoção simultânea da técnica de CT, agricultura de precisão, associadas ao uso da ETC.

Espera-se que 80% cana seja colhida sem queimar no Brasil, viabilizando seu aproveitamento energético, a proteção do solo e o incremento do estoque de carbono. O uso da palha como fonte energética deverá estar consolidado, mesmo que parcialmente, através das estações de limpeza que devem estar funcionando plenamente associadas talvez ao surgimento de novas tecnologias para o recolhimento e adensamento da palha.

Estimativas dos valores prospectivos em 2025 para os parâmetros indicadores, representativos das condições futuras.

Espera-se que para 2025 grande parte da área plantada com cana utilize os novos conceitos de mecanização (SPD, CT, ETC) que reduzem drasticamente os impactos negativos sobre o solo hoje causados pelo sistema convencional de cultivo.

A evolução tecnológica da mecanização no sentido de tornar a produção canavieira mais sustentável, nos próximos 30 anos, poderá ser muito mais criativa se certas restrições impostas pelos tratores e as colhedoras forem eliminadas e dessa forma um novo horizonte de opções aberto para as contribuições de larga população de técnicos, usuários e fornecedores de equipamentos com larga e bem sucedida experiência na agricultura canavieira.

Em 2025 a palha, que hoje é deixada no campo, deverá ser parcialmente recolhida e aproveitada para fins energéticos. Equipamentos devem ser desenvolvidos e disponibilizados para viabilizar este recolhimento de forma economicamente vantajosa e sem contaminação da matéria prima.

Plantio direto - O sistema de plantio direto, que hoje está sendo avaliado como uma possível alternativa para o cultivo deve ganhar espaço e mostrar aos produtores que é realmente viável. Alternativas para o sistema de plantio da cana devem ser viabilizadas e o controle das pragas de solo deve ser melhorado.

Agricultura de precisão - A AP deverá ser adotada em grande escala, influenciando diretamente no sistema de gestão das usinas. A utilização de equipamentos guiados com auxílio de GPS deverá ser popularizada e aplicada em grande escala. O sistema de coleta de informações sobre rendimento, presença de

pragas, para elaboração de mapas de produtividade, pragas, solos, e outros parâmetros irão permitir a otimização do uso de insumos, redução dos custos e principalmente contribuirão com a preservação ambiental. O uso da AP permitirá redução do uso de fertilizantes, ou pelo menos sua utilização de forma mais eficiente, contribuindo de forma efetiva com a redução dos impactos ambientais causados pela produção de cana.

Gestão - O rápido avanço da tecnologia de comunicação irá permitir a aplicação do controle em tempo real das atividades de campo, reduzindo os custos de logística e ampliando a capacidade operacional efetiva das máquinas e equipamentos.

Manejo de resíduos - O processo produtivo de etanol e açúcar gera uma série de resíduos que devem retornar ao setor agrícola para tratamento, manejo e reaproveitamento sendo os principais, água residuária, torta, cinza e lodo, vinhaça. No Brasil, sempre houve um diferencial representado pelo uso dos resíduos torta de filtro e vinhaça. O potencial de reciclagem de nutrientes contidos nesses resíduos é provavelmente uma das explicações para a manutenção da produtividade observada ao longo dos anos nos campos cultivados com cana-de-açúcar no Brasil, em comparação à de outros países. No estado de São Paulo a Cetesb estabeleceu parâmetros que norteiam os procedimentos técnicos de manuseio deste resíduo, buscando minimizar os impactos sobre o ambiente. O mesmo deve ocorrer nas demais regiões do Brasil nos próximos anos. As medidas atualmente empregadas no manejo e monitoramento da vinhaça, sob os aspectos técnico-econômico-social-ambiental são parcialmente adequados, requerendo estudos mais detalhados e de longa duração, sob condições edafoclimáticas distintas, que sejam suficientes para estabelecer sistemas de distribuição e aplicação e sua utilização sem riscos ao meio ambiente.

1.1.3 Aspectos relacionados ao processamento da cana-de-açúcar

1.1.3.1 Identificação dos parâmetros relevantes

Considerando as relações entre o processo industrial e o meio ambiente, a agroindústria do etanol tem progressivamente incorporado aperfeiçoamentos relevantes e reduzido de forma expressiva os impactos ambientais. Como exemplos podem ser citados a demanda de água, a disposição de efluentes e as emissões de gases. Ainda que se estime um consumo de processo da ordem de $22 \text{ m}^3 \text{ tc}^{-1}$ (usinas de açúcar com destilaria anexa), a captação e o lançamento de água nos corpos hídricos são bem inferiores. A maior parte do consumo de água (87%) ocorre em quatro processos: lavagem de cana, condensadores/multijatos na evaporação e vácuos, resfriamento de dornas e condensadores de álcool; mediante a racionalização do consumo da água (reutilizações e fechamentos de circuitos e algumas mudanças de processo, como a limpeza a seco e a redução da lavagem da cana, por conta do corte mecanizado), a captação vem sendo reduzida de modo significativo. Levantamentos realizados em 1997 e 2005 apontavam uma redução da captação média de 5 m^3 para $1,83 \text{ m}^3 \text{ tc}^{-1}$ (Elia Neto, 2005). As expectativas atuais são atingir, em médio prazo, $1 \text{ m}^3 \text{ tc}^{-1}$, volume próximo ao que entra na usina com a própria cana, já que 70% do peso dos colmos é constituído de água e já existindo unidades que já alcançam um consumo da ordem de $0,7 \text{ m}^3 \text{ tc}^{-1}$ (Elia Neto, 2009).

Os principais efluentes de processo, a vinhaça, cuja disposição final nos anos setenta representava um grave problema ambiental, e a torta de filtro, têm sido

usados atualmente de forma sistemática como fertilizantes, com benefícios para as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, como elevação do pH, aumento da capacidade de troca catiônica e da disponibilidade de certos nutrientes, melhoria da estruturação do solo, aumento na retenção de água e no desenvolvimento da microflora e microfauna do solo, resultando incrementos de produtividade de até 10 ton.ha⁻¹ e auxiliando a ampliar o número de cortes, comparativamente à adubação convencional. Cerca de 36% da áreas dos canaviais recebe irrigação com vinhaça, que substitui a adubação mineral potássica, estimando-se para valores de 2007 uma economia de 348 mil toneladas de cloreto de potássio (Pennatti, 2007).

Com relação às emissões atmosféricas associadas à queima do bagaço, as caldeiras atualmente empregadas, com menor excesso de ar e queimando bagaço sob temperaturas de chama mais elevadas, as emissões de particulados e de óxidos de nitrogênio nos gases de chaminé atingiram níveis similares aos observados em outros sistemas térmicos de potência e passaram a ser controladas pelos órgãos ambientais, de acordo com a legislação própria e não parecem ser um problema ambiental relevante.

Assim, do ponto de vista da sustentabilidade e em particular no contexto das relações entre o sistema produtivo agroindustrial e o meio ambiente, os parâmetros mais importantes estão associados essencialmente às perdas de massa e energia que podem ocorrer na transformação da matéria prima. No caso da cana-de-açúcar, os fluxos que interessa acompanhar são compostos basicamente pelos açúcares (sacarose e açúcares redutores), fibras e água, considerando as tecnologias convencionais, os açúcares são destinados para a produção de etanol, enquanto a fibra é utilizada fonte de energia no processo, com eventuais excedentes.

Para tratar dos balanços de massa referentes aos açúcares no caso da agroindústria canavieira no Brasil, onde a sacarose e as hexoses são usadas para produção de açúcar e etanol, que por sua vez pode ser obtido a partir do caldo direto e dos méis residuais, o CTC desenvolveu um modelo útil para a separação e avaliação das perdas e do desempenho dos diferentes grupos de processos, sintetizado na Figura 18.

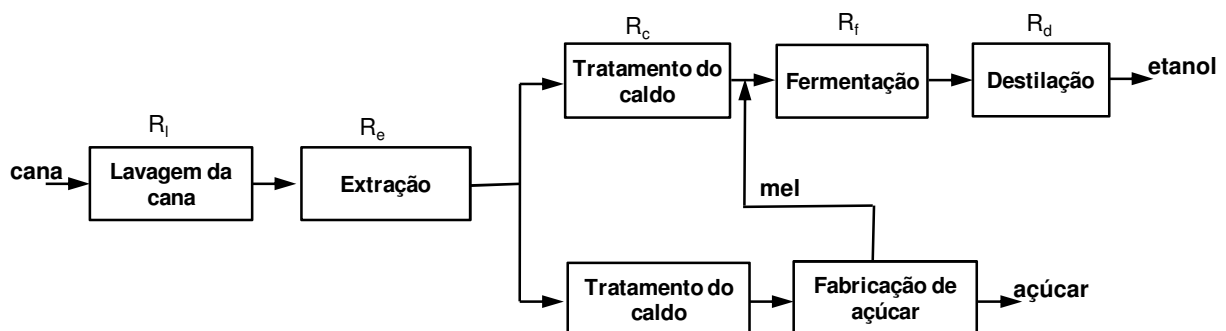


Figura 18: Modelo dos processos para avaliação do fluxo de açúcares na agroindústria canavieira (Finguerut, 2007)

Conforme esquematizado nessa figura, na produção de etanol ocorrem perdas de açúcares na lavagem, extração ou moagem, tratamento, fermentação e destilação, cujos respectivos rendimentos mássicos são apresentados a seguir, onde os termos com os fluxos de açúcares (incluindo a sacarose e os demais açúcares presentes na

cana) e etanol devem ser dados em seus equivalentes em hexoses (Açúcares Redutores Totais, ART):

- Rendimento na lavagem da cana:

$$R_l = \frac{\text{açúcar na cana lavada}}{\text{açúcar na cana sem lavar}} = 1 - \frac{\text{perdas de açúcar na lavagem da cana}}{\text{açúcar na cana sem lavar}}$$

- Rendimento na extração:

$$R_e = \frac{\text{açúcar no caldo bruto}}{\text{açúcar na cana lavada}} = 1 - \frac{\text{perdas de açúcar no bagaço}}{\text{açúcar contido no caldo bruto}}$$

- Rendimento no tratamento do caldo:

$$R_c = \frac{\text{açúcar no caldo tratado}}{\text{açúcar no caldo bruto}} = 1 - \frac{\text{Perdas de açúcar na torta de filtro}}{\text{Açúcar no caldo bruto}}$$

- Rendimento na fermentação:

$$R_f = \frac{\text{etanol no vinho}}{\text{açúcares no mosto}}$$

- Rendimento na destilação:

$$R_d = \frac{\text{etanol produzido}}{\text{etanol no vinho}} = 1 - \frac{\text{perdas de etanol na vinhaça}}{\text{etanol no vinho}}$$

Esses parâmetros permitem avaliar como os fluxos de açúcares são progressivamente processados e convertidos em etanol, eventualmente incluindo o aporte de açúcares residuais nos méis oriundos da fabricação de açúcar. Comparativamente às atividades agrícolas, naturalmente dependentes das características edafoclimáticas de cada usina, e portanto, menos generalizáveis, os rendimentos na indústria são menos susceptíveis à localização da unidade produtora, o que permitem cotejar valores entre as diversas usinas.

1.1.3.2 Levantamento dos valores de referência

Reconhecendo a importância dos indicadores de rendimento e outros similares associados ao processo agroindustrial, o CTC desenvolve desde 1991 um programa de "benchmarking", o Programa de Controle Mútuo da Produção de Açúcar e Alcool, apoiado no reforço do sistema de monitoramento dos ensaios de eficiência dos processos e na padronização dos procedimentos. Esse levantamento sistemático

tem permitido acompanhar a evolução dos processos produtivos na área agrícola e industrial e proporcionado aos produtores envolvidos uma das mais importantes e consistentes bases de informação sobre o desempenho das atividades agroindustriais no âmbito da agroindústria canavieira.

Especificamente no contexto industrial, esse programa acompanha em base mensal e anual, 39 processos relevantes no processamento da cana para a produção de açúcar, etanol e energia elétrica, agrupados em Extração, Tratamento do Caldo, Produção de Açúcar, Produção de Álcool, Energia, Automação e Laboratórios, em um número representativo de usinas da região Centro-Sul. A partir desse levantamento, considerando duas safras (2004/2005 e 2007/2008), foram selecionados os indicadores apresentados na Tabela 8, que inclui também os valores médios observados em 1975 (Oliverio, 2008). Vale aqui comentar que essas usinas, mais de 160 unidades produtoras, possivelmente representam uma fração com um desempenho algo superior à média efetiva das usinas da região, na medida em que se dispõem a implementar um sistema de monitoramento e sinalizam uma gestão mais responsável de sua planta. Como uma indicação desse possível desvio, difícil de estimar, o Consecana-SP (CNA, 2009) adota, para as usinas paulistas, eficiências médias de fermentação e destilação de 88% e 99%, respectivamente, um pouco inferiores aos valores tabelados para a safra mais recente.

Tabela 8: Rendimentos mássicos na produção de etanol

Parâmetro	1975	2004/2005	2007/2008	
	média	média	média	máximo
Rendimento na lavagem da cana (%)	-	99,3	99,52	99,99
Rendimento na extração (%)	93	96,1	95,83	97,22
Rendimento no tratamento do caldo (%)	98	99,5	99,48	99,96
Rendimento na fermentação (%)	80	91,1	90,09	91,36
Rendimento na destilação (%)	-	98,0	99,74	99,95
Perdas Indeterminadas (%)	-	3,5	3,36-4,77	

Fontes: 1975: Oliverio, 2008, outros anos: CTC, 2006 e CTC, 2008

Esses números sinalizam os avanços alcançados no controle de processo e redução das perdas de matéria prima, e confirmam a saturação comentada anteriormente, mas evidentemente não são os únicos parâmetros de interesse no acompanhamento do desempenho dos processos industriais de produção de etanol de cana de açúcar. Alguns outros indicadores, associados particularmente ao consumo de vapor e produção de energia elétrica também apresentam interesse e mostram tendências similares, como indicado na Tabela 9. Nesse caso, o desempenho está determinado pela eficiência combinada na geração de vapor (função das condições do bagaço, eficiência das caldeiras, recuperação de condensado, etc.) e uso do vapor (função do desempenho dos trocadores de calor e

evaporadores (que depende fortemente da área de troca térmica e do número de efeitos nos evaporadores), eficiência dos multi-jatos, uso do vapor vegetal, condições de gestão e manutenção das linhas de distribuição, etc.) e da mesma forma, depende das condições de produção e uso de energia elétrica, merecendo uma análise cuidadosa na medida em que os eventuais excedentes devem ser agregados considerando diferente valor energético, pois a energia elétrica apresenta um valor significativamente superior ao bagaço. Esse relevante aspecto do desempenho energético das usinas será retomado adiante.

Tabela 9: Indicadores de consumo de vapor e produção de energia elétrica na agroindústria do etanol (usinas novas)

Parâmetro	1975	2005
Consumo total de vapor no processo (kg/tonelada de cana)	600	380
Consumo de vapor na destilação (álcool hidratado) (kg/litro)	3,4	2,0
Consumo de vapor na destilação (álcool anidro) (kg/litro)	4,5	2,7
Pressão e temperatura do vapor vivo (bar/°C)	21/300	até 120/540
Geração de excedentes de energia elétrica (kWh/tc)	-	até 146

Fontes: Oliverio, 2008 e Seabra, 2008

Considerando que, além dos parâmetros de rendimento mássico e eficiência energética, são alvo dos desenvolvimentos de processo a redução dos tempos de processo, dos custos de capital, de operação e manutenção, e o incremento da flexibilidade, confiabilidade e da automação, é oportuno comentar o estado da arte na agroindústria canavieira no Brasil, onde são bastante diversificadas as configurações tecnológicas atuais. Do mesmo modo, as principais perspectivas para os grupos de processos de maior interesse na produção de etanol de cana, com potencial impacto em sua produtividade e eficiência no uso dos recursos naturais também apresentam grande número de alternativas e cuja progressiva adoção explica a evolução dos números das tabelas acima.

Nesse sentido, uma interessante fonte de informações são os artigos sobre tecnologias industriais apresentados na Revista STAB, órgão de divulgação da Sociedade dos Técnicos Açúcareiros e Alcooleiros do Brasil, entidade que desde 1963 congrega os técnicos desse setor e promove a discussão dos problemas técnicos e o aperfeiçoamento das tecnologias e procedimentos empregados. Essa entidade representa o Brasil no setor açucareiro mundial, em particular junto à International Society of Sugar Cane Technologists, ISSCT. A partir dos artigos da Revista STAB, em particular as contribuições do consultor Celso Procknor, envolvido na concepção e projetos de usinas de açúcar e etanol (vários artigos, especialmente Procknor, 1999, 2004 e 2009), foram preparados os próximos parágrafos, refletindo as condições médias das usinas da região Centro-Sul, indicando como a tecnologia industrial tem evoluído nos últimos dez anos, como vem sendo incorporada às unidades industriais e quais as novas tendências em pauta,

caracterizando os diversos dilemas⁵ tecnológicos vivenciados nesse setor. Essas possibilidades representam a pauta de tecnologias em uso ou em estágio pré-comercial e não correspondem as tecnologias em pesquisa ou ainda em desenvolvimento.

Recepção e limpeza da cana

Nos últimos anos se observou uma clara redução do estoque de cana para processamento nas usinas. Anteriormente eram mantidos estoques de até alguns dias de moagem, em pátios e barracões, mas atualmente predomina um estoque correspondente a poucas horas de trabalho, sobre carretas, de manuseio mais simples. A lavagem da cana, imposta para retirada da terra e redução da carga de impurezas inorgânicas (principal responsável pelo desgaste prematuro nas facas do triturador de cana), foi praticamente eliminada devido ao elevado consumo de água e perdas de açúcar (particularmente no caso da colheita mecânica), substituída pela limpeza a seco com jatos de ar, realizada nas mesas alimentadoras ou nas esteiras transportadoras, em diferentes configurações (posição relativa dos jatos de ar, número de estágios de limpeza), afetando o tipo das esteiras, que podem ser em lençol de borracha ou com taliscas metálicas. Não obstante, no caso de extração com difusores, os sistemas de limpeza a seco ainda não são suficientemente eficientes para os períodos chuvosos e instalações reduzidas para lavagem de cana ainda são adotadas.

Extração

A preparação da cana, que nos anos noventa se efetuava tipicamente com um nivelador, um picador e um ou dois desfibradores com facas e martelos oscilantes, tem sido paulatinamente simplificada para o uso de apenas um desfibrador pesado, mantendo a qualidade de preparo com menor consumo de potência e manutenção.

Durante a última década, o processo de extração nas usinas brasileiras vem sendo disputado pelas moendas, que produzem o caldo basicamente pela pressão do leito de cana preparada entre rolos e pelos difusores, em que o caldo é produzido pela lixiviação da cana preparada com água quente. Apesar da expressiva evolução da tecnologia de moagem de cana, incorporando inovações como a embebição cruzada e adaptações que ampliaram a extração e a capacidade de processamento, há um crescente interesse em adotar difusores nas novas usinas de açúcar e etanol no Brasil, que estariam sendo empregados por quase um terço das usinas construídas nos últimos anos e representariam a melhor opção, especialmente para plantas priorizando a produção de etanol, Figura 19. Em alguns países, como África do Sul, os difusores praticamente já deslocaram as moendas nas usinas de açúcar. Entretanto, no contexto brasileiro, efetivamente não existe ainda uma clara unanimidade a favor dessa tecnologia.

Afirmam os defensores dos difusores que suas principais desvantagens frente às moendas, como algum consumo adicional de bagaço e menor qualidade do caldo misto (pelo que entendo, o caldo misto dos difusores são mais limpos que os das moendas), são compensadas pela maior extração, menor custo de manutenção e maior capacidade de exportar energia elétrica excedente, já que consomem menos vapor de alta pressão. Por seu lado, os partidários das moendas argumentam que

⁵ “Dilemas” é exatamente o título de dois artigos de Celso Procknor a esse respeito, que menciona também alguns “trilemas” na definição de tecnologias na indústria sucroalcooleira.

essa tecnologia é mais flexível, sendo possível trabalhar bem com até um terço da capacidade nominal, como eventualmente necessário durante a implantação da indústria, e processar matéria prima de qualidade desigual, com menor consumo de vapor.



Figura 19: Difusor instalado em usina brasileira (Sermatec, 2008)

No caso de usinas de grande porte, a maior capacidade unitária aparentemente tem favorecido as moendas. Para essa tecnologia de extração, que além dos sistemas de embebição cruzada, atualmente incorpora sistemas de controle da alimentação de matéria prima e da rotação individual dos rolos, se discutia há alguns anos qual acionamento adotar entre turbina a vapor, motor hidráulico ou motor elétrico. Atualmente, por conta da maior eficiência e maior facilidade de controle, empregando inversores eletrônicos de frequência, os motores de indução trifásicos representam a melhor alternativa, geralmente sendo instalados, para cada terno de moenda, três motores elétricos com redutores planetários, mais um motor elétrico para o rolo de pressão.

Tratamento do caldo

Para o tratamento do caldo, geralmente simplificado no caso da produção exclusiva de etanol e de maior relevância para a produção de açúcar, durante os últimos anos diversas tendências tecnológicas foram se consolidando, quase sempre incorporando sistemas de controle e automação. Um bom exemplo são os decantadores rápidos, que exigem a remoção do bagacilho e devem obrigatoriamente operar de forma automatizada, pois o baixo tempo de residência impõe variações limitadas nas propriedades do caldo processado.

Para os processos de aquecimento do caldo e particularmente com relação aos regeneradores de calor, tem sido adotados trocadores de contato direto, que operam de forma contínua sem necessitar de paradas para limpeza, ou trocadores de placas, que apresentam melhor desempenho energético e apesar de precisarem

de limpezas freqüentes, tem predominado nas usinas mais modernas. No caso dos evaporadores, de forma similar, podem ser adotadas configurações tubulares ou em placas, mas nesse caso as exigências de limpeza têm favorecido os evaporadores tubulares.

Ainda com relação ao tratamento do caldo, para o processamento do lodo as opções tem sido o tradicional filtro rotativo a vácuo e a prensa desaguadora, em que o lodo é comprimido progressivamente entre duas telas. Esse último equipamento vem predominando por seu menor custo inicial e por fornecer um caldo filtrado mais claro e uma torta com menor umidade, apesar de requerer grandes volumes de água na lavagem da tela, que devem ser desejavelmente fornecidos pela reciclagem das correntes existentes na própria usina.

Fermentação

Para esse relevante processo, em que se observaram os incrementos de rendimento mais expressivos, como mostrado na Tabela 8, há alguns anos se discutia se a fermentação contínua seria superior a em bateladas, considerando o uso de mosto com caldo puro ou com caldo e mel. Mais recentemente ficou claro o predomínio dos processos em batelada, mesmo no caso de caldo puro, mas associados a sistemas de automação, com custos operacionais aceitáveis e maior flexibilidade para trabalhar com mostos variáveis (frequente no Brasil) e apresentando provavelmente uma eficiência de fermentação ligeiramente melhor.

Como fatores adicionais que diferenciam favoravelmente a fermentação por batelada, a fermentação contínua apresenta maiores dificuldades no caso de contaminação, pelas limitações para promover assepsias freqüentes e tratar de modo específico a levedura de fermentadores diversos. O insucesso com a fermentação contínua em plantas de etanol de cana em outros países também favoreceu os processos em bateladas, que, como última e relevante vantagem, ainda permite elevar o teor alcoólico do vinho, reduzindo o volume de vinhaça produzida e promovendo um incremento da capacidade útil dos equipamentos.

Visando melhorar o desempenho desse processo, os objetivos principais são reduzir o tempo de fermentação (24 horas em 1975 e 4-6 horas em 2005) e produzir vinho com maior teor alcoólico (7,5% em 1975 e 8-9% em média em 2005, com algumas usinas alcançando 10%) (Oliverio, 2008), mantendo um rendimento elevado na conversão dos açúcares e com custos competitivos. Segundo Rossell (2008), o maior desempenho na fermentação pode ser obtido em unidades projetadas com conceito sanitário, seja em processo batelada ou contínuo, operando com temperatura limite de 32°C, dupla centrifugação e linhagens otimizadas de leveduras. Ainda nesse sentido, Finguerut (2006) sugere algumas possíveis linhas de ação:

- reduzir a temperatura de fermentação ou desenvolver uma população fermentativa altamente adaptada à temperaturas elevadas e agressiva em relação às outras populações termo-tolerantes;
- reduzir o volume de vinhaça gerada com aumento do teor alcoólico e/ou reciclo do efluente ou de sua fração aquosa;
- reduzir o consumo ou substituir o ácido sulfúrico;
- encontrar alternativa ao emprego de antibióticos;

- encontrar alternativas à utilização de nitrogênio e potássio;
- reduzir o custo da centrifugação no reciclo celular, mantendo sob controle as perdas de fermento e a rejeição de bactérias e sólidos;
- padronizar os métodos de análise da fermentação.

Uma inovação possivelmente promissora, mas ainda limitadamente adotada, é o emprego de chillers por absorção, que utilizam o calor de baixa temperatura disponível no condensado ou no vapor de escape para produzir água fria usada para manter as dornas de fermentação na faixa de 28 a 29 °C, tornando possível obter vinhos com alto teor alcoólico final de 15%, com as vantagens já mencionadas.

Destilação

No processo de separação de etanol do vinho são necessárias duas fases: a produção do etanol hidratado (por destilação e retificação) e sua posterior desidratação, fase que usualmente emprega a adição de ciclohexano (CH) e a destilação extrativa da mistura ternária resultante. Frente às progressivas exigências de substituição do ciclohexano, também tem sido adotada a desidratação com mono etileno glicol (MEG).

Para definir o processo de destilação, a eficiência energética tem sido um fator de importância crescente e com esse propósito passaram a ser adotados sistemas com múltiplos efeitos (2 efeitos: vácuo e atmosférico, e 3 efeitos: vácuo, atmosférico e sobre-pressão), levando a um menor consumo de vapor. Entretanto, considerando a capacidade típica dos equipamentos empregados nas usinas brasileiras, a operação sob vácuo traz relevantes dificuldades construtivas e que implicam em custos elevados, que ainda desestimula a ampla adoção dos equipamentos mais eficientes.

As peneiras moleculares, extensamente adotadas na produção de etanol em outros países, constituem a alternativa principal à destilação para a desidratação final do etanol, mas ainda pouco usada no Brasil. Essa tecnologia utiliza zeólitos sintéticos (estruturas cristalinas de alumínio-silicatos) como elemento desidratante operando em ciclos regenerativos e com um consumo de vapor significativamente menor que as colunas de destilação. Não obstante, nos últimos anos a desidratação de etanol por meio de pervaporação tem se mostrado crescentemente competitiva. Essa tecnologia, capaz de reduzir significativamente o consumo de energia, promove a separação da água e do álcool pela diferença da permeabilidade através de membranas poliméricas. Naturalmente que a opção a ser escolhida vai depender do quadro de custos e benefícios a cada caso. A Tabela 10 apresenta valores indicativos para as demandas energéticas de referência na desidratação de etanol (CGEE, 2007).

No âmbito do processo de destilação também tem sido considerada a concentração de vinhaça, buscando racionalizar os custos operacionais para sua distribuição na lavoura e atender eventuais restrições ambientais associadas à captação de água bruta. Ainda nesse sentido tem aumentado o interesse na produção de metano a partir de vinhaça com o uso de reatores anaeróbios tipo UASB (Up-flow Anaerobic Sludge Blanket) operando com bactérias termofílicas em temperaturas ao redor de 56 °C e taxas de aplicação na faixa de 8 a 10 kg DQO/m³/dia. Essa tecnologia reduz de forma interessante a DQO desse efluente e amplia o campo de sua

utilização como fertilizante, mas suas vantagens econômicas estão para ser cabalmente demonstradas.

Tabela 10: Consumo de energia na desidratação de etanol

Tecnologia empregada	Consumo de vapor ¹	Consumo de energia elétrica	Energia primária total
	kg/m ³ de etanol anidro	kWh/m ³ de etanol anidro	MJ/m ³ de etanol anidro
Destilação com ciclohexano convencional	1750	-	5,33
Destilação com ciclohexano otimizada	1450	-	4,45
Destilação com ciclohexano a 3 efeitos	580	23	1,82
Absorção com MEG	750	15	2,40
Pervaporação	110	35	0,52
Peneiras moleculares	550	19	1,81

¹vapor de processo a diferentes pressões - Fonte: CGEE, 2007

De um modo geral e válido para todos os grupos de processos apresentados, os equipamentos e sistemas têm sido, em boa parte, concebidos e produzidos no Brasil, com o desenvolvimento tecnológico oferecendo novas opções tanto para a produção de etanol como de açúcar, em um processo sinérgico e estimulado pelas exigências de competitividade e dos órgãos ambientais. Uma avaliação econômica comparativa da introdução de inovações tecnológicas para incrementar o rendimento no processo de produção de etanol de cana de açúcar mostrou vantagens econômicas relevantes a favor do incremento da produtividade, em resultados em princípio generalizáveis (Chaves, 2006).

Não obstante, é importante observar que a existência de uma técnica ou procedimento com vantagens de desempenho, produtividade ou mesmo custo não assegura sua imediata absorção pela indústria, sendo necessário cotejar estas opções com outras possibilidades de investimento e considerar as restrições financeiras sempre presentes. A adoção de uma nova tecnologia depende, entre outros fatores, da capacidade e perfil de produção (etanol/açúcar) de cada planta, dos preços e custos atuais e prospectivos, da idade dos equipamentos em uso, da configuração dos mercados de açúcar, etanol e eletricidade e, naturalmente, da propensão a adotar inovações de cada empresa.

1.1.3.3 Estimativas dos valores prospectivos em 2015

Mesmo considerando a intensa e diversificada dinâmica tecnológica apresentada no tópico anterior, estabelecer cenários com valores de rendimentos industriais para os próximos cinco anos é relativamente imediato, essencialmente por dois motivos:

as unidades que deverão entrar em operação nesse período estarão muito provavelmente empregando as melhores tecnologias atualmente disponíveis e, como visto, devido à relativa saturação dos rendimentos que caracterizam o processo industrial, as variações possíveis são relativamente pequenas, no entorno dos valores máximos observados hoje em dia. Em outras palavras, o cenário médio tende a se alterar exatamente devido à entrada das novas usinas, cujos indicadores deverão ser coerentes com os melhores valores atualmente disponíveis. Embora existam no horizonte diversas tecnologias “radicais” (expressão de Macedo, 2007), como a hidrólise de celulose e a gasificação de biomassa, é difícil imaginar que estejam disponíveis em escala comercial até 2015.

Sob tais pressupostos, considerando os valores identificados na Tabela 1 para as melhores usinas na safra 2007/2008 (CTC, 2008) e os valores de rendimento similares apresentados em 2006 como metas para 2015 no estudo do Projeto NIPE/CGEE (Fase 2) sobre a expansão da produção de etanol no Brasil (CGEE, 2007), foram estabelecidos os rendimentos máximos apresentados na última coluna da Como esperado, as alterações indicadas na tabela anterior são pequenas face aos valores atualmente observados, mas podem representar ganhos expressivos considerando os volumes processados. Com um projeto e operação otimizados para proporcionar rendimentos nessa faixa, se espera que uma destilaria produza 91 litros de etanol anidro por tonelada de cana (assumida com um teor de sacarose aparente (Pol%cana) de 14,5%), com um consumo de vapor de processo de cerca de 353 kg/tc e eletricidade de 28 kWh/tc (CGEE, 2007). Como comentado no início dessas notas, a qualidade da matéria prima influencia bastante a produtividade industrial e considerando o provável incremento do teor de açúcares nas novas variedades que deverão ser disponibilizadas nos próximos anos, poderão se obtidas produtividades próximas a 97 litros de etanol anidro por tonelada de cana. Observe-se ainda que atualmente já são oferecidas no mercado brasileiro usinas de etanol com um consumo de vapor da ordem de 300 kg/tc.

. Assim, para o preparo da cana foi admitida a plena adoção da limpeza a seco nas novas unidades (com um baixíssimo uso de uma estação auxiliar de lavagem para os períodos chuvosos no caso das usinas em que o processo assim o exigir), para a extração assumiu-se um processo de moagem com incrementos marginais no desempenho atualmente alcançado, para o tratamento do caldo, a fermentação e a destilação se manteve o valor máximo atual, que já que para esses processos os melhores rendimentos medidos na última safra se encontravam acima da meta sugerida em 2006.

Tabela 11: Rendimentos mássicos na produção de etanol esperados para 2015

Parâmetro	média	máximo
Rendimento na lavagem da cana (%)	99,7	99,99
Rendimento na extração (%)	96,4	97,50
Rendimento no tratamento do caldo (%)	99,6	99,96
Rendimento na fermentação (%)	90,5	91,50
Rendimento na destilação (%)	99,8	99,95

Fonte: elaborado pelo autor

Para estimar os valores médios nesse mesmo horizonte, considerando que parte das usinas em operação deverão introduzir os aperfeiçoamentos em seus processos e que nem todas as novas unidades deverão operar na fronteira dos maiores rendimentos, assumiu-se que metade da atual capacidade instalada e o incremento previsto de capacidade deverão alcançar rendimentos médios entre os melhores valores e os valores médios observados na última safra. Como índice ("proxy") da capacidade instalada na agroindústria, adotou-se a produção de etanol no Brasil, 22,5 Mm³ na safra 2007/2008 (MAPA, 2009) e para 2015 utilizou-se a projeção apresentada no Plano Nacional de Energia, 36,0 Mm³ (EPE, 2007). Certamente é um procedimento arbitrário e preliminar, passível de ajustes na medida em que mais dados e melhores informações estejam disponíveis e que ilustra suficientemente o reduzido nível de perdas e o amadurecimento alcançado pelas tecnologias convencionais, sendo interessante observar que se espera uma redução das diferenças entre a média e as melhores usinas.

Como esperado, as alterações indicadas na tabela anterior são pequenas face aos valores atualmente observados, mas podem representar ganhos expressivos considerando os volumes processados. Com um projeto e operação otimizados para proporcionar rendimentos nessa faixa, se espera que uma destilaria produza 91 litros de etanol anidro por tonelada de cana (assumida com um teor de sacarose aparente (Pol%cana) de 14,5%), com um consumo de vapor de processo de cerca de 353 kg/tc e eletricidade de 28 kWh/tc (CGEE, 2007). Como comentado no início dessas notas, a qualidade da matéria prima influencia bastante a produtividade industrial e considerando o provável incremento do teor de açúcares nas novas variedades que deverão ser disponibilizadas nos próximos anos, poderão se obtidas produtividades próximas a 97 litros de etanol anidro por tonelada de cana. Observe-se ainda que atualmente já são oferecidas no mercado brasileiro usinas de etanol com um consumo de vapor da ordem de 300 kg/tc.

Possivelmente as modificações de caráter tecnológico mais relevantes para o incremento da produtividade da agroindústria canavieira durante esse período esteja relacionada com a introdução de sistemas de cogeração otimizados, com maior geração de excedentes e uso mais racional do bagaço.

1.1.3.4 Estimativas dos valores prospectivos em 2025

Na medida em que os horizontes de projeção se afastam, as previsões se tornam mais difíceis, seja devido à ampliação do número de possibilidades e arranjos tecnológicos, muitos dos quais hoje ainda estão nas bancadas dos laboratórios, seja também pelas incertezas do contexto em que essa agroindústria deverá se desenvolver nos próximos anos, com destaque para os preços dos vetores energéticos no Brasil e em outros países, evolução das tecnologias energéticas concorrentes, mecanismos de combate às emissões de gases de efeito estufa, entre outros fatores exógenos relevantes.

Para estabelecer uma configuração provável para a agroindústria do etanol em 2025, nos próximos parágrafos se comenta separadamente a evolução incremental dos processos convencionais, como efetuado no tópico anterior, onde as incertezas são aparentemente menores, discutindo-se em seguida as perspectivas mais inovadoras e revolucionárias, particularmente considerando a introdução dos processos de valorização de materiais celulósicos e efluentes industriais, seja para produção de biocombustíveis líquidos, seja para geração de energia elétrica.

Exatamente com o propósito de explorar essas possibilidades e fundamentar a formulação de políticas públicas no âmbito da expansão sustentável da produção de etanol no Brasil, o esforço mais aprofundado e articulado é o conjunto de estudos resultante dos convênios entre o CGEE, Centro de Gestão de Estudos Estratégicos e o Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético, NIPE, da Universidade Estadual de Campinas, desenvolvidos desde 2005 sob a orientação do Prof. Rogério Cezar de Cerqueira Leite. Na segunda fase desse projeto, envolvendo um grupo expressivo de especialistas, entre outros temas, foi analisada a evolução e o impacto das novas tecnologias industriais até o ano 2025, principalmente a partir das contribuições do consultor Dr. Carlos E. Vaz Rossell, e constituem a base para o cenário apresentado a seguir, que assume a continuidade do progressivo aperfeiçoamento das tecnologias convencionais, como apresentado nos tópicos anteriores (CGEE, 2007).

Nessas condições, em uma destilaria a ser instalada em 2025, a limpeza da cana deverá ser efetuada por processos a seco com eliminação do emprego de água, com o preparo e a extração eletrificados, utilizando moendas otimizadas ou difusores. Para o tratamento do caldo se prevê pré-evaporação com 6 efeitos e esterilização do mosto, alimentando fermentadores contínuos com vinho final acima de 12°GL e sistemas de resfriamento auxiliares para temperaturas inferiores a 28°C, sem uso de ácido sulfúrico e antibióticos. Finalmente, a destilação e retificação deverá empregar sistemas automatizados com alta capacidade, em múltiplo efeito (3 efeitos), utilizando termocompressão e vácuo, e para a desidratação sendo adotadas as peneiras moleculares ou ainda sistemas mais inovadores como pervaporação em membranas. Rossell (2008) sintetizou os resultados que podem ser obtidos com uma destilaria operando nessas condições, cujas tecnologias estão basicamente disponíveis hoje em dia, embora ainda não totalmente viabilizadas economicamente: rendimento de 92,5 litros de etanol anidro por tonelada de cana (com 14,5 de Pol%cana), consumo de vapor da ordem de 372 kg/tc e consumo de energia elétrica de 28 kW/tc, apresentando ainda uma produção de vinhoto de 3 litros por litro de etanol e uma geração de energia elétrica excedente de 160,2 kWh/tc, resultante de sistemas de cogeração operando a 90 bar e 520°C e uso parcial dos resíduos lignocelulósicos da colheita. Novamente cabe recordar o importante impacto da qualidade da matéria prima: para canas com 15,5 de Pol%cana, como se espera estejam disponíveis nesse período, a produtividade industrial seria da ordem de 100 litros de etanol anidro por tonelada de cana.

Os valores esperados de rendimentos para os principais grupos de processos nesse cenário constam da Tabela 12. Para a limpeza da cana foi assumido o mesmo rendimento estimado para 2015, já praticamente no valor máximo possível. Assim, possivelmente apenas os processos de extração e fermentação deverão apresentar ainda alguma evolução relativamente importante em termos de rendimento mássico. Essa tabela se refere aos valores correspondentes a uma destilaria nova, sendo difícil afirmar quais poderiam ser nesse caso os níveis médios e máximos para a agroindústria, como apresentado anteriormente.

Tabela 12: Rendimentos mássicos na produção de etanol esperados para 2025

Parâmetro	
Rendimento na lavagem da cana (%)	99,99
Rendimento na extração (%)	98,00
Rendimento no tratamento do caldo (%)	99,75
Rendimento na fermentação (%)	92,00
Rendimento na destilação (%)	99,75

Fonte: Rossell, 2008

Com relação às tecnologias inovadoras, para as quais ainda subsistem incertezas, considerando os objetivos do presente trabalho, serão sinalizadas as tendências mais importantes. Com efeito, são bastante diversificadas as possibilidades de se alterarem os processos industriais, não apenas visando ampliar a produção de energia, mas também contemplando a fabricação de intermediários químicos diversos, plásticos biodegradáveis, produtos para alimentação animal, entre outros produtos. Um diagnóstico da agroindústria canavieira no Brasil realizado em 2005 apontava mais de 60 tecnologias empregando a cana de açúcar como matéria-prima em diferentes setores industriais (IEL/Sebrae, 2005), espectro que tende a crescer, agregando valor à produção e convertendo as atuais usinas em “biorefinarias”, unidades produtoras complexas e flexíveis, integrando processos e utilizando correntes atualmente de pouco valor (BNDES, 2008).

As tecnologias cujo desenvolvimento pode trazer maior impacto para a produtividade global dessa agroindústria se referem ao aproveitamento parcial dos resíduos sólidos da lavoura (pontas e folhas da cana) e bagaço da cana: o uso desses materiais mediante processos de hidrólise ou gaseificação visando à produção de combustíveis líquidos ou sua utilização em sistemas avançados de geração de energia elétrica. Mesmo restringindo os cenários prospectivos apenas a essas duas alternativas, existe efetivamente uma grande diversidade de possibilidades e configurações, aparentemente todas elas factíveis dependendo das condições de mercados (demandas, custos e preços, especificações, desempenhos, etc.). Em um exercício exploratório, como a matéria prima é a mesma, convém agregar essas possibilidades em dois grupos: para maximizar a produção de biocombustíveis, que em médio prazo poderia significar a produção adicional de 37 a 40 litros de etanol/tc, ou para elevar a geração de energia elétrica, que poderia alcançar, com as tecnologias convencionais (turbinas a vapor) excedentes entre 140 e 150 kWh/tc e empregando gaseificadores de biomassa associados a turbinas a gás, mais de 180 kWh/tc (Seabra, 2008).

Poderiam ser citados ainda, no âmbito das possibilidades de desenvolvimento tecnológico de interesse para a agroindústria do etanol de cana, algumas tecnologias de proposição mais recente e que tem despertado grande interesse, embora se conheça relativamente pouco do desempenho dos processos, dos custos fixos e variáveis envolvidos e portanto ainda estejam por ser melhor sinalizado o seu potencial e perspectivas de viabilidade econômica. A primeira dessas tecnologias é a produção de biocombustíveis (ésteres) similares ao diesel por processos biossintéticos empregando microrganismos desenvolvidos especialmente com esse propósito e utilizando como substrato açúcares, do caldo de cana ou eventualmente resultantes dos processos hidrolíticos. Esse processo foi desenvolvido pela empresa norte-americana Amyris Biotechnologies, que desde julho de 2009 opera uma unidade de demonstração com um fermentador de 5.000 litros no Parque Tecnológico de Campinas, tendo constituído uma *joint-venture* com uma empresa brasileira Crystalsev com planos para comercializar esse biocombustível a partir de 2011 (Amyris, 2009). Empregando um processo análogo, também poderia ser citada a produção de butanol, atualmente fabricado em plantas petroquímicas e com amplo uso como solvente industrial, mediante rotas bioquímicas utilizando materiais lignocelulósicos como matéria-prima, para uso como aditivo à gasolina (DuPont, 2008). Uma terceira rota, ainda nas bancadas, é a produção de etanol mediante gaseificação de resíduos e biossíntese, fazendo circular o gás de síntese contendo monóxido de carbono e hidrogênio em uma fase aquosa com microrganismos especializados (ver, por exemplo, Cotter et al. 2009 e

Datar et al., 2004). É interessante constatar que esses processos têm em comum o fato de se basearem em rotas biotecnológicas avançadas.

Em todos os casos prováveis e conhecidos, os níveis de rendimento mássico se mantêm elevados, com aproveitamento praticamente integral da matéria prima, utilizando recursos energéticos disponíveis no próprio sistema produtivo. Nesse sentido, o processo industrial utiliza uma matéria prima resultante de um processo agrônômico de alto desempenho, acumulando energia solar de forma eficiente e permitindo atender todas necessidades de processo produtivo e ainda gerar excedentes significativos.

Análise e comentários dos cenários estudados

Certamente as oportunidades de incremento da produtividade e da eficiência energética na área industrial da agroindústria energética da cana de açúcar não apresentam perspectivas tão elevadas como observadas na área agrícola, mas nem por isso são menos importantes. Além do valor do incremento da produção, são igualmente decisivos os valores dos custos associados e dos efeitos de diversificação alcançados, bem como são relevantes os aspectos estratégicos das novas tecnologias no sentido de ampliar a sustentabilidade dessa agroindústria. Desse modo, por exemplo, a utilização de sistemas de extração por difusão, embora não signifique expressivos ganhos em níveis de extração, comparativamente às moendas, corresponde a menores demandas de energia mecânica e maiores consumos de vapor de baixa pressão, que favorece a produção de excedentes de energia elétrica nos sistemas de cogeração.

Os cenários estabelecidos pelos valores de rendimento industrial confirmam as assertivas iniciais: na produção de etanol, como efetuada na atualidade e considerando a evolução prevista para os próximos anos, os processos industriais apresentam nexos ambientais sem impactos relevantes, com elevada reciclagem de subprodutos e um nível de perdas de açúcares efetivamente muito baixo. A grande incerteza, na direção favorável, ainda se dá com relação à introdução das tecnologias inovadoras, cujo amadurecimento era esperado com maior velocidade do que aparentemente se mostra na atualidade, em ambos os casos mais destacados, hidrólise/gasificação de resíduos para a produção de biocombustíveis e gaseificação para geração de energia elétrica. Cabe reconhecer que as dificuldades inerentes à transição da escalas de pesquisa e desenvolvimento, nas quais os controles das variáveis e as condições de assepsia (no caso dos processos bioquímicos) são mais fáceis, para as escalas necessárias na agroindústria energética, representam desafios consideráveis. O importante esforço da comunidade científica mundial nessa direção, com aportes em nível de ciência básica e aplicada, efetivamente mostra um avanço significativo na compreensão e modelagem desses processos, que oportunamente deverão conduzir à sua desejável implementação prática. Além disso, e possivelmente mais importante, as condições de contorno, determinadas basicamente pelos preços das energias convencionais e disposição a investir, não foram as mais favoráveis, sobretudo devido às instabilidades e volatilidades nos últimos anos. Nesse sentido cabe reiterar o papel do Estado como agente mitigador das incertezas econômicas, visando fomentar investimentos que, sem uma expectativa razoável de rentabilidade, não irão ocorrer de forma saudável.

De todo modo, os principais fatores que tem promovido os biocombustíveis e principalmente o etanol de cana-de-açúcar com uma das mais promissoras

alternativas energéticas, como a necessidade de reduzir as emissões de gases de efeito estufa e reduzir a dependência dos combustíveis fósseis, permanecem crescentemente vigentes e impõem a sua expansão, seja no marco de avanços tecnológicos incrementais ou revolucionários.

1.2 Comentários sobre a "renovabilidade" efetiva dos combustíveis

1.2.1 Introdução

Como definido pela Comissão Brundtland nos anos 1980, espera-se que os sistemas energéticos sejam capazes de "satisfazer às necessidades das gerações atuais sem comprometer as futuras, atendendo ao equilíbrio social e ecológico bem como às necessidades dos mais pobres" (United Nations, 1987). Contudo, determinar a sustentabilidade de um sistema energético não é uma tarefa simples e depende não apenas do vetor energético em si, mas, fundamentalmente, do contexto de sua produção e utilização.

Não obstante, o estudo quantitativo da sustentabilidade da bioenergia se impõe de forma crescente, para delimitar sua racionalidade e instrumentar os processos de análise dos impactos associados às diversas formas e cadeias de produção dessa forma de energia. Devido à heterogeneidade própria da bioenergia, são bastante diversificados os contextos a considerar, que incluem desde os casos onde o acréscimo da participação de bioenergéticos na matriz energética pode ocorrer em bases racionais, como na utilização de resíduos lignocelulósicos para produção de eletricidade, até as situações onde é preciso restringir seu uso devido aos impactos ambientais, como na produção de lenha associada ao desmatamento de formações nativas. Entre esses casos limite, onde a bioenergia é vista como a solução mais factível e sustentável ou como um problema a superar, existe uma larga faixa de possibilidades a analisar, ainda não bem definidas quanto à viabilidade e necessitando de um instrumental de avaliação e indicadores, para orientar a produção e uso adequados de produtos bioenergéticos bem como para determinar os contextos onde a bioenergia potencialmente significa uma opção robusta e desejável.

Essa temática ganha ainda mais relevo ao ser discutir a adoção de metas de redução das emissões de gases de efeito estufa, algumas vezes associadas à participação das energias renováveis, no âmbito dos acordos internacionais relacionados ao meio ambiente e ao desenvolvimento. Com efeito, há uma fundamentada convicção de que ao substituir as formas fósseis e convencionais de suprimento energético, as energias renováveis aportam vantagens ambientais locais e globais, cabendo prover os mecanismos para superar os obstáculos que eventualmente se antepõem à sua expansão, relacionados principalmente à informação e à viabilidade econômica. Nesse sentido, o caso da biomassa é particularmente importante, por significar uma forma energética relativamente bem conhecida e de grande potencial, capaz de fornecer soluções efetivas e viáveis, porém paradoxalmente podendo também ser a causa de impactos irreversíveis quando os biomas são explorados além de sua capacidade de regeneração. Exatamente por essa falta de clareza em seus benefícios e limites que as bioenergias tem sido consideradas com compreensível dificuldade nos mencionados acordos, sugerindo-se uma subdivisão das bioenergias em tradicionais e modernas, sendo apenas essas últimas incluídas no grupo das "novas energias renováveis" (Goldemberg e Coelho, 2003).

O fato concreto é que realmente existem muitos e diversificados contextos para as bioenergias, sendo imperioso evidenciar os casos positivos a reproduzir e os casos negativos a combater. A sustentabilidade das bioenergias tem sido objeto de intensa discussão na comunidade energética e estas notas pretendem contribuir com uma breve revisão conceitual e um delineamento metodológico para avaliar o nível de sustentabilidade de sistemas bioenergéticos. Nesse sentido se considera particularmente útil a conceituação de renovabilidade e sustentabilidade, como se procura desenvolver a seguir, oferecendo elementos para a eventual certificação de biocombustíveis sob tais critérios.

1.2.2 Energias renováveis e sustentabilidade: fundamentos e conceitos

A vertiginosa evolução da demanda energética nas sociedades modernas, em quantidade e complexidade de vetores energéticos utilizados, associada à crescente consciência das implicações ambientais e econômicas de um modelo energético extrativista, explica o interesse pelas fontes renováveis de energia. Estas fontes podem ser definidas como as formas primárias de energia obtidas a partir de fluxos naturais, como a radiação solar e o fluxo de calor geotérmico, sendo evidente que tais formas energéticas devem ser exploradas de forma adequada e responsável, pois níveis exagerados de utilização podem ser predatórios e exaurir o recurso, que pode ser renovável, mas não é necessariamente ilimitado. Este é, por exemplo, o caso dos campos geotérmicos, que quando sobre explorados se esfriam e perdem a capacidade de gerar energia útil. Analogamente, uma reserva florestal natural ou uma área cultivável pode ser explorada de forma permanente, desde que dentro de níveis de produção associados ao incremento anual de biomassa disponível em bases sustentáveis, além do que se passa a esgotar o recurso energético.

Renovabilidade

Como ponto de partida, é interessante constatar que, conforme postulado pela Primeira Lei da Termodinâmica, a quantidade de energia do Universo é constante, apenas modificando-se de uma forma a outra mediante processos de conversão energética. Desse modo, em princípio, energia não se consome, não desaparece e ao referir-se ao esgotamento ou reposição de uma reserva energética, efetivamente se estaria considerando as taxas de saída e eventual reposição de energia através de processos naturais em um dado intervalo de tempo, o que poderia impor a menção ao tempo na definição da renovabilidade. Adicionalmente, é preciso também observar que, em escala universal, os estoques energéticos tem sido permanentemente abastecidos a partir das reações nucleares e conseqüente conversão de massa em energia no material estelar, fazendo com que, a rigor, o que se conserva é a soma da energia e de parte da massa do Universo, em seu equivalente energético.

Não obstante, como impõe a Segunda Lei da Termodinâmica, os processos de conversão energética são necessariamente irreversíveis e em sua inexorável geração de entropia e tempo, "consomem" de forma permanente e irrecuperável qualquer que seja a reserva energética, que paulatinamente se converte em energia térmica de baixa temperatura, que não pode ser mais convertida em outras formas de energia. Em síntese, pela Primeira Lei da Termodinâmica todas as energias seriam renováveis, mas como mostra a Segunda Lei, todas formas energéticas seriam realmente esgotáveis e finitas, em uma escala universal. Estes aspectos aparentemente controversos podem ser compatibilizados através do

tratamento exergético dos recursos naturais (Nogueira, 1997), entretanto além dos limites do presente estudo.

Escapando desse dilema, e aceita de um modo quase implícito pela comunidade energética, a definição a seguir permite classificar sem dificuldades as fontes energéticas:

renovabilidade: característica associada à possibilidade física de reposição, mediante processos naturais e em escalas de tempo humanas, das reservas associadas a uma determinada fonte energética.

Assim, as energias renováveis compreendem a ampla gama de energias primárias baseadas na radiação solar incidente sobre a Terra (energia hidráulica, eólica, solar, bioenergias, das ondas, etc.) e algumas outras energias renováveis "não solares", como a geotérmica e a das marés. Naturalmente que as energias renováveis não incluem as energias de estoque ou fósseis, como o petróleo, o gás natural e os materiais de interesse para reações atômicas ou nucleares.

Sustentabilidade

O conceito de sustentabilidade envolve aspectos ambientais, energéticos, sociais e econômicos, correspondendo ao envoltório de restrições que devem cumprir as cadeias de produção e uso de energia para serem aceitas como desejáveis, especialmente em bases comparativas. Efetivamente, como já adiantado, não se trata de conceito delimitável de forma simples, associando-se a aspectos muitas vezes pouco conhecidos ou susceptíveis de alterações segundo a forma de ponderação, como pode ser a aceitabilidade social e as emissões de gases de efeito estufa, cujas metodologias de avaliação ainda estão em fase de consolidação. Nesse quadro, a renovabilidade é um pressuposto necessário, mas não suficiente, podendo se sugerir preliminarmente a seguinte definição:

sustentabilidade: possibilidade dos sistemas energéticos se manterem saudáveis, estáveis e produtivos sem deplecionar suas reservas naturais, dentro de um marco de viabilidade econômica e aceitabilidade social.

Abstraindo os condicionantes sócio-econômicos e sob o pressuposto básico do atendimento aos requerimentos ambientais na concepção, implementação e operação, que poderiam ser expressos pela legislação ambiental, os sistemas energéticos baseados em fontes renováveis podem ter sua sustentabilidade energética (restrita nesse caso aos aspectos da oferta) avaliada de modo preliminar e qualitativo com auxílio de alguns critérios:

Energias solar, eólica, geotérmica: em princípio renováveis e sustentáveis, podendo a sustentabilidade ser avaliada localmente, de acordo com as implicações caso a caso.

Energia hidrelétrica: renovável e sustentável, podendo as unidades geradoras de grande capacidade balizar sua sustentabilidade de acordo conforme diretrizes como aquelas apresentadas pela World Commission on Dams (Palmieri, 2001).

Bioenergias: em suas diversas formas, os vetores bioenergéticos podem ser considerados renováveis quando o carbono emitido em sua combustão puder ser majoritariamente reabsorvido no processo fotossintético de produção da matéria prima (BERC, 2004). Além do requisito de renovabilidade, a sustentabilidade da bioenergia deve ser avaliada caso a caso, regionalmente ou localmente, como se comenta a seguir.

Sustentabilidade das bioenergias

No âmbito das fontes energéticas, as bioenergias se apresentam possivelmente como os casos mais complexos na determinação da sustentabilidade. Estão disponíveis na literatura alguns estudos analisando conceitualmente esse tema, sendo interessante mencionar o esforço pioneiro envolvendo um grupo de países de clima temperado, buscando estabelecer indicadores de sustentabilidade para as atividades florestais, sobretudo após a Conferência sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento no Rio de Janeiro em 1992. Este debate levou ao compromisso firmado na Declaração de Santiago em 1995, estabelecendo critérios (biodiversidade, manutenção da capacidade produtiva, manutenção da sanidade e vitalidade dos ecossistemas, conservação dos solos e dos recursos hídricos, contribuição ao ciclo de carbono e benefícios sócio-econômicos) e 67 indicadores para balizar a certificação ambiental de produtos dessas formações florestais, a partir de tais pressupostos de sustentabilidade (Forest Service/USDA, 1996). Mais recentemente, abordagens similares têm sido sugeridas para os biocombustíveis líquidos, como se verá adiante.

Hoje em dia a sustentabilidade ainda permanece um tema aberto. Sobretudo quando envolve ecossistemas e aproveitamento dos fluxos bioenergéticos, se observa uma polarização entre as visões utilitarista e preservacionista, a ser mediada e harmonizada, de forma manter e promover em níveis desejáveis as atividades produtivas e a proteção ambiental, certamente dependentes da perspectiva política e ideológica adotada. Tal discussão extrapola os propósitos da presente nota, mas cabe constatar que adicionalmente aos aspectos técnicos e quantificáveis, existem inúmeros fatores subjetivos e conceitos ainda pouco definidos, como equilíbrio de ecossistemas, processos auto-organizados e qualidade de vida, que cumpre aprofundar. Não obstante, buscando pragmaticamente um modo de escapar da cilada das indefinições e dos temas controversos e abstratos, uma conceituação mais restrita de sustentabilidade, operacional e de aplicação imediata estaria associada à possibilidade dos sistemas bioenergéticos manterem sua produção em largo prazo, sem depleção sensível dos recursos que lhe dão origem, como a fertilidade do solo e os recursos hídricos. Tal enfoque se sustenta em uma das definições clássicas de sustentabilidade: "the amount of consumption that can be continued indefinitely without degrading capital stocks - including natural capital stocks" (Goodland et al., 1992).

Ainda são limitados os estudos aplicados sobre a produtividade de sistemas bioenergéticos desde uma perspectiva de longo prazo, mas é interessante constatar como essa forma de analisar a viabilidade da exploração dos recursos naturais é antiga. Segundo algumas tribos americanas, uma floresta bem tratada "deve servir a sete gerações", o que poderia ser considerado como uma síntese mensurável do conceito de sustentabilidade (IEA/Task 29, 2007). Um exemplo nessa direção é o trabalho do Canadian Forest Service, considerando ciclos produtivos de 70-80 anos e avaliando a evolução das condições edafoclimáticas em função das taxas de produção dendroenergética (CFS Bioenergy Research, 2004). Também os estudos sobre o custo energético ao longo do ciclo de vida das tecnologias bioenergéticas

podem prover informações relevantes sobre sua sustentabilidade, desde um ponto de vista estritamente energético, mas capaz de abranger níveis elevados de regressão ao longo das cadeias produtivas e incluir aspectos como a reposição dos nutrientes (SMASP, 2004).

Frente a tais limitações, os estudos e as avaliações da sustentabilidade de sistemas bioenergéticos tem sido realizados a partir de avaliações para menores intervalos de tempo, como um ponto de partida para posteriores e mais detalhados estudos. Mesmo assim, apesar do significativo esforço empreendido nos últimos anos, infelizmente ainda são esparsos e reduzidos os contextos onde se dispõe de informações recentes, representativas e fundamentadas para sistemas de produção de bioenergias. Além do Brasil e Estados Unidos, onde o etanol já é relevante, em poucos países tais informações estão sistematizadas ou são levantadas regularmente, impondo a adoção de métodos estimativos ou indiretos. Eventuais pesquisas de campo podem reforçar a base de conhecimento sobre a cadeia bioenergética, desde que conduzidas de forma estatisticamente consistente para que possam ser generalizadas de algum modo.

Um último e relevante aspecto sobre o conceito de sustentabilidade refere-se à *possibilidade de reconhecer claramente quando os sistemas energéticos são não sustentáveis, sendo por outro lado praticamente impossível afirmar de forma cabal que são sustentáveis*. De fato, embora seja difícil afirmar de modo irretorquível que um sistema é sustentável, em grande parte dos casos reais é possível identificar os contextos predatórios e não renováveis, inclusive para as bioenergias. Colocada dessa forma, a sustentabilidade lembra os ensinamentos de Karl Popper sobre as verdades científicas, cujo valor é sempre relativo e susceptível a novos paradigmas que lhe venham a superar e corrigir. Essa observação empírica não retira o interesse nas avaliações de sustentabilidade, mas exatamente aponta seu potencial como ferramenta comparativa nas análises de sistemas energéticos.

Por exemplo, frente à relevante necessidade de atender a demanda de mobilidade de bens e pessoas, mesmo eventualmente considerando tecnologias não excludentes como o incremento da eficiência dos motores, redesenho das estruturas viárias e adoção de modais mais apropriados, os combustíveis veiculares seguirão sendo necessários pelo menos em médio prazo, e as formas de suprimento para atender essa demanda, como diferentes combustíveis convencionais e biocombustíveis podem ser cotejadas convenientemente com base em indicadores comparativos de sustentabilidade. Em poucas palavras, há pouco sentido em buscar indicadores absolutos de sustentabilidade e os biocombustíveis devem ser avaliados frente às demais alternativas e ao "status quo".

1.2.3 Certificação e sustentabilidade na agroindústria do bioetanol (BNDES, 2008, resumido)

Como uma das formas de assegurar a observância dos critérios de sustentabilidade na produção de biocombustíveis líquidos, têm sido propostos, principalmente por países industrializados, sistemas de certificação visando assegurar, explicitamente, que os biocombustíveis sejam produzidos e distribuídos de modo suficientemente sustentável, podendo, conseqüentemente, ser utilizados com propósitos ambientais. Além da dificuldade básica associada à complexidade intrínseca aos sistemas bioenergéticos, os sistemas de certificação para biocombustíveis, em bases voluntárias ou mandatárias, não dispõem ainda de um arcabouço legal internacional para sua sustentação, não obstante tais sistemas serem

eventualmente necessários no âmbito dos compromissos de mitigação da mudança climática, proteção à biodiversidade e tratados comerciais.

A certificação é tipicamente uma exigência colocada pelos consumidores aos produtores. Desse modo, a concepção de sistemas de certificação impõe um tratamento objetivo e cuidadoso dos aspectos de sustentabilidade, e sua adoção implica, necessariamente, a existência de agentes monitoradores independentes, que assegurem o equilíbrio e a isenção imprescindíveis. Não é desprezível o risco de que sistemas de certificação mal desenhados sirvam como barreiras comerciais adicionais e atuem como medidas protecionistas, restringindo o espaço das alternativas efetivamente sustentáveis e privilegiando as bioenergias ineficientes. Outra preocupação, pelo lado dos produtores, é o custo dos sistemas de certificação, que pode inviabilizar a produção em pequena escala.

A seguir se apresentam os principais esforços em curso para avaliar e eventualmente certificar a sustentabilidade de biocombustíveis:

- Associado ao requerimento de um teor de 5% de combustível de origem renovável em todo combustível automotivo vendido no Reino Unido em 2010, conforme definido na Renewable Transport Fuel Obligation (RTFO), os produtores de biocombustível deverão reportar o balanço de gases de efeito estufa e o impacto ambiental de seus produtos (The House of Commons, 2008).
- Na Holanda, teve início em 2006 o desenvolvimento de critérios de sustentabilidade para bioenergia, com atividades em curso para testar tais critérios em projetos-piloto e definir sistemas de monitoramento e certificação. Um extenso exercício sobre os possíveis indicadores apresenta um juízo favorável ao bioetanol produzido no Brasil, em particular no Estado de São Paulo (Smeets et al., 2006).
- No âmbito do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (Unep), encontra-se em discussão a definição de critérios de sustentabilidade para os biocombustíveis, com sugestões de que sejam adotadas metas concretas e instrumentos para sua implementação. Nesse sentido, o Unep vem trabalhando em estreita colaboração com instituições governamentais, entidades privadas e representantes da sociedade civil, incluindo o Global Bioenergy Partnership e a Roundtable on Sustainable Biofuels, comentados adiante (UNEP, 2008).
- A Organização das Nações Unidas para a Agricultura e a Alimentação (FAO) está desenvolvendo o projeto "Segurança Alimentar e Bioenergia" (Bioenergy and Food Security), com o propósito de estabelecer um arcabouço analítico para a avaliação dos impactos sobre o suprimento alimentar determinados pela expansão da produção de bioenergia, considerando os sistemas baseados em produtos alimentares e os denominados sistemas bioenergéticos de segunda geração (BFS/FAO, 2008).
- A Mesa Redonda sobre Biocombustíveis Sustentáveis (Roundtable on Sustainable Biofuels – RSB), liderada pelo Centro de Energia da Escola Politécnica Federal de Lausanne, na Suíça, é uma iniciativa internacional envolvendo agricultores, empresas, organizações não-governamentais, especialistas, agências internacionais e de governo interessados em

garantir a sustentabilidade da produção e da conversão dos biocombustíveis. Nesse sentido, vem promovendo uma série de reuniões, teleconferências e debates buscando construir um consenso em torno dos princípios e critérios na produção de biocombustíveis sustentáveis. Os princípios considerados para a avaliação da sustentabilidade na produção dos biocombustíveis estão disponíveis para análise (EPFL, 2008).

- O grupo de trabalho internacional IEA Task 40, no âmbito do Acordo de Bioenergia da Agência Internacional da Energia, desenvolve atividades focadas no comércio internacional de biomassa e bioenergia, suas implicações e perspectivas, trabalhando especificamente no desenvolvimento de sistemas de certificação, padronização e terminologia para a promoção do comércio internacional de vetores bioenergéticos em bases sustentáveis, provendo análise e informações importantes sobre os esforços em curso nesse campo (IEA Bioenergy, 2008).
- No âmbito do programa norte-americano para incrementar o uso de biocombustíveis veiculares nesse país Ato de Segurança e Independência Energética (Energy Independence and Safety Act – EISA), com expectativas de atingir progressivamente uma demanda de 136 bilhões de litros de bioetanol e outros biocombustíveis até 2022 (USDA, 2008), foram estabelecidas três categorias de combustíveis renováveis, com cotas e estímulos definidos exatamente em função de sua capacidade de mitigar as emissões de gases de efeito estufa.

Como uma última iniciativa a mencionar, voltada para assegurar padrões de sustentabilidade na produção de bioetanol, o Protocolo Agro-Ambiental, assinado em 2006 pelo governo do Estado de São Paulo e a Unica, implementou o Programa Bioetanol Verde, para fomentar as boas práticas do setor sucroalcooleiro por meio de um certificado de conformidade e determinar um padrão positivo a ser seguido pelos produtores. Em fase de operacionalização e aplicação em larga escala em todo o estado, o instrumento cobre alguns dos principais pontos de redução de impactos da cultura, como a antecipação dos prazos de eliminação da queima da palha da cana, a proteção de nascentes e dos remanescentes florestais, o controle das erosões e o adequado gerenciamento das embalagens de agrotóxicos (Lucon, 2008).

Sistemas de certificação da sustentabilidade com esse perfil, se adequadamente desenhados e bem implementados, poderão servir como efetivos instrumentos para que a produção dos biocombustíveis se desenvolva em um marco desejável de racionalidade, como tem sido demonstrado que o bioetanol de cana-de-açúcar pode atender competitivamente.

1.3 Sustentabilidade dos Recursos Hídricos em Bacias Hidrográficas com Cobertura Predominante de Cana-de-Açúcar⁶

1.3.1 Sustentabilidade dos Recursos Hídricos

Os ciclos naturais bioquímicos e energéticos são fortemente relacionados com o ciclo de água. Os recursos hídricos integram esses ciclos como meio de ligação ou de transformação. A água, notadamente, participa e afeta diretamente a circulação

⁶ Pesquisador Responsável: Prof. José Teixeira Filho (Feagri/ UNICAMP).

de massa e energia na atmosfera, de maneira a contribuir para a definição do clima à nível continental, regional e local. As condições da superfície terrestre apresentam, também, uma influência capital para a circulação da água na atmosfera (Teixeira Filho 1995).

No decorrer dos dois últimos séculos a ação humana direta sobre a superfície terrestre, os oceanos e a atmosfera causou modificações locais e regionais importantes. Essas novas condições da superfície terrestre ocasionaram alterações importantes na circulação das águas à nível local e regional, produzindo alterações climáticas complexas. Essas perturbações climáticas são dinâmicas, apresentando um mecanismo interativo importante com o meio ambiente. Assim, o conhecimento das interações com as condições da superfície terrestre, principalmente, em relação às variações da cobertura vegetal e a atmosfera é fundamental para a previsão das alterações climáticas e, especialmente, para as conseqüências no balanço hídrico em todas as escalas espaciais (Teixeira Filho et al. 1995).

A cobertura vegetal representa o ponto de conexão entre as condições do solo e a atmosfera. A cobertura vegetal se adapta às condições locais a partir de mecanismos particulares a cada ecossistema e a cada espécie vegetal (Teixeira Filho 1995). O estudo do funcionamento dos ecossistemas terrestres propicia a construção de modelos mais adaptados para a simulação dos balanços hídricos. A vegetação influencia no ciclo hidrológico principalmente através: da redistribuição e evaporação das precipitações interceptadas na cobertura vegetal, do controle biofísico da evaporação e da extração da água pelo sistema radicular.

Dentro desse contexto, as mudanças climáticas terão conseqüências diretas sobre os balanços hídricos nas bacias hidrográficas. As ações induzidas por essas alterações irão se repercutir em diversos níveis de escalas espaciais e temporais. Entretanto, os hidrólogos são confrontados freqüentemente às alterações de ocupação do solo localizadas, que em curto espaço de tempo modificam sobremaneira o meio ambiente. Essas alterações de ocupação do solo apresentam impactos ecológicos de grande importância, em função da modificação da biodiversidade, tanto em termos de número de espécies vivas como em termos de habitat.

A destruição das florestas, o desenvolvimento da agricultura, a construção de grandes reservatórios, o desenvolvimento urbano apresentam conseqüências fundamentais nos sistemas naturais em geral e em particular no ciclo hidrológico (Roger et al. 2005). O impacto dessas modificações não é distribuído uniformemente nem ao longo do espaço e nem ao longo do tempo, o que aumenta a complexidade das análises, notadamente no meio ambiente da produção agrícola. Assim, a utilização dos mecanismos do sistema solo-planta-atmosfera é essencial para a modelagem hidrológica das disponibilidades hídricas em bacias.

A água é um recurso natural, e sua renovação é garantida pelos processos físicos do ciclo hidrológico. No entanto, essa renovabilidade pode ser comprometida de acordo com a utilização do recurso. Assim, o termo renovável e não renovável deve ser substituído por sustentável e não sustentável. O fato de um recurso ser renovável não garante que ele não se esgote, da mesma forma que um recurso não renovável não está necessariamente sujeito à exaustão (Roger et al. 2005, Hunter et al. 2008). A questão da disponibilidade de recursos está mais relacionada a custos do que à exaustão propriamente. Também os recursos sustentáveis – água e solo, por exemplo - poderão estar sujeitas às limitações caso os custos de provisão

de suprimentos adicionais se elevem. Ainda é importante observar que a ameaça ao bem estar humano, associada à exaustão de recursos, é mais importante com relação a água e solo do que a energia e minerais. A escassez daqueles representaria um desafio mais imediato às sociedades, pelo menos em muitas regiões do mundo (Muttiah et al. 2002).

O conceito de desenvolvimento sustentável, difundido a partir da divulgação do relatório da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento da Organização das Nações Unidas (ONU, 1991), baseia-se no atendimento às necessidades humanas fundamentais, sendo que as estratégias adotadas com relação ao meio ambiente e desenvolvimento devem levar em conta os interesses não apenas desta, mas também os das futuras gerações. O desenvolvimento humano leva em consideração, portanto, que aquelas necessidades sejam satisfeitas, e que isto ocorra de maneira sustentável.

Se o desenvolvimento sustentável relaciona-se ao atendimento de necessidades, cabe estabelecer quais são as necessidades humanas fundamentais e se os sistemas econômicos e sociais existentes têm servido a este propósito. As necessidades básicas das pessoas não são exclusivamente materiais, no entanto deve estar garantida, em primeiro lugar, a necessidade de subsistência. Do consumo de água depende diretamente a sobrevivência de todos os seres vivos.

No entanto observa-se que uma grande parcela da população mundial sequer tem atendidas as mínimas necessidades que a permitam subsistir. O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) adotado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) é calculado a partir de indicadores de educação (alfabetização e taxa de matrícula), saúde (esperança de vida) e renda (PIB per capita). Este índice, associado ao Índice de Pobreza Humana, pode fornecer uma idéia razoável sobre as condições de vida das populações, com relação a seus aspectos materiais. O Índice de Pobreza Humana (IPH) considera a porcentagem da população que não chegará aos 40 anos, a taxa de analfabetismo e a porcentagem da população sem acesso a serviços de saúde, esgoto e água potável. Entram no cálculo, ainda, a porcentagem de crianças com menos de 5 anos com peso abaixo do esperado, a distribuição de renda e a porcentagem da população que se encontra abaixo da linha de pobreza. O acesso à água potável, portanto, reflete-se na esperança de vida das populações, entrando no cálculo dos indicadores de saúde das nações, de acordo com a metodologia adotada pela ONU. Mas não é apenas nesse ponto que reside à importância dos recursos hídricos para o desenvolvimento sustentável.

Para uma atividade produtiva deve atingir a sustentabilidade: social, econômica e ambiental. A sustentabilidade social tem como principal objetivo a redução da pobreza. Entretanto, isso não será conseguido estendendo o padrão de consumo de alguns para todos. A redução da pobreza é atingida mais pelo desenvolvimento qualitativo, redistribuição e partilha e pela estabilidade populacional do que pelo crescimento quantitativo. A sustentabilidade econômica pressupõe que o desenvolvimento suplante o crescimento. No desenvolvimento sustentável o crescimento não deve ir além da capacidade de suporte do ambiente, então os padrões de consumo e poluição dos países ricos não podem ser generalizados. A sustentabilidade ambiental se preocupa com o bem estar do homem ao se preocupar com a proteção dos materiais necessários ao atendimento das necessidades humanas e com que os resíduos produzidos pelo homem não venham a prejudicá-lo. O homem precisa aprender a viver com as limitações do meio físico.

Os recursos hídricos se relacionam com os três aspectos da sustentabilidade. Baixa disponibilidade de água, seja quantitativa ou qualitativamente, afeta diretamente a sobrevivência dos ecossistemas e das populações humanas. Nos ecossistemas produtivos, relacionados à produção agrícola, pode-se analisar se os parâmetros de sustentabilidade estão sendo contemplados tomando-se como base o balanço hídrico das bacias hidrográficas.

O ciclo hidrológico é o fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, estimulado pela energia solar associada à força da gravidade e ao movimento de rotação da terra. As trocas entre as superfícies terrestre e atmosférica, fechando o ciclo hidrológico, ocorrem tanto no sentido superfície-atmosfera, em que o fluxo de água se dá fundamentalmente na forma de vapor, em decorrência dos fenômenos de evaporação e transpiração, como no sentido atmosfera-superfície, em que a transferência de água ocorre mais significativamente na forma de precipitações (Bennie et al. 2001). O ciclo hidrológico é fechado apenas em nível global. À medida que se considere áreas de drenagem menores, o ciclo hidrológico fica caracterizado como aberto em nível local.

Uma das características dos recursos hídricos é sua distribuição irregular no tempo e no espaço. Da mesma forma, o consumo de água não é eqüitativo entre os países do mundo e mesmo entre os habitantes de um mesmo país, em função de sua condição econômica. Os dados de consumo de água do Estado de São Paulo mostram que 30% do total consumido são utilizados na indústria, 46% no abastecimento urbano e 24% na agricultura. Os fertilizantes e defensivos utilizados na agricultura podem causar sérios impactos pela contaminação de aquíferos, rios e mananciais. Em muitas regiões, em que há escassez de água, a demanda para o uso agrícola afeta o consumo doméstico. Atividades humanas que alterem os fatores básicos que determinam o balanço hídrico influenciam a disponibilidade dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica. O uso da terra com remoção da cobertura vegetal e implantação de agricultura sem controle da erosão, por exemplo, degrada os recursos hídricos, pelo aumento do escoamento superficial que promove o assoreamento de rios, lagos e represas. Daí a importância do estudo dos impactos causados pelas práticas agrícolas sobre os recursos hídricos (Roger et al. 2005).

Os estudos envolvendo recursos naturais, especialmente quando existe o interesse em aspectos ligados à qualidade e/ou disponibilidade de água, são, preferencialmente, executados na escala de bacias hidrográficas. Essa escala espacial pode ser considerada como uma unidade de paisagem capaz de integrar os principais componentes relacionados com a qualidade e disponibilidade de água, como cobertura vegetal, solos, geologia e paisagem circundante (Silva et al. 2002, Sparovek et al. 2001, Timm et al. 2003). O estudo em bacias hidrográficas possibilita a integração dos fatores que condicionam a qualidade e a disponibilidade dos recursos hídricos, com os seus reais condicionantes físicos e antrópicos. Essa escala também se mostra compatível para as ações políticas relacionadas à conservação do solo e à gestão dos recursos hídricos (Walton et al. 2000, Green et al. 2006). A determinação das disponibilidades dos recursos hídricos em uma bacia hidrográfica apresenta uma grande complexidade, em função das interações existentes entre os diferentes fatores condicionantes do ciclo hidrológico, notadamente os fatores físicos. A compreensão dos mecanismos hidrológicos envolvidos entre os diferentes fatores pode possibilitar condições suficientes para a avaliação da dinâmica desses recursos, especialmente em áreas agrícolas, em que

as alterações provocadas nos fatores físicos podem afetar diretamente os processos hidrológicos. A intensificação do uso do solo para o desenvolvimento agrícola produz um fato muito comum e pouco enfrentado, o aumento da erosão superficial dos solos.

Os processos de erosão estão relacionados com os mecanismos de desagregação e de transporte de sedimentos, cuja mensuração apresenta grande complexidade, assim como a avaliação da degradação das terras. Esses processos são o produto da interação dos mecanismos hidrológicos, pedológicos, geológicos, de utilização e ocupação do solo, e das características do relevo, os quais são fortemente acelerados para terras de menor potencial agrícola, apesar de que também em terras de elevado potencial agrícola esses processos podem ser intensos. A desagregação e o transporte de sedimentos têm como uma de suas fontes de origem o escoamento na superfície do solo. Esse escoamento superficial transporta, até os corpos d'água, partículas soltas ou solúveis, que podem também se transformar em cargas de poluição significativas. O material transportado pode assorear as baixadas dos vales, os reservatórios de água e os rios, bem como contaminar os recursos hídricos superficiais com fertilizantes e defensivos agrícolas. Essas cargas representam uma fonte não pontual ou dispersa de poluição, caracterizando os principais problemas da atividade agrícola em relação ao meio ambiente, por meio da aplicação de defensivos e fertilizantes. Disto constata-se a interdependência dos aspectos quantitativos e qualitativos na definição de diretrizes para a gestão de manejo e proteção dos recursos naturais, e sobretudo a estimativa dos impactos ambientais nas regiões de produção e adjacentes devido às atividades agrícolas.

1.3.2 Balanço Hídrico

O balanço hídrico representa a quantificação dos fluxos de água em uma determinada região, ou especificamente em bacias hidrográficas. Em bacias hidrográficas, com cobertura predominante de cana-de-açúcar, a partir das chuvas incidentes (P_i) os volumes de água se distribuem em escoamento superficial (P_{sp}), escoamento subterrâneo (P_{sb}), evaporação da água armazenada no solo (E_s), evaporação armazenada na cobertura vegetal (interceptação - E_i) e a transpiração vegetal (T_r). Uma bacia com cobertura predominante de cana-de-açúcar os valores de cada parcela podem se distribuir em função da chuva incidente da seguinte maneira (Castilho 2004, Ferreira 2004):

$$P_{sp} + P_{sb} = 0,30 \text{ a } 0,35 P_i$$

$$E_i = 0,20 \text{ a } 0,25 P_i$$

$$E_s = 0,03 \text{ a } 0,05 P_i$$

$$T_r = 0,40 \text{ a } 0,45 P_i$$

A soma de duas as parcelas principais, interceptação e transpiração, correspondentes à evaporação representam entre 0,60 a 0,70 da chuva incidente. Assim, o conhecimento dessas parcelas é fundamental para determinar o balanço hídrico de uma bacia.

Interceptação de chuva na cultura de cana-de-açúcar

A interceptação é o processo pelo qual parte da precipitação é temporariamente retida pelas copas das árvores, sendo subseqüentemente redistribuída em água que respinga no solo, água que escoo pelo tronco e água que volta à atmosfera por evaporação. É denominada perda por interceptação a quantidade de água interceptada que evapora diretamente das copas, não atingindo o solo. A interceptação das precipitações pela cobertura vegetal constitui um dos fatores de maior importância no estabelecimento de balanço hídrico, notadamente como componente da evapotranspiração (STEWART, 1977/1984/1988; CALDER, 1977). A maioria dos estudos foi conduzida em cobertura florestal, sendo escassos os trabalhos sobre interceptação realizados com culturas, anuais ou perenes. Também são poucas as pesquisas que modelam o processo de interceptação sendo que alguns modelos não podem ser utilizados em condições distintas da realização do experimento, por não apresentam relação com o grau de desenvolvimento da cultura.

VIEIRA (1982) pesquisou a repartição das águas das chuvas na cultura de cana-de-açúcar durante o período de 25 de setembro de 1981 a 30 de março de 1982. O trabalho foi desenvolvido em uma área da Companhia Industrial Agrícola Ometto, Usina Iracema, município de Iracemópolis, SP, cultivada com a variedade CB41-76, terceira soca. Para medida da precipitação interna foram instalados, ao acaso, 30 pluviômetros em duas áreas de 5m x 5m (15 por área). Para medir a precipitação incidente (a céu aberto) foram instalados em um carreador, 10 pluviômetros distanciados 10m entre si. Coletores foram instalados ao redor de todos os colmos de 7 touceiras, 4 em uma área e 3 na outra. Dados meteorológicos foram obtidos junto ao posto da usina Iracema, distante cerca de 2km do local. A precipitação interna foi considerada a média do posto enquanto as plantas apresentavam altura inferior a 50cm. Medidas feitas no próprio local tiveram início em 30 de novembro. No período de análise, a precipitação incidente total foi de 1139,5mm, a precipitação interna e escoamento pelo colmo representaram 64% (734,1mm) e 12% (131,1mm), respectivamente. A precipitação efetiva atingiu 76% da precipitação incidente o que equivaleu a 865,2mm e as perdas por interceptação, 24% (274,03mm).

CASTILHO (2000) monitorou a perda por interceptação durante o período de 05 de fevereiro a 20 de dezembro de 1999. O experimento foi implantado em uma área da Faculdade de Engenharia Agrícola – UNICAMP, município de Campinas, SP, cultivada com a variedade NA 72454. Foram instaladas 29 calhas coletoras abaixo da folhagem da cultura, entre as linhas de plantio, cada qual conectada a um reservatório de armazenamento. Medidas diárias do volume armazenado forneceram a quantidade da precipitação que atingia o solo. Medidas mensais do índice de área foliar (IAF) foram executadas para cada uma das calhas e para toda a parcela. O valor da parcela de chuva interceptada foi calculado a partir de um modelo linear no qual a precipitação que atinge o solo é função da precipitação incidente e do IAF: $PL = a \cdot PI + b$, onde PI representa a precipitação incidente e PL, a precipitação que atravessa a vegetação atingindo o solo; o coeficiente angular (a) está relacionado ao índice de área foliar da cultura e o coeficiente linear (b) representa as características médias da cultura estudada. A quantidade de chuva interceptada pela cultura (PP) foi obtida subtraindo da precipitação incidente (PI) o valor da lâmina de água no solo (PL). Estabeleceram-se classes de IAF nas quais foram agrupadas as calhas experimentais. Para cada classe foi determinado o valor médio de IAF, para o qual foi estabelecido um modelo linear. Posteriormente, foi

determinado o modelo linear representativo da parcela experimental considerada em sua totalidade. No período de estudo, a precipitação incidente total analisada foi de 778,9mm, dos quais 39,5% foram interceptados e 60,5% representaram a lâmina de água no solo (valores médios). O valor médio do IAF nas calhas foi de 1,95 e o valor médio da superfície de IAF na parcela foi de 2,86.

Transpiração vegetal da cultura de cana-de-açúcar

As perdas de água por um vegetal ocorrem de duas formas: a gasosa (vapor de água) ou líquida. A predominância é a gasosa, por transpiração e do tipo denominada estomática, ou seja, por intermédio dos estômatos (80 a 90% da perda de água total de um vegetal). Com relação à transpiração, todas as superfícies de um vegetal, em contato direto ou indireto com a atmosfera, estão sujeitas a perder maior ou menor quantidade de água por transpiração. Caules, flores, frutos, transpiram, mas a perda maior de água por transpiração se dá por meio das folhas. O grau de abertura dos estômatos é variável nas diferentes horas do dia e vai determinar as variações de perdas de água pelo vegetal ao longo do dia. A transpiração é um processo que ocorre, essencialmente, em duas fases, a evaporação da água para os espaços intercelulares e após, a difusão da água para a atmosfera. O principal meio de transpiração, são pelos estômatos, as suas aberturas irão depender do grau de saturação hídrica das células estomáticas, podendo haver grande restrição da transpiração quando o déficit de água na planta for muito grande. A folha é o organismo vegetal onde se efetuam a fotossíntese e a transpiração. Todas as trocas gasosas são executadas pelos vegetais em nível foliar. A passagem dos resultados dos mecanismos desse nível para a cobertura vegetal será feita a partir do índice de folhas (LAI). A análise e a modelagem dos processos relacionados com a vegetação são mais fáceis de serem associados por unidade de superfície do solo, do que por unidade de superfície foliar. Outros recursos utilizados pelos vegetais também são correlacionados com a unidade de superfície do solo, como: a radiação solar, as disponibilidades hídricas e os nutrientes. Assim, o emprego da definição do índice de folhas (LAI) representa um aspecto chave para a espacialização dos mecanismos, tendo em vista as bacias hidrográficas. O índice de folhas também pode ser aliado ao grau de desenvolvimento para uma determinada cultura. Esse índice tem sido estimado através de sinais obtidos por sensoriamento remoto orbital. As medidas do índice de folhas serão realizadas pelo analisador do dossel de plantas. Esse equipamento de campo poderá estimar o índice de área foliar - LAI e assim avaliar a superfície foliar fotossinteticamente ativa. Esse dado é importante para relacionar a condutância estomática com a condutância da cobertura vegetal e, fundamental para a modelagem da transpiração vegetal. A avaliação da transpiração em qualquer escala é um processo complexo, pois os mecanismos de controle dos fluxos de água variam para cada cultivar de cana-de-açúcar. Assim, é necessário a caracterização de cada cultivar de cana-de-açúcar para a avaliação do impacto da cultura no ambiente. Esse impacto pode ser simulado por modelos de simulação do balanço hídrico para diversas escalas de espaço.

1.3.3 Modelagem do balanço hídrico proposta para as áreas de cultura de cana-de-açúcar

Modelagem da cobertura vegetal

A cobertura vegetal participa do ciclo da água no controle da passagem de água na interface solo-vegetação-atmosfera. Essa componente do ciclo da água, que denomina-se evapotranspiração, representa uma parcela fundamental para o estabelecimento dos balanços hídricos (Muttiah et al. 2002). Entretanto, a evaporação da água na interface vegetação-atmosfera resta um dos aspectos menos conhecidos do ciclo hidrológico. A passagem da água na interface vegetação-atmosfera se realiza na superfície foliar a partir da perda de vapor no processo de transpiração. Os estômatos são os componentes dos vegetais responsáveis pelo controle da perda de água, através de seus movimentos de abertura e fechamento. Os estômatos são submetidos a mecanismos complexos que controlam a abertura em resposta a fatores fisiológicos e ambientais. A estrutura das formações vegetais é reveladora das condições do meio e dos processos existentes. Os estudos de transferências hídricas podem ser realizados em diversos níveis (folha - cobertura vegetal - bacia hidrográfica - região).

Da folha para cobertura vegetal

A mudança de escala dos processos da folha para a cobertura vegetal objetivando estimar os fluxos de transpiração do sistema vegetação-atmosfera apresenta duas componentes principais: (a) a componente biológica que compreende a arquitetura da cobertura vegetal e as características fisiológicas de cada espécie; (b) a componente da dinâmica dos fluídos que consiste dos gradientes físicos.

A integração dos fenômenos de perda de água, por transpiração, da folha para a cobertura vegetal, pode ser realizada através de um índice, que permite estimar a quantidade de superfície fotossinteticamente ativa (Teixeira Filho 1995). Esse índice representa a relação entre a superfície foliar total e sua área de projeção, geralmente expresso por LAI (Leaf Area Index). A utilização do LAI tem como objetivo estimar a área dos tecidos ativos transpirantes para determinar o fluxo de transpiração em uma cobertura vegetal. No momento em que as folhas da cobertura vegetal estão praticamente sobre a mesma condição de radiação solar (valores de LAI pequenos) a resposta da transpiração à radiação aproxima-se a resposta foliar. Entretanto, se os valores de LAI são elevados, somente as folhas no alto da cobertura vegetal irão receber uma quantidade saturante de energia radiante. Para as outras folhas, a transpiração será limitada pela quantidade de radiação solar que poderá atingir suas superfícies. A quantidade de radiação dependerá da estrutura vegetal e da posição do vegetal em relação à cobertura vegetal, ao seu espaço vital.

Da cobertura vegetal para bacia hidrográfica

O LAI representa o parâmetro chave para a espacialização das condições da cobertura vegetal em uma bacia hidrográfica ou uma região. Esse índice pode ser estimado a partir de estudos de teledetecção, os quais permitem o cruzamento das dimensões espaciais e temporais com a finalidade de incorporar a dinâmica dos fenômenos de superfície aos modelos de simulação (Teixeira Filho et al. 1995). Assim, abre-se a possibilidade de determinação de balanço hídrico de bacias

hidrográficas utilizando-se modelos aplicados à cobertura vegetal, a partir de esquema hierarquizado e dependente (folha - cobertura vegetal - bacia hidrográfica). Em cada nível os mecanismos de transferência de água podem ser quantificados, a fim de integrá-los a uma escala superior.

Modelagem dos fluxos hídricos em bacias hidrográficas

A utilização de modelos de simulação representa uma ferramenta fundamental para o estabelecimento do balanço hídrico e hidrológico em bacias hidrográficas. Esses modelos são empregados para estimar possíveis impactos de modificações da superfície do solo sobre o meio ambiente, notadamente em áreas rurais. Diversos modelos hidrológicos foram desenvolvidos para simulação de bacias (Singh, 1989). A escolha do modelo depende do objetivo, da precisão desejada, da disponibilidade e da qualidade de dados. Em relação à estrutura de modelagem espacial em hidrologia, podem-se considerar dois tipos de modelos, em função de sua configuração espacial: os modelos globais e os modelos distribuídos.

Os modelos hidrológicos globais consideram a superfície geográfica, sem admitir as particularidades locais. Nos modelos hidrológicos distribuídos a simulação resulta da integração das funções locais sobre toda a área geográfica da bacia. Esses modelos apresentaram uma evolução importante nos últimos anos, com o desenvolvimento de outras áreas do conhecimento, como: os sistemas de gestão de base de dados, os sistemas de informação geográfica, os modelos digitais de terreno e a aplicação de sensoriamento remoto (Rouet, 1991; Bonn & Rochon, 1992; Laurini & Milleret-Raffort, 1993). A esquematização espacial dos modelos hidrológicos distribuídos pode ser baseada em malhas regulares, malhas não regulares seqüenciais, planos na forma de V, toposseqüências e outras (Beven & Kirkby, 1979; Girard et al., 1981; Morel-Seytoux & Alhassoun, 1987; Fortin et al., 1990; Risson, 1995; Teixeira Filho, 1995). Nesses modelos encontra-se uma estrutura mais complexa e detalhada na esquematização espacial das bacias, o que se traduz por um conjunto de programas de computador mais elaborados. Essa estrutura permite considerar a variabilidade da geomorfologia, as características do solo e da vegetação das bacias, propiciando um melhor ajustamento da modelagem do ciclo hidrológico com outros sistemas do meio ambiente, especialmente o sistema integrado solo-planta-atmosfera (Band et al., 1993; Wigmosta et al., 1994).

Esse estudo desenvolverá um modelo hidrológico para uma parcela de cana-de-açúcar, o qual poderá ser utilizado para a simulação de bacias hidrográficas com cobertura vegetal predominante de cana-de-açúcar. A estrutura do modelo resultará da integração dos dados obtidos nas diversas escalas do dispositivo experimental, e principalmente das informações sobre o funcionamento do sistema solo-planta-atmosfera. Nesse sistema a cobertura vegetal participa do ciclo hidrológico a partir do controle da transferência hídrica na interface vegetação-atmosfera. Essa componente do ciclo hidrológico, que se denomina evapotranspiração, representa uma parcela decisiva no estabelecimento dos balanços hídricos (Stewart, 1984; Calder, 1977). Entretanto, a evaporação da água na interface vegetação-atmosfera permanece como um dos aspectos menos conhecidos do ciclo hidrológico. A perda de água por evaporação vegetal se produz através dos estômatos (Morison, 1987; Jones, 1992), os quais permitem a difusão do CO₂ para os tecidos foliares, assim como limitam a perda de vapor de água para a atmosfera. A regularização das trocas de vapor de água e de CO₂ representa a função central dos estômatos (Zimmermann, 1983). Os estômatos são controlados por mecanismos complexos que condicionam o fechamento ou a

abertura estomática em resposta aos fatores fisiológicos e ambientais (Sharkey & Ogawa, 1987; Schulze, 1994). Os principais fatores que controlam o fechamento e a abertura estomática são: radiação solar, déficit de pressão de saturação, temperatura, disponibilidades hídricas no solo (Farquhar & Wong, 1978; Jarvis & Morison, 1981; Farquhar & Cowan, 1987; Jones, 1992). Poucos estudos foram realizados relacionando os fatores fisiológicos e ambientais com os fluxos de água para a cultura de cana-de-açúcar em condições de campo. Santos Filho (1984) realizou um estudo em casa de vegetação com três variedades, com a finalidade de determinar as variações do estado hídrico do vegetal, correlacionando o comportamento estomático, o potencial hídrico na folha, o crescimento e a temperatura foliar. Machado (1981) desenvolveu um modelo matemático fisiológico simplificado para simular o acúmulo de matéria orgânica seca para a cultura de cana-de-açúcar.

Os estudos de transferência de fluxos de água podem ser efetuados em diferentes níveis de escalas, onde cada nível apresenta aspectos particulares. Esses estudos podem ser conduzidos em nível de folha, em nível de cobertura vegetal e em nível de bacia hidrográfica ou regional (Jarvis & McNaughton, 1986). A mudança de escala dos processos em nível da folha para a cobertura vegetal, com a intenção de estimar o fluxo de transpiração do sistema planta-atmosfera, apresenta duas componentes principais: (a) a componente biológica, que leva em conta a arquitetura da cobertura vegetal e as características fisiológicas de cada espécie; (b) a componente da dinâmica de fluxo, que considera os gradientes das grandezas físicas em vários níveis (Brutsaert, 1984). A modelização das trocas em nível da cobertura vegetal é geralmente realizada segundo a hipótese que considera a cobertura como uma única folha, como o modelo de Penman-Monteith (Jarvis & McNaughton, 1986). Esse tipo de modelo pode ou não levar em conta as trocas de água entre o solo e a vegetação, e freqüentemente é utilizado em estudos regionais para a avaliação da transpiração vegetal e da fotossíntese, com a colaboração do sensoriamento remoto (Choudhury & Idso, 1985; Choudhury, 1987). Teixeira Filho (1995) utilizou uma modelagem da transpiração vegetal baseada no modelo de Penman-Monteith e no modelo de Jarvis (1976) modificado. O modelo de Jarvis (1976), modificado por Stewart (1988), foi aplicado para simular a condutância da cobertura vegetal condicionada às variações climáticas e às disponibilidades de água no solo. Shuttleworth & Wallace (1985) e Choudhury & Monteith (1986) desenvolveram modelos integrados solo-planta, onde a transpiração e a evaporação do solo são tratadas simultaneamente. A integração dos fenômenos das trocas hídricas em nível foliar e em nível de cobertura vegetal pode ser realizada com a ajuda de um índice que permite estimar a superfície fotossinteticamente ativa. Esse índice pode ser expresso geralmente pelo índice de folhas, normalmente denominado LAI (leaf area index). O índice de folha (LAI) representa a relação entre a superfície fotossinteticamente ativa de todas as folhas e a sua superfície de projeção sobre o solo. O índice de folhas também é o parâmetro-chave para a espacialização das condições da cobertura vegetal em uma bacia hidrográfica ou região (Wigmosta et al., 1994). Esse índice pode ser estimado por teledetecção (Nemani & Running, 1989; Peterson et al., 1987; Wiegand & Richardson, 1990; Teixeira Filho et al., 1995) e possibilita a realização de cruzamentos das dimensões espaciais e temporais na dinâmica dos fenômenos de superfície, como a evolução da vegetação.

1.3.4 Conclusão

- as usinas de álcool não têm disponibilidade de informações ecofisiológicas suficientes da cultura de cana-de-açúcar para implementar manejos que podem minimizar os impactos negativos da cultura sobre os recursos hídricos;
- as novas tecnologias de simulação dos fluxos de água podem colaborar na definição de estratégias para minimizar os impactos negativos na disponibilidade de água em bacias hidrográficas;
- o objetivo de atender índices de sustentabilidade o setor sucroalcooleiro deve colocar esforços manutenção das disponibilidades de águas nas bacias hidrográficas;
- a alteração dos manejos agrícolas com o objetivo de conservação do solo e da água para minimizar a pressões futura sobre os recursos naturais;
- a definição de um zoneamento agro-ambiental para as regiões de produção agrícola é um instrumento fundamental para gestão ambiental;
- o zoneamento agro-ambiental deve balizar as estratégias de manejo agrícola para o setor sucroalcooleiro, sendo assim, um instrumento importante para controlar contaminação das águas superficiais/subterrâneas e dos solos por agrotóxicos;

1.4 Estudo das formas de redução do consumo de água nas fases agrícola e industrial⁷

1.4.1 Objetivo

Os objetivos específicos da presente seção são:

- Caracterização da demanda de água na fase agrícola
- Mapeamento do consumo de água nas diversas etapas do processo industrial;
- Estudar as possibilidades de reuso, levando-se em conta as características da água utilizada;
- Estudar a regulação existente sobre captação e disponibilização de água pelas usinas, levantando os valores praticados atualmente;
- Apresentar um estudo de caso do potencial de reuso e de redução da captação da água a partir da simulação de uma planta de produção de etanol e açúcar;

⁷ Gilberto De Martino Jannuzzi (NIPE/UNICAMP), Silvia Azucena Nebra (NIPE/UNICAMP), Mauro Francisco Chávez (NIPE/UNICAMP), Rodolfo Dourado Maia Gomes (NIPE/UNICAMP).

1.4.2 Introdução

A produção de etanol de cana-de-açúcar no Brasil tem evoluído nos últimos anos e as expectativas indicam forte tendência de sua expansão nos próximos anos. Isso se explica em parte pelo crescimento do mercado interno devido aos veículos flex, pela observação da volatilidade dos preços do petróleo e também pela necessidade de se estabelecer um mercado, agora internacional, para um combustível líquido renovável para o setor automotivo e pelo atendimento às metas do Protocolo de Quioto pelos países industrializados.

Além da cultura da cana-de-açúcar ser um potencial gerador de energia renovável, contribuindo para a substituição de combustíveis fósseis e desenvolvendo um cenário agroenergético promissor, essa atividade é reconhecidamente também uma grande transformadora das regiões onde atua. Uma expansão da produção de etanol na escala pretendida pelo Brasil durante as próximas décadas deverá ocasionar diversos tipos de impactos, sejam eles diretos ou indiretos. Seus efeitos cumulativos ao longo do tempo, incluindo maior povoamento, introdução de serviços de infra-estrutura, comércio e atividades industriais irão conjuntamente exercer pressão sobre recursos locais, entre eles os recursos hídricos. Estes efeitos devem ser considerados em uma avaliação de sustentabilidade uma vez que são decorrentes da principal atividade que se está delineando: a produção de etanol.

A produção de cana-de-açúcar no Brasil é principalmente irrigada pela chuva. Dessa maneira, há o menor uso da água para irrigação. Entretanto, o uso da irrigação está aumentando com a crescente demanda pela incorporação de novas áreas de cana no Centro-Sul do Brasil. Além da fase de produção agrícola, o processamento industrial é um grande demandante de recursos hídricos.

O uso de água no processo industrial de produção de etanol é um dos elementos-chave para atingir maiores índices de sustentabilidade no uso deste biocombustível em grande escala. No estado de São Paulo, a indústria sucroalcooleira seria responsável por aproximadamente 23% da demanda de água do setor industrial, encontrando-se valores de captação entre a faixa de 1,83 e 5,50 m³/t de cana moída (Macedo, 2005), mostrando uma grande variação nas práticas de gerenciamento. Apesar dos altos valores de água coletada, este setor apresenta grandes oportunidades de melhorias no gerenciamento do recurso.

O presente relatório foi largamente baseado em informações reunidas a partir das apresentações realizadas no seminário *Uso da água na Produção de Etanol de Cana-de-açúcar* e as seções seguintes tratam dos seguintes temas:

- A sustentabilidade e o uso de água
- Revisão da legislação pertinente ao uso de água.
- A Capacidade de Suporte, o Consórcio de Bacias e o Licenciamento de Novas Usinas no Estado de São Paulo
- Revisão de Literatura: O Re-Uso da Água
- Novas Tecnologias Mitigadoras no Uso de Água na Produção de Etanol: a Incorporação da Palha para Redução do Estresse Hídrico.

- Potencial de Redução de Consumo de Água numa Usina Sucoalcooleira

1.4.3 A sustentabilidade e o uso de água

De uma maneira geral a agricultura é responsável por grande parte da demanda de água doce no mundo, conforme pode ser observado da Tabela 13. Embora a demanda industrial não seja a principal, existe uma tendência recente de seu crescimento nos anos recentes e conseqüentemente maior preocupação em desenvolver sistemas que proporcionem uma redução do consumo de água.

Tabela 13: Distribuição do consumo de água no Brasil

Setor	Consumo de água (%)
Agropecuária	61
Urbano	21
Indústria	18

Fonte: Carmo (2008).

A busca pela sustentabilidade na produção de etanol passou a olhar de forma completa o processo produtivo desse biocombustível e o "uso da água" é uma das questões que deve ser melhor analisada, especialmente no direcionamento das chamadas tecnologias de segunda geração.

A metodologia mais adequada para se analisar e quantificar o uso de água para a produção de um produto como o etanol é a chamada "Análise de Ciclo de Vida" (ACV). Essa metodologia quantifica o fluxo de materiais e energia em todo o ciclo de produção até o destino final do produto. No caso do etanol isso inclui a parte agrícola (plantio, colheita, transporte, etc.), a parte industrial (lavagem, fermentação, destilação, etc.) e seu uso final em veículos. A parte agrícola e, em especial, a fase industrial são as mais relevantes para o caso de uso de água.

1.4.3.1 Sustentabilidade

Sustentabilidade é um conceito normativo, contendo valores, percepções e preferências que precedem uma análise técnica ou científica⁸. Muitas das soluções que usualmente são propostas através de estudos têm o propósito de serem tecnicamente e/ou economicamente viáveis dentro do horizonte previsto.

Os respectivos impactos ambientais podem ser apreciados dentro da perspectiva disciplinar do técnico, no entanto a demanda de água possui profundas implicações de desenvolvimento regional no médio e longo prazos e isso também deve se incluído para caracterizar melhor o conceito de sustentabilidade.

De certo modo a responsabilidade de um técnico é limitada no sentido que ele está sendo responsável pela legitimidade científica das soluções apontadas, mas não pela implementação das estratégias e seus impactos no âmbito sócio-ambiental.

⁸ A definição mais utilizada e citada é aquela mencionada no chamado relatório Brundtland (World Commission for Environment and Development WCED, 1987), que diz que uma sociedade pode ser considerada sustentável quando ela atende às necessidades da geração atual e ainda preserva ou mantém a possibilidade de gerações futuras satisfazerem as suas.

Cabe ao tomador de decisão ou o formulador de políticas públicas essa função e responsabilidade. O processo de decisão a esse nível requer informação qualificada e tempo para examinar as implicações e aceitação das decisões.

Portanto dentro do âmbito técnico, acompanhamos Leite (2008) observando a necessidade de um esforço para se definir indicadores para melhor analisar as questões relacionadas com a sustentabilidade do uso da água no sistema de produção de etanol da cana. Ele destaca dois tipos de indicadores para caracterizar sustentabilidade: *necessidade* de água para os processos e *limites* (disponibilidade) de água para o sistema de produção.

1.4.3.2 Necessidades de água

Com relação à necessidade de água para a produção de etanol, tem-se que durante a fase agrícola ela é mínima em grande parte do Brasil onde se pratica essa cultura. Praticamente toda a cana produzida no estado de São Paulo é cultivada sem irrigação e onde se utiliza o plantio com umidade natural. A irrigação começa a ser mais empregada em áreas de expansão onde há insuficiência ou má distribuição de chuvas. No estado de São Paulo onde se pratica o chamado plantio de ano e meio, ou plantio de ano, não se utiliza a irrigação. O chamado plantio de inverno, com ocorrência no período seco, requer a irrigação de salvamento como segurança, com recomendação de duas lâminas de 30 a 40 mm de água, sendo pouco utilizado na região Sudeste.

A irrigação é mais necessária na região Nordeste, onde se pratica a irrigação de salvamento após o plantio da cana, e quando for o caso aplica-se também a "irrigação suplementar" para atenuar os déficits hídricos. Na medida em que a cultura de cana também avança para o Centro-Oeste, maiores necessidades de irrigação são também previstas. O desenvolvimento de variedades de cana mais resistentes a períodos de seca irá contrabalançar o requisito de irrigação adicional (Bernardo,2007).

Já a necessidade de água para os processos industriais é bem mais significativa e existem variações entre as usinas dependendo do tipo de sistema empregado. Usinas que utilizam ciclo aberto (não reutilizam a água) possuem uma necessidade de 21 m³ de água/t de cana. Em uma usina típica operando em ciclo aberto e destinando 50% da cana para produção de açúcar e 50% para etanol tem-se a distribuição da água pelos usos finais conforme é mostrada na Ilustração 1.

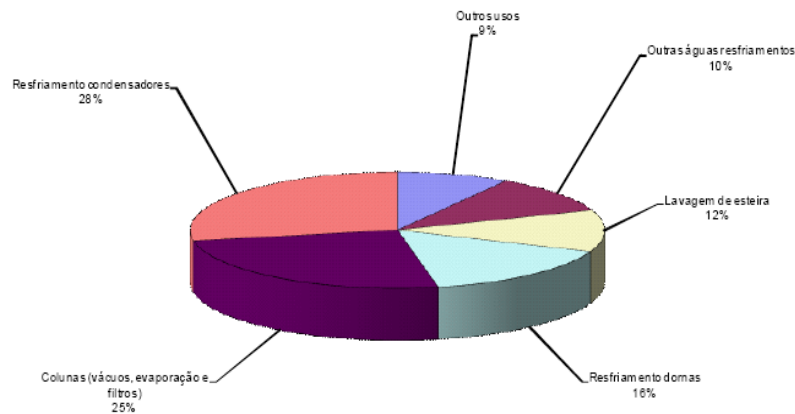


Ilustração 1: Usos finais de água na fase industrial de produção de etanol

Fonte: Leite (2008).

Três usos finais respondem por quase 80% do consumo industrial de água: resfriamento de condensadores (28%), produção de vácuo nas colunas barométricas (25%) e resfriamento de dornas (16%).

Leite (2008) apresenta a seguinte evolução verificada nos diferentes sistemas das usinas no que se refere ao consumo de água:

Águas de resfriamento de condensadores e dornas – Este circuito passou a ser utilizado em conjunto através do efeito cascata – utilizando a água nas dornas e posteriormente nos condensadores, de tal forma a termos uma redução de volume de água necessário em cerca de 16%. O circuito passou a ser fechado, sendo adotados sistemas de resfriamento evaporativo – torres de resfriamento, com necessidade de água apenas para reposição das perdas por evaporação e arraste – cerca de 2 a 3% da água em circulação.

Existem estudos em andamento, com intenção de utilizar água mais fria neste circuito – denominado “geladinho”, com ganhos em relação à redução do volume de água em circulação (há necessidade de intensificar os estudos).

Águas de lavagem de cana e esteira – A lavagem de cana passou em um primeiro momento a operar em circuito fechado através de caixas de decantação ou decantadores circulares, estando em desenvolvimento e implantação de sistemas de limpeza de cana a seco (experiência inicial mal conduzida – sistema ineficiente). A lavagem de cana somente é realizada se houver uma quantidade de matéria inorgânica muito elevada na cana. O sistema de limpeza de esteiras continua a ser utilizado, porém com volumes menores (o circuito foi reduzido de 10 m³/TC - mesa convencional, para 1 a 2m³/TC).

Água das colunas barométricas – Este circuito sofreu alterações, de tal forma a serem substituídos os multijatos por colunas barométricas, para produção de vácuo na fase de concentração do caldo, levando à redução de 30% da necessidade de água nesta operação. O fechamento do circuito é prática implantada há muitos anos, sendo utilizados sistemas de resfriamento evaporativo por aspersão (spray) ou torre de resfriamento. As pesquisas e novas tecnologias continuam em andamento, havendo estudos para a instalação de equipamentos denominados condensadores evaporativos, nos quais o vácuo nas caixas de evaporação é

produzido a partir de bomba de vácuo, sendo o vapor condensado em trocador de calor tubular montado no interior de uma torre de resfriamento, levando a uma redução, quase total, do uso de água bruta (captação).

Águas de resfriamento – Nesta categoria se enquadram as águas de resfriamento de mancais da moenda e turbogeradores. Circuito que, tradicionalmente, era aberto passa a ser fechado com torres de resfriamento, principalmente nos sistemas envolvendo cogeração.

Os demais usos referem-se a: águas de limpeza de equipamentos, abatimento de material particulado, águas para preparo de produtos, águas de embebição da moenda ou difusor, etc. Para estes usos a indústria pode utilizar águas condensadas dos evaporadores – a água da cana.

O processo de obtenção de açúcar consiste, basicamente, na concentração de uma solução de sacarose (caldo de cana), o que é feito através de evaporação da água em sistemas de múltiplo-efeito e nos tanques de cozimento (cristalizadores), resultando na obtenção da chamada massa cozida, onde temos os cristais de sacarose e mel residual, como também água condensada – água da cana. Quando se produz álcool a partir de caldo, a “água da cana” é incorporada na vinhaça.

Tem havido progresso na direção de redução de necessidades de água para os processos industriais. Em 2005 um valor médio de captação de água para usinas era de cerca de 1,83 m³/t. cana. Leite (2008) mostrou que houve uma redução entre as safras de 1990/91 e 2007/2008 de 26% de captação de água contra um aumento de 125% de tonelada de cana processada no Estado de São Paulo.

As discussões demonstraram as possibilidades de acelerar essa redução e o papel do Estado como regulador através de assinaturas de protocolos voluntários com a indústria sucroalcooleira como o Protocolo Etanol Verde e atendimento ao Plano Técnico de Conservação de Recursos Hídricos.

1.4.3.3 Limites ou disponibilidade de água

No Estado de São Paulo, dependendo do porte e/ou alterações das atividades das usinas, existe necessidade de instrumentos prévios de análise (inclusive EIA/RIMA) para submissão e aprovação do sistema ambiental do Estado.

A Resolução SMA - 88, de 19-12-2008, define as diretrizes técnicas para o licenciamento de empreendimentos do setor sucroalcooleiro no Estado de São Paulo e considera um Zoneamento Agroambiental para o setor sucroalcooleiro, classificando regiões no Estado de São Paulo onde é permitido o plantio da cana-de-açúcar e o tipo de Estudo Ambiental a apresentar. A figura 2 mostra o mapa de zoneamento agroambiental para o estado de São Paulo.

Com respeito ao uso da água, a Resolução SMA - 88, de 19-12-2008, define para áreas classificadas como *Adequadas* e *Adequadas com Limitações Ambientais* para o plantio de cana um limite máximo de captação de 1 m³ (um metro cúbico) de água por tonelada de cana moída para os novos empreendimentos; e uma apresentação de Plano de Minimização de consumo de água, com cronograma de adequação para atingir o limite máximo de 1 m³ (um metro cúbico) por tonelada de cana moída para ampliações de empreendimentos existentes. Nas áreas classificadas como *Adequadas com Restrições Ambientais*, o limite máximo para captação de água é de 0,7 m³ de água por tonelada de cana moída para novos

empreendimentos; e apresentação de Plano de Minimização de consumo de água, com cronograma de adequação para atingir consumo de 0,7 m³ por tonelada de cana moída para ampliações de empreendimentos existentes e também se exige a adoção da melhor tecnologia prática disponível visando à minimização da geração de vinhaça (Ilustração 2).

Finalmente, para áreas classificadas como *Inadequadas*, não serão mais aceitos pedidos de licenciamento ambiental, protocolados após a publicação da Resolução SMA - 67, de 18 de setembro de 2008, para instalação ou ampliação de empreendimentos existentes do setor sucroalcooleiro. E para a renovação da Licença de Operação dos empreendimentos do setor sucroalcooleiro regularmente existentes nestas áreas, será exigido plano de adequação às condicionantes estabelecidas para as áreas classificadas como *Adequadas com Restrições Ambientais*.

Prevê-se o lançamento do zoneamento ambiental para o cultivo de cana-de-açúcar a nível nacional similar ao que foi feito para o Estado de São Paulo, observando-se uma preocupação do governo federal por regular a minimização dos impactos ambientais negativos da atividade sucroalcooleira, com medidas de, por exemplo, adoção de melhores práticas de gerenciamento do consumo de água.

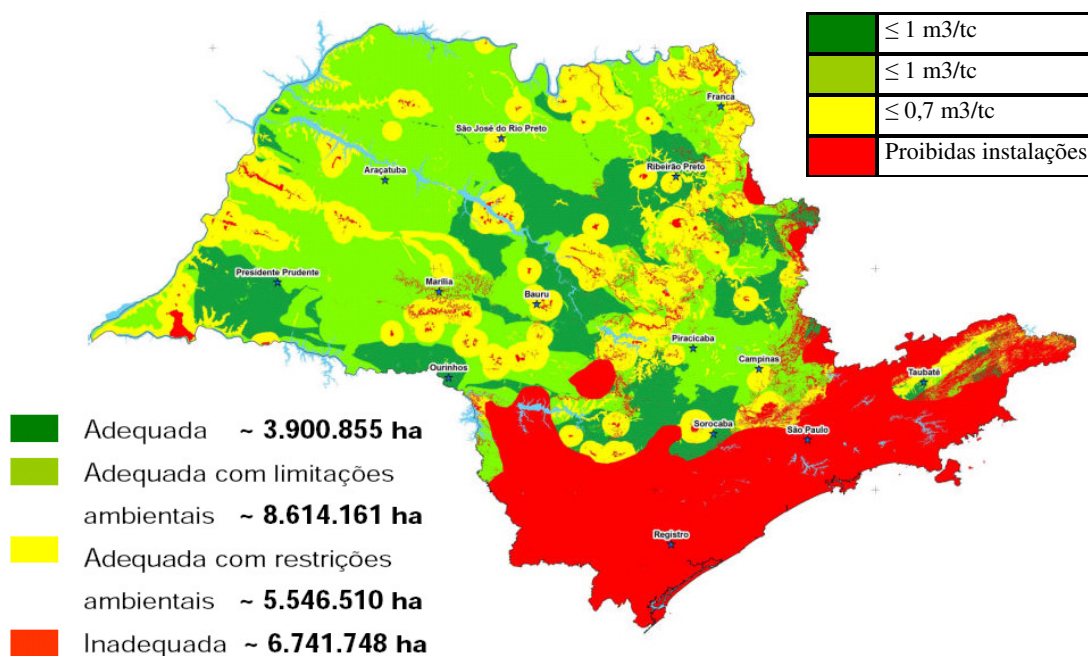


Ilustração 2: Zoneamento Agroambiental para o Setor Sucroalcooleiro do Estado de São Paulo

De acordo com o Zoneamento Agroambiental para o Setor Sucroalcooleiro, o Estado de São Paulo possui 3,9 milhões de ha de áreas adequadas, 8,9 milhões de ha de áreas adequadas com limitações ambientais, 5,5 milhões de ha de áreas adequadas com restrições ambientais e 6,7 milhões de ha de áreas inadequadas.

Existem quatro programas de monitoramento ambiental no estado com impactos diretos para as atividades do setor sucroalcooleiro: 1) Monitoramento da qualidade das águas superficiais e subterrâneas (contaminação por agrotóxicos); 2) monitoramento da fauna (verificação da manutenção de áreas de preservação e zonas de amortecimento); Emissões atmosféricas (queimadas) e qualidade do solo nas áreas agrícolas (fertilirrigação).

É parte integrante do trabalho de Zoneamento Agroambiental um diagnóstico da situação das bacias hidrográficas (águas superficiais) e das águas subterrâneas (Ilustração 3), bem como o seu monitoramento ao longo do tempo.

No entanto, quando questionada sobre o volume de água utilizado para irrigação da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, principalmente com o aumento por sua demanda nas áreas de expansão (oeste do Estado), a CETESB informou que esse levantamento não é feito atualmente e que há discussões internas ainda incipientes sobre a matéria.



Ilustração 3: Zoneamento Agroambiental: disponibilidade de águas superficiais e vulnerabilidade das águas subterrâneas

Segundo Carmo (2008), as usinas atuais são perdulárias no consumo de água, apresentando o seguinte balanço de água numa usina média no setor: para cada tonelada de cana entram inicialmente 700 litros de água na usina, são captados mais 1830 litros para processamento dessa tonelada e a água sai da usina em forma de perdas, calculadas em 1919 l/t de cana (por evaporação, no bagaço, nas purgas da lavagem de cana e outras), e nos produtos e subprodutos: açúcar (0,03 l/t), etanol (0,26 l/t), vinhaça (570 l/t), torta de filtro (40 l/t de cana). Conforme o mesmo autor, mesmo com tecnologias convencionais já disponíveis, o consumo de água pode ser significativamente reduzido.

1.4.3.4 Legislação de uso da água

De acordo com a Agência Nacional das Águas (ANA), a cobrança pelo uso da água é um instrumento de gestão de recursos hídricos que tem como um de seus objetivos estimular o uso racional da água e gerar recursos financeiros para a preservação e a recuperação das bacias. Este instrumento não pode ser confundido com um imposto, pois se trata de um preço público fixado a partir de um pacto entre os

usuários de água, sociedade civil e poder público no âmbito do comitê de bacia, com o apoio técnico da ANA.

A cobrança pelo uso da água se configura por vezes como o último instrumento de gestão dos recursos hídricos. Apesar disso, este tipo de cobrança já estava prevista no Código de Águas de 1934 e na Lei sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, de 1981. No Estado de São Paulo este instrumento de gestão aparece na Lei Estadual nº 7.663/91 e em inúmeras outras leis estaduais promulgadas, estabelecendo um reforço institucional e jurídico para sua aplicação (DAEE, 2007).

A Política Nacional de Recursos Hídricos criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos em 1997 com a Lei 9.433. Com ela, é feita a cobrança destes recursos com os objetivos de reconhecer a água como um bem econômico para dar ao usuário uma indicação de seu valor real, incentivar a racionalização do uso da água e obter recursos financeiros para o financiamento dos programas e intervenções contemplados nos planos de recursos hídricos. O valor cobrado leva em conta o volume retirado nas captações e o volume de lançamentos de efluentes. Os valores arrecadados são aplicados prioritariamente na bacia hidrográfica em que foram gerados. Em 2000, através da Lei 9.984, foi criada a Agência Nacional das Águas (ANA), entidade federal incumbida do controle e da gestão do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Cabe a ela implementar a política nacional destes recursos, conceder outorgas na esfera federal e organizar o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (Freitas, 2008).

Segundo o CRHi (Coordenadoria de Recursos Hídricos), são medidos três elementos para aferir o uso da água: a captação, que representa todo o volume de água bruta (antes do tratamento) retirado diretamente dos rios ou do subsolo, o volume devolvido e o lançamento de efluentes, que é o volume restituído aos rios associado à carga da poluição nele contida. A cobrança total é calculada através da soma do volume de água captado, do volume de água não devolvido e do tipo de poluente lançado nas águas.

O preço da água é definido pelos Comitês de Bacias Hidrográficas, de acordo com a necessidade de custeio dos planos e projetos aprovados para um período de quatro anos. Tais comitês são órgãos criados para gerenciar os recursos hídricos nas bacias hidrográficas. Fazem parte desses Comitês representantes do governo estadual, municípios e da sociedade civil (empresários, trabalhadores, universidades e ONGs dedicadas à proteção do meio ambiente). Também são levados em consideração a quantidade de água disponível, o número de consumidores pagadores e sua média de consumo. Isto é, cada comitê estabelece seu plano de ação e pode contar com os recursos recebidos através da cobrança pelo uso da água para financiá-lo. Desta forma, o preço cobrado pela água pode ser diferente em cada bacia hidrográfica (DAEE, 2007).

O uso industrial da água refere-se à retirada de água tanto superficial quanto subterrânea. Quanto ao uso superficial, faz-se necessário o cadastro de outorga emitido pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), estes deverão conter os dados das principais indústrias do Estado de São Paulo sobre volume captado e lançado aos corpos hídricos (Lopes, 2006).

1.4.3.5 Cobrança e Legislação no Estado de São Paulo

A cobrança pelo uso dos recursos hídricos de domínio do Estado de São Paulo foi regulamentada pelo governador Geraldo Alckmin no dia 30 de março de 2006,

através do decreto nº 50.667, publicado no Diário Oficial do Estado. Cabe aos comitês de bacias (no estado são 22) definirem, com base na lei de cobrança nº 12.183/05 e em seu decreto de regulamentação, quais serão os valores da cobrança pelo uso dos rios de domínio estadual (com nascente e foz dentro do estado) e das águas subterrâneas. O dispositivo funciona como um incentivo aos usuários, para que adotem tecnologias e hábitos que proporcionem uso mais eficiente e possam reduzir as perdas, além de estabelecer hábitos de consumo mais racional. Caso continuem com os mesmos padrões de uso terão de arcar com os custos decorrentes de suas ações (Lopes, 2006).

Nesse sentido, estimando uma captação de 5,6 m³/t de cana numa usina que mói 2 milhões de toneladas de cana por safra e considerando um custo de 0,01 R\$/m³ de água, os gastos que incorreriam por este conceito seria de aproximadamente R\$ 112.000,00.

1.4.3.6 Legislação referente ao descarte de efluentes

A CETESB (Companhia de Saneamento e Meio Ambiente do Estado de São Paulo) desenvolve ações de controle e fiscalização das fontes de poluição, incluindo o impedimento do lançamento de efluentes que possam comprometer a qualidade das águas de rios, lagos e represas, e também do mar, e que prejudiquem o uso para abastecimento, atividades industriais, recreação e outras finalidades (Lopes, 2006).

Segundo o CNRH (Conselho Nacional de Recursos Hídricos), em janeiro de 1934 o chefe do governo provisório do Brasil regulamentou, através do Decreto nº 23.777/34, o lançamento de resíduo industrial das usinas açucareiras (vinhaça) nas águas fluviais. Nele é decretada a obrigatoriedade do lançamento dos resíduos industriais das usinas açucareiras nos rios principais, longe das margens, em lugar fundo e com correntes suficientes para dispersar o produto rapidamente. Se isso não fosse possível, dever-se-ia tratar os efluentes previamente ao descarte em cursos d'água, lagoas ou em quaisquer águas paradas. É obrigatória a decantação dos resíduos e sua transformação em adubos. Em fevereiro 1967, no governo Jânio Quadros, a Lei nº 303 proibia a disposição de vinhaça *in natura* nos rios e lagos, buscando evitar a poluição das águas e do meio ambiente. Em 1976 o governo de São Paulo expediu a Lei Estadual 997 e o Decreto nº 8468 instituindo o Sistema de Prevenção e Controle da Poluição do Meio Ambiente. Em março de 1979, a Portaria nº 53 do MINTER proíbe a aplicação de resíduos *in natura* na agricultura, alimentação de animais e corpos d'água (Piacente, 2004).

1.4.4 Fase agrícola

Segundo Braunbeck (2008), a incorporação da palha para cobertura do solo como uma prática possui diversos benefícios sobre a conservação da água e do solo, quais sejam: retenção da umidade e redução das perdas de solo, de água e de matéria orgânica por erosão e incorporação gradativa de matéria orgânica. A quantidade de palha disponível na cana-de-açúcar permite uma cobertura do solo suficiente para evitar perdas significativas de água e de solo.

No entanto, preconiza-se, para atender a produção de cana-de-açúcar com critérios de sustentabilidade, uma mudança significativa das tecnologias e processos atualmente empregados. Essa mudança passa pela adoção do plantio direto, colheita da cana crua, utilização de estruturas de tráfego controlado, incorporação

da palha no campo, processos intrinsecamente ligados. E muito investimento e políticas públicas.

O plantio direto se apresenta como um caminho muito promissor para conseguir conservação da água e do solo na agricultura canavieira. As perdas de água no plantio convencional são de cerca de 140 mm/ano, ao passo que no plantio direto é de pouco mais de 40 mm/ano. As perdas de solo no plantio convencional e no direto são de cerca de, respectivamente, 23 t/ha.ano e pouco mais de 5 t/ha.ano.

O tráfego gerado pela mecanização canavieira atual impede a utilização do plantio direto pleno dado o elevado grau de pisoteamento das máquinas agrícolas sobre a área plantada, fora que intensifica o processo de erosão e consequente arraste de solo e água. Atualmente, 60% da área plantada são trafegados, ocorrendo compactação do solo. Utilizando-se uma Estrutura de Tráfego Controlado (ETC), o pisoteamento cai para 5-10% da área plantada. É importante mencionar que as ETCs são estruturas de grande porte direcionadas para os grandes produtores, tanto por escala de produção quanto pelos elevados custos de aquisição.

A colheita da cana crua é uma das pré-condições para a prática do plantio direto. No entanto, segundo Braunbeck, a não ser que aconteça uma grande alteração nos padrões tecnológicos, as metas do protocolo agro-ambiental de redução das queimadas não serão atendidas para declividades inferiores a 12% e muito menos para as acima delas. Um dos motivos é o desinteresse econômico dos fabricantes de veículos agrícolas de desenvolverem tecnologias como as ETCs, para as quais o mercado se restringiria a uma quantidade pouco expressiva.

O custo da palha resultante da colheita mecânica de cana integral ou da recuperação da palha com equipamentos de fenação, ou forrageiros, é pouco atrativo para a produção de energia elétrica.

A cobertura vegetal proporcionada pela incorporação da palha no campo incorpora matéria orgânica ao solo de forma gradativa e com isso melhora sua estrutura e sua capacidade de retenção de água. No entanto, o manejo da "cana na palha" apresenta desafios relacionados principalmente a pragas e brotação de soqueira que demandam aprendizado, melhoramento genético e desenvolvimento de insumos específicos.

- Desvantagens da cana crua:
- Retardo na brotação (função da variedade);
- Mudança no perfil de pragas e doenças;
- Maiores perdas na colheita;
- Redução da longevidade do canavial (eliminação de soqueiras e tráfego);
- Maior investimento em equipamentos;

1.4.5 Fase industrial

1.4.5.1 Revisão da Literatura: o reuso e a qualidade da água

Reuso da água

A tendência do reuso de água é algo que está se acentuando desde a década de oitenta com uma estratégia de redução da captação total de água. Esses esforços não só têm resultado em economias no tratamento da água bruta de captação, como também tem reduzido os custos de tratamento de efluentes (Bagajewicz, 2000).

No entanto, comparada com a literatura disponível relativa á integração térmica de processos industriais, o tópico de integração de águas e reuso tem sido estudado somente por poucos autores. Jensen & Schumann (2001) relatam ações tomadas pela usina de açúcar Maidstone com o objetivo de diminuir o impacto negativo causado pelos efluentes, fazendo o descarte dos "melhores" efluentes e reciclando os "piores" para o processo. Eles alcançaram o objetivo de efluente zero na sua produção, porém isto resultou em 0,13% de perdas de açúcares adicionais devido ao maior conteúdo de cinzas no processo de moagem.

Kessleringh (2002) estudou o caso de uma usina localizada em Ribeirão Preto, no Estado de São Paulo, com uma taxa de captação de 5,56 m³ de água/t de cana moída. A autora mapeou os pontos de coleta de água, os respectivos usos no processo industrial e os pontos de descartes de efluentes. Tomando as ações de reuso da água propostas pela autora, esta usina conseguiria atingir 0,64 m³ de água/t de cana-de-açúcar, porém não foram consideradas as perdas de água nos circuitos de resfriamento e nos condensadores barométricos, o que incrementaria esta taxa. Este estudo é uns dos poucos que caracterizou a qualidade da água em alguns circuitos da usina, discutindo também o seu gerenciamento industrial e os conceitos de *housekeeping*⁹.

Tenório e Callado (2007) estudaram uma usina sucroalcooleira localizada no Estado de Alagoas, que mói 1.700.000 toneladas de cana por ano e capta 400 m³ de água/h. Nesta usina os principais reusos são: a saída de água nos condensadores barométricos da etapa de evaporação, o uso da água saindo do condensador na destilaria para a lavagem de cana, os condensados de vapores vegetais para o processo de embebição nas moendas e para a reposição da água dos lavadores de gases da caldeira.

Rein (2007) possui um capítulo de seu livro dedicado aos sistemas de água e condensado de uma usina de açúcar e no qual também apresenta um balanço de utilização de água. O balanço total para essa usina de açúcar, desconsiderando-se a lavagem de cana, resulta num excesso de cerca de 20 a 30% da água entrando com a cana. Além disso, o autor discute o tópico de recuperação dos condensados e sua possível contaminação com açúcares e das diferentes tecnologias para o tratamento de efluentes.

⁹ Objetiva melhorar a organização e limpeza na indústria, reduzindo riscos de contaminação de produtos, melhorando o ambiente de trabalho, a disposição de resíduos, além de proporcionar benefícios com relação ao uso de materiais (redução de perdas e retrabalhos).

Elia Neto apud Macedo (2005), por sua parte, identifica os usos de água nas usinas sucroalcooleiras do Estado de São Paulo, fornecendo vazões médias reportadas no setor. Destacam-se a lavagem de cana (5,33 m³/t de cana), os condensadores multijatos/barométricos e cozedores (2 e 4 m³/t de cana, respectivamente), a água utilizada no resfriamento dos condensadores na destilaria (4 m³/t de cana) e resfriamento das dornas de fermentação (3m³/t de cana). De acordo com Elia Neto (apud Macedo, 2005), as usinas no Brasil têm um uso médio da água de 2 m³/t de cana, e nas destilarias de 15 m³/t de cana. O autor propõe uma meta de captação de água para o setor de 1 m³/t de cana, consumo de 1 m³/t de cana e efluente zero.

Ravagnani et al. (2007) fizeram um análise pinch, ferramenta que visa à integração térmica mediante a troca de calor entre correntes quentes e frias, propondo algumas modificações, os autores enunciam num novo circuito de água reduções de 12 m³ a 1 m³/t de cana. Através de maior integração térmica entre os processos, eles propõem o uso da vinhaça para esquentar a água vinda da Estação de Tratamento. Esta água é utilizada para a reposição de água na caldeira com o objetivo de evitar o uso de vapor de escape para este fim. Isto resultou em economias de aproximadamente 10% no uso de vapor de escape.

Piazza et al. (1999) mostram procedimentos de cálculo para o uso de água, classificação das correntes externas e internas¹⁰, a disponibilidade da água e os requerimentos para o processo. Além disso, algumas medidas de redução de consumo e incrementos de geração de condensados são apresentadas, como: incremento do número de sangrias na evaporação, instalação de pré-evaporador para o circuito da destilaria, instalação de trocadores de calor mistos caldo/água de condensado e uso deste último para embebição nas moendas, substituição da água na diluição dos polímeros por caldo clarificado, melaço e méis e colocar em série água de resfriamento das dornas e condensadores.

As medidas enunciadas por Leite (2008) no Workshop "*Uso da água na produção de etanol de cana-de-açúcar*" (vide item 1.4.3.2), também foram propostas por Kesslerlingh (2002), Tenório e Callado (2007), Elia Neto (apud Macedo, 2005) e Ravagnini et al.(2007). Nesse mesmo Workshop, Carmo (2008) focaliza novos desenvolvimentos tecnológicos empreendidos pela Dedini, com significativa redução das perdas de água por evaporação, assim como empregando a concentração da vinhaça, limpeza a seco e purga do vapor nos múltiplos efeitos. Essas reduções, de acordo com a empresa, permitem que somente a água que entra com a cana (~700 litros por tonelada de cana) seja necessária numa usina de açúcar e álcool, ou seja, zera-se a captação de água (usina auto-suficiente em água).

Qualidade da Água

A identificação da qualidade da água nos diversos pontos dentro da usina é necessária para adotar as estratégias de seu reuso e tratamento. Isso também evita comprometer equipamentos e processos que requerem qualidades de água mínimas.

¹⁰ Correntes externas: toda água captada em mananciais para complementar circuitos fechados ou utilização direta. Correntes internas: água contida na cana (águas condensadas na evaporação e todas as águas condensadas provenientes de sangria dos evaporadores).

Para o caso da qualidade da água, dois estudos são mencionados. Um deles é o estudo realizado pela COPERSUCAR (1985), baseado em dados de indústrias cooperadas, que identificou e caracterizou os efluentes gerados nas usinas sucroalcooleiras em termos de DBO e temperatura (Tabela 14).

Tabela 14: Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e temperatura de efluentes da indústria

Efluente	DBO (mg/l)	Temperatura (°C)
Águas de colunas barométricas (circuito fechado)	50 – 1000	40 – 45
Águas de lavagem de cana (circuito aberto)	120 – 300	25 – 35
Águas de lavagem de cana (circuito fechado)	2000 – 4000	
Águas condensadas ou amoniacais	100 – 500	70 – 80
Águas de lavagem de piso e equipamentos	800 – 1500	25 – 50
Águas de resfriamento de dornas e condensadores	-	35 – 45
Vinhaça	20.000	85 – 90

Fonte: COPERSUCAR (1985).

Porém, em outubro de 2009, a ANA, juntamente com o CTC, publicará o Manual da Conservação e Reuso da Água na Agroindústria Sucroenergética (atualmente no prelo), cujo editor é o Sr. André Elia Neto. Essa publicação apresentará também, além das melhores práticas no setor, caracterização atual e mais detalhada da qualidade da água em diversos processos de fabricação do açúcar e álcool.

1.4.5.2 Algumas soluções para a redução de consumo industrial de água

A Ilustração 4 apresenta o fluxo de captação e uso de água no processo convencional industrial de produção do etanol. Os pontos mais importantes são: a etapa de lavagem da cana-de-açúcar; as etapas de evaporação/condensação nos processos de produção de açúcar e etanol; a destilação (águas residuais, água aquecedora, lavagens de pisos e tanques e descartes); os lavadores de gases; o resfriamento de mancais e nas caldeiras.

TECNOLOGIA TRADICIONAL E PROCESSO DE PRODUÇÃO DE ETANOL E BAGAÇO EXCEDENTE

FLUXOGRAMA DE PRODUÇÃO – ETANOL E BAGAÇO EXCEDENTE

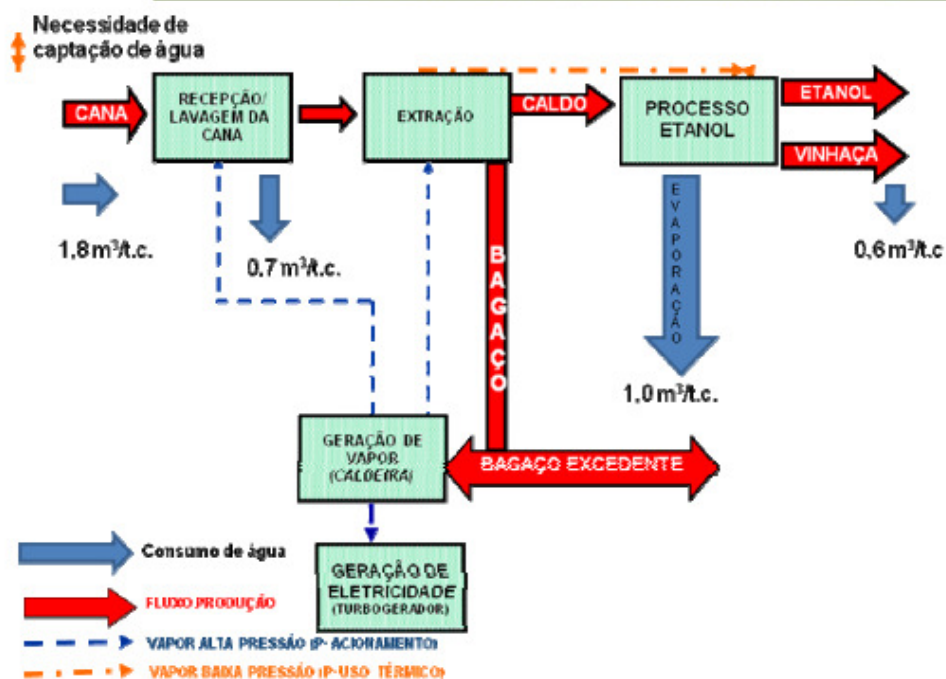


Ilustração 4: Requerimentos e consumo de água no processo industrial de produção do etanol

Fonte: Carmo (2008)

Apresentam-se algumas soluções para a redução de consumo industrial de água:

Substituir, por exemplo, o sistema de lavagem da cana-de-açúcar por sistema de limpeza a seco.

Pode-se otimizar a etapa de evaporação, utilizando sangrias de vapor no evaporador de múltiplos efeitos para aquecimento de outras correntes da planta, aproveitando os vapores condensados para "produção" de água.

Com relação à destilação e desidratação, o uso de novas tecnologias com a utilização de membranas reduz a necessidade de consumo de água.

Também no sentido de minimizar o consumo interno de água, a concentração da vinhaça integrada à destilação poderá contribuir sensivelmente para a redução da necessidade de água.

Já outra solução tecnológica desenvolvida pela Dedini, de produção de açúcar, álcool e biofertilizante organo-mineral, propõe-se exportadora de água. Ou seja, dos 700 litros de água que entram com a cana, utilizam-se 409 litros (consumo e água contida nos produtos). Os restantes 291 litros são "exportados" (Carmo, 2008).

Mesmo com tecnologias convencionais já disponíveis, o consumo de água pode ser significativamente reduzido. A captação (que não considera a água que entra com a cana) pode cair de 1,83 m³/TC para 1 m³/TC utilizando tecnologias disponíveis,

podendo chegar a 0,5 m³/TC, de acordo com Adriano Viana Ensinas (FEM/UNICAMP), panelista convidado do Workshop "Uso da água na produção de etanol de cana-de-açúcar".

De acordo com Carlos Eduardo Vaz Rossell, também presente no workshop, os avanços nos últimos anos na racionalização do uso da água (redução na captação de 5 para 1,8 m³/TC) foram relativamente fáceis, ou seja, não exigiram grandes investimentos. De agora em diante, os esforços e recursos serão muito maiores para uma redução menor.

Há tecnologias já disponíveis no mercado, como as apresentadas, que tornam as usinas auto-suficientes ou até exportadoras de água. No entanto, os custos são ainda proibitivos.

1.4.5.3 Modelagem: Potencial de Redução de Consumo de Água numa Usina Sucroalcooleira

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos a partir de uma simulação de um modelo de uma planta com práticas comuns encontradas na indústria sucroalcooleira. A simulação foi desenvolvida por Ensinas (2008) utilizando o software Engineering Equation Solver® (EES, 2007), baseados em dados coletados em usinas reais e na literatura.

Foi considerada uma primeira etapa comum para produção de açúcar e etanol, incluindo recepção de cana, lavagem, preparação e extração do caldo. O caldo cru extraído passa por uma etapa de tratamento para a produção de açúcar e etanol, sendo consumido nas etapas subseqüentes de acordo a sua destinação. A produção de açúcar é completada com a evaporação do caldo, cozimento, centrifugação e secagem. A produção de álcool hidratado, por sua vez, conta com uma etapa de preparação do caldo para a etapa de fermentação, além de destilação e retificação.

Para a distribuição dos açúcares presentes na cana, considerou-se que 50% foram utilizados na produção de açúcar e 50% para a produção de etanol, sendo estas contabilizadas com o melaço da produção de açúcar, além da quantidade de xarope e caldo tratado. As características gerais da planta modelada, como os parâmetros utilizados para a simulação, são descritos na Tabela 15.

Tabela 15: Parâmetros de Operação da usina sucroalcooleira modelada

Parâmetro	Valor
Capacidade de moagem ao ano (t cana/ano)	2.000.000
Taxa de moagem (t cana/h)	500
Horas de operação por safra (h/ano)	4000
Conteúdo de fibra da cana (%)	14,0
Pol da cana (%)	14,0
Produção de açúcar (kg/t cana)	65,0
Produção de álcool hidratado (l/t cana)	40,0

Usos da água na usina sucroalcooleira do modelo

Em relação ao uso da água no processo industrial, se procura comparar as demandas de água entre o uso da água na usina e a captação efetiva, sendo a primeira resultado da soma de todos os usos nos processos, como se todos os circuitos de água estivessem abertos, e o segundo resultado da captação efetiva para a reposição nos circuitos existentes.

O uso da água no processo industrial foi analisado considerando todas as necessidades de água. Para representar estas demandas, a usina foi simulada sem circuitos fechados e considerando uma taxa de consumo de água média encontrada na literatura e usinas reais. A Tabela 16 mostra as correntes de água e seus parâmetros.

Tabela 16: Usos da água na usina de açúcar e etanol modelo

Usos da água	m (kg/s)	T (°C)	P (bar)	m (kg/t cana)
Lavagem da Cana	416.7	25	1.01	3000
Embebição	41.7	50	6.00	300
Resfriamento de Mancais	6.9	25	1.01	50
Resfriamento de óleo de lubrificação	55.6	25	1.01	400
Resfriamento da Sulfatação	3.1	25	1.00	22
Calagem	3.2	107	6.00	23
Lavagem de torta de filtro	9.7	107	6.00	70
Lavagem das centrifugas	2.3	107	6.00	17
Diluição de méis pobres	0.3	107	6.00	2
Diluição de açúcar	1.2	107	6.00	9
Aos Cozedores	0.4	107	6.00	3
Condensadores			1.01	
Barométricos da Evaporação	360.3	30		2594
Vácuo dos Filtros	12.5	30	1.01	90
Resfriamento de caldo para fermentação	151.3	25	6.00	1089
Vácuo nos cozedores	337.6	30	1.01	2431
Diluição do fermento	17.0	25	6.00	122
Resfriamento de Dornas de Fermentação	242.7	25	6.00	1747
Condensador de Destilação	7.9	30	1.01	57
Condensador de Retificação	105.7	30	1.01	761
Resfriamento de Etanol Hidratado	7.0	30	1.01	50
Lavagem de gases da caldeira	169.8	25	1.01	1222
Reposição de água na caldeira	97.0	128	22.00	701
Limpezas gerais	6.9	-	1.01	50
Usos potáveis	4.2	25	1.01	30
Resfriamento de Turbogeradores	27.8	30	1.01	200
Resfriamento dos cozedores	4.2	30	1.01	30
			TOTAL	15071

O uso total de água de 15 m³/t de cana moída é menor do que o de 22 m³/t de cana reportado por Elia Neto (2009) para a mesma distribuição de produção da usina: 50% açúcar e 50% etanol. Isto se deve ao fato de que o modelo considerou para a lavagem da cana uma mesa de inclinação com um ângulo de 45°, que utiliza menos água (3 m³/t de cana, segundo Rein (2007)) quando comparado com o valor apresentado por Elia Neto (2008) (5,33 m³/t de cana). Outra diferença é que na simulação é considerado o uso de condensadores barométricos ao invés de condensadores multijatos.

Como pode ser observado na Ilustração 5, o vácuo nos cozedores e os condensadores barométricos de evaporação respondem por 33% da água utilizada na usina. Este consumo, agregado com a água para a lavagem da cana (20%) e para o resfriamento das dornas (12%), representa 65% do total. Desta análise, nota-se que a primeira ação para poupar água seria a de fechar estes circuitos. Somente com esta medida, sem considerar as perdas nos circuitos fechados (evaporação, fugas, etc.), é possível diminuir o consumo de 15,00 m³/t de cana para 5,25 m³/t de cana.

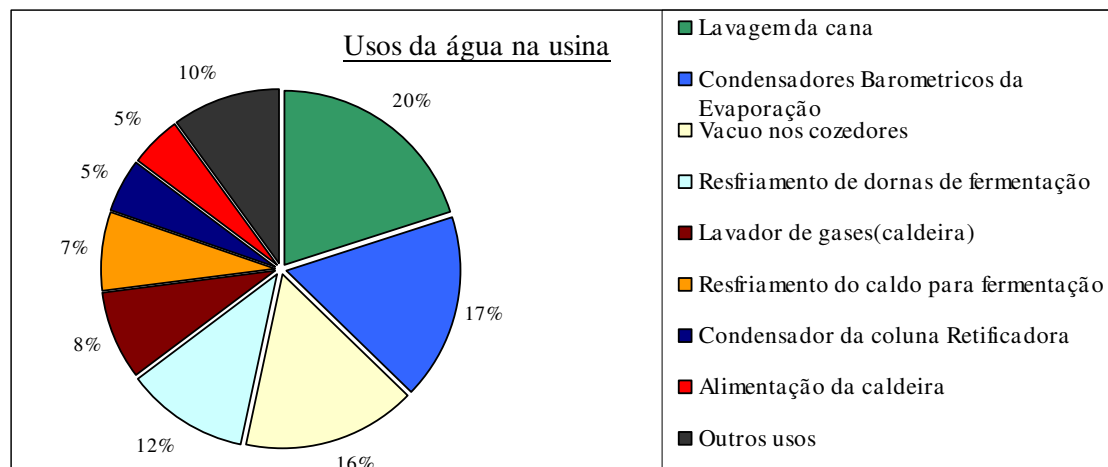


Ilustração 5: Usos da água na usina sucroalcooleira modelada

As fontes de água na usina foram identificadas e quantificadas. Estas correntes de água possuem o potencial, depois de tratadas (caso necessário de acordo a sua qualidade e destino), de serem re-utilizadas para suprir as demandas da usina. A Tabela 17 mostra estas "fontes de água", suas vazões, temperaturas e pressões.

Tabela 17: Corrente de água para reuso

Fontes de Água	m (kg/s)	T (°C)	P(bar)	m (kg/t cane)
Condensado de filtração	0.4	70	0.31	3
Condensado de Vapor de 1º Efeito (coletado na saída da calandra de 2º efeito)	7.9	115	1.69	57
Condensado de Sangria do Vapor de 1º efeito para esquentar no tratamento do caldo	20.2	115	1.69	145
Condensado de Sangria do Vapor de 1º Efeito a esquentar o Cozedor A	11.8	115	1.69	85
Condensado de Sangria de Vapor de 1º Efeito a esquentar o Cozedor B	2.2	115	1.69	16
Condensado de Vapor de 2º Efeito	8.5	107	1.31	61
Condensado de Vapor de 3º Efeito	9.1	98	0.93	65
Condensado de Vapor de 4º Efeito	9.7	83	0.54	70
Condensado de Vapor de 5º Efeito no Condensador Barométrico	10.5	50	1.01	75
Condensado de Vapor do Cozedor A	8.3	50	1.01	60
Condensado de Vapor do Cozedor B	1.5	50	1.01	11
Purga da Caldeira	4.9	25	1.01	35
Perdas da Lavagem de Cana	20.8	25	1.01	150
Perdas de água do Lavador de Gases	8.5	25	1.01	61
Vinhaça	61.5	76	6.00	570
Água de limpeza coletada (50%)	3.5	25	1.01	25
TOTAL				1489
Sem vinhaça nem perdas da lavagem de cana				769

A Tabela 17 mostra o valor total da água disponível e indica que a usina possui um potencial de reuso de aproximadamente 1,49 m³/t de cana moída. O leitor não deve confundir este valor com a água contida na cana, pois ele considera somente à água externa captada que é agregada em diferentes etapas do processo que podem ser reutilizadas. Sem considerar a água contida na vinhaça e as perdas de lavagem de cana, isto resultaria em 0,769 m³/t de cana. A menos que a água contida na vinhaça seja separada por evaporação ou por outros métodos, como osmose reversa utilizando membranas especiais (devido à alta carga orgânica e alta temperatura), um reuso direto desta água seria muito difícil devido à alta carga de sólidos dissolvidos, ao alto índice de Demanda Biológica de Oxigênio (DBO) e ao baixo pH. Tanto as perdas na lavagem de cana como a vinhaça são altamente poluentes e devem ser tratadas antes do reuso dentro da usina. Pela Ilustração 6, verifica-se também que os condensados são a principal fonte de água na usina e que os condensados da seção de evaporação representam 43% do potencial total de reuso.

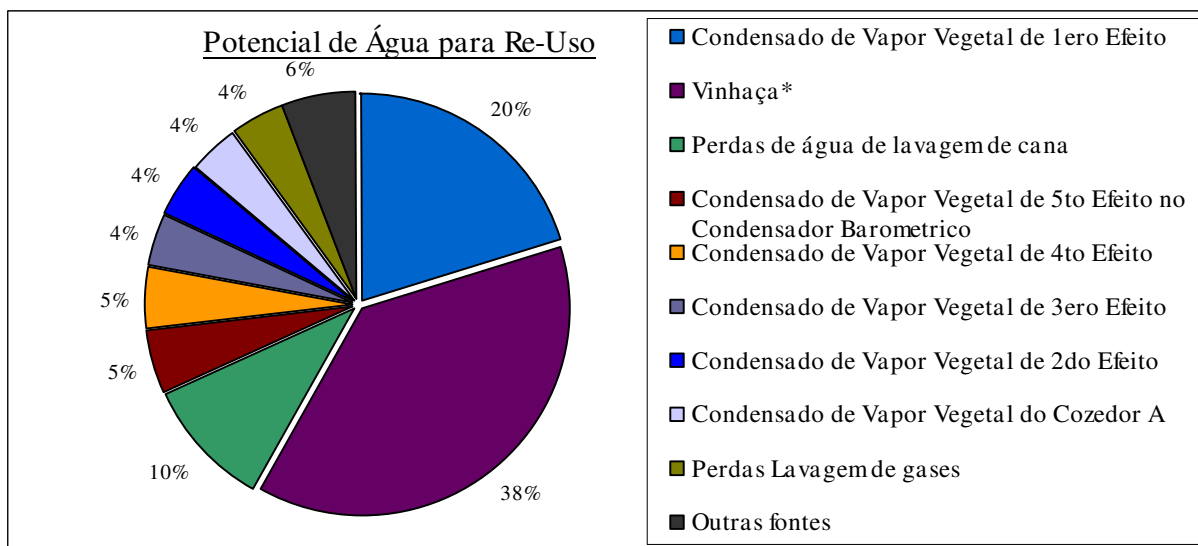


Ilustração 6: Potencial de correntes de água para Reuso

Fechamento de circuitos

Para ilustrar a captação efetiva de água para atender os processos, foi considerada uma usina onde existe tratamento e/ou recirculação em circuitos fechados. A Tabela 18 apresenta as perdas nestes circuitos.

Tabela 18: Perdas de Água em Circuitos Fechados. Baseados em Rein (2007)

Circuitos Fechados	Perdas de água (%)
Tratamento da água de Lavagem	5
Tratamento de água de resfriamento de mancais	3
Tratamento de água de resfriamento de óleo lubrificante	3
Tratamento de Água de Resfriamento de Sulfitação	3
Água para resfriar nas Lagoas de Resfriamento	4
Água nas Torres de Resfriamento	3
Tratamento da água de lavador de gases	5
Recirculação de água de alimentação da caldeira (purgas)	5

Para a simulação, foi considerado que a água proveniente das lagoas de resfriamento atende os sistemas de vácuo nos filtros, evaporadores e cozedores, condensadores nas colunas de destilação e retificação, e o resfriamento do etanol. Estas correntes de água foram assumidas retornando a 50,0°C e sendo resfriadas até 30,0°C, sendo depois utilizadas novamente. O resfriamento com torres é destinado para as etapas de resfriamento das dornas e do caldo para produção de etanol, para a etapa de sulfitação, dos turbogeradores, de mancais e do óleo de

lubrificação, considerando a temperatura de entrada a 30,0°C e de saída a 25,0°C (Ensinas, 2008).

A captação efetiva de água é composta pela reposição de água nos circuitos fechados e pela água requerida para atender as demandas de diluição do fermento, usos potáveis e limpezas gerais. Outros consumos de água no processo são atendidos pelos condensados, sendo eles:

- Água de embebição
- Preparo de leite de cal
- Lavagem da torta do filtro
- Diluição de méis e lavagem das centrífugas.

A Ilustração 7 mostra o diagrama de processo das correntes d'água a fim de ilustrar a planta simulada.

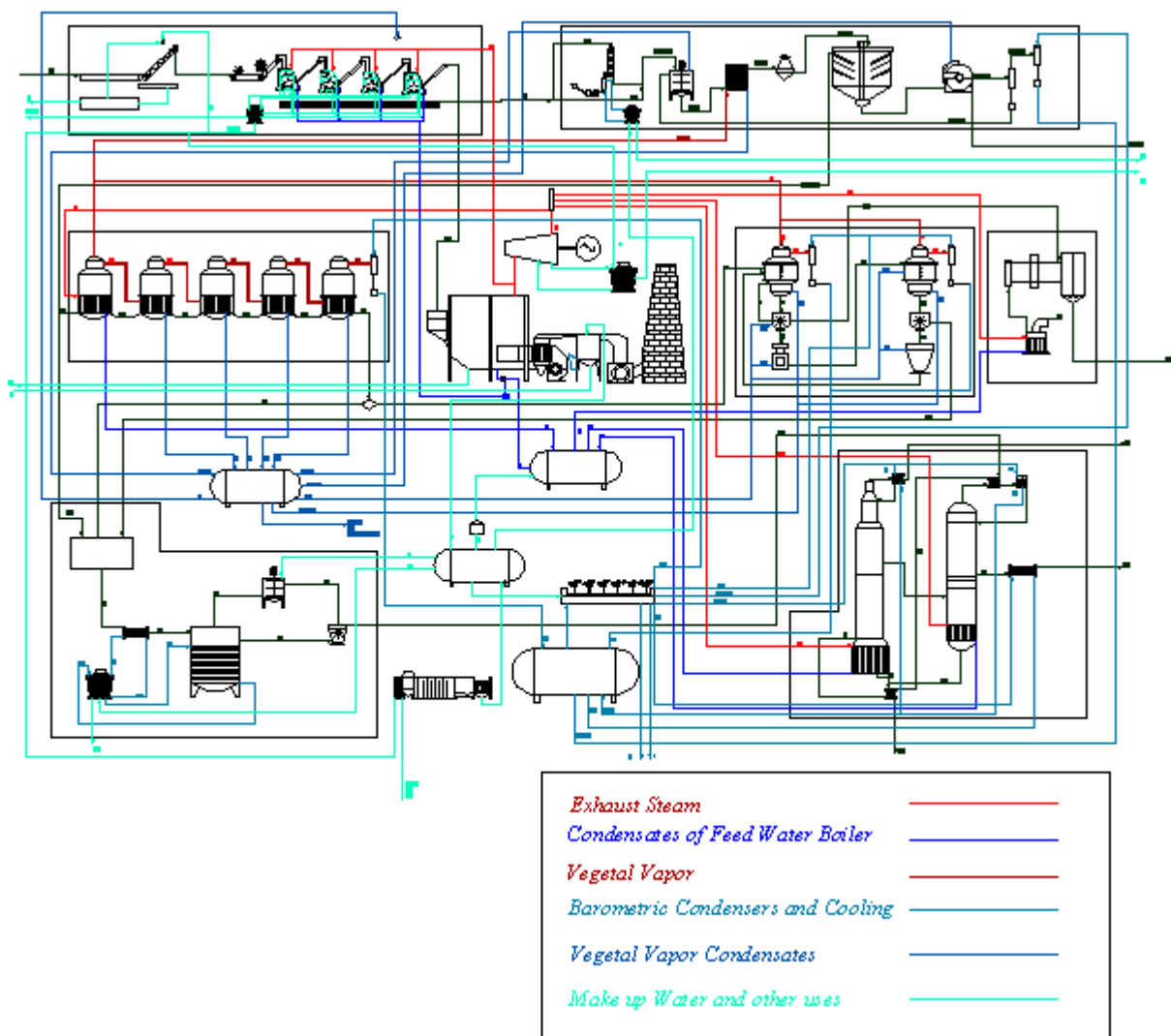


Ilustração 7: Diagrama de Processo da Usina Sucroalcooleira modelada (Chavez, 2009)

A Tabela 19 mostra a captação efetiva de água por processo. Estes valores representam a demanda de água em tempo real, sem considerar o conteúdo da água na cana refletida nas fontes de água. Em teoria, a ETA tem que suprir estas quantidades da água captadas em rios, lagos etc. Pode ser deduzido que se reutilizando as correntes das fontes de água na usina resultará numa menor capacidade de planta.

Tabela 19: Captação Efetiva de Água por Processo

Captação de água por processo	m (kg/s)	T (°C)	P (bar)	m (kg/t cana)
Reposição Lavagem da Cana	20,8	25,0	1,01	150
Imbibição	41,7	50,0	6,00	300
Reposição de Resfriamento de mancais	0,2	25,0	1,01	2
Reposição de Resfriamento de óleo lubrificante	1,7	25,0	1,01	12
Reposição de Resfriamento de Sulfitação	0,1	25,0	1,00	1
Preparo de leite de cal	3,2	107,4	6,00	23
Lavagem de torta de filtro	9,7	107,4	6,00	70
Lavagem das Centrifugas	2,3	107,4	6,00	17
Diluição de meis	0,3	107,4	6,00	2
Diluição de açúcar B	1,2	107,4	6,00	9
Para Cozedor B	0,4	107,4	6,00	3
Reposição para Condensadores Barométricos de Evaporação	14,8	30,0	1,00	107
Reposição para vácuo nos filtros	0,5	30,0	1,00	4
Reposição para resfriamento de caldo para etanol	4,5	25,0	6,00	33
Reposição dos circuitos de vácuo dos cozedores	13,9	30,0	1,00	100
Diluição de fermento	17,0	25,0	6,00	122
Reposição de resfriamento das dornas	7,3	25,0	6,00	52
Reposição do Condensador da coluna de Destilação	0,3	30,0	1,00	2
Reposição do Condensador da coluna de Retificação	4,2	30,0	1,00	30
Resfriamento de Alcool hidratado	0,3	30,0	1,00	2
Reposição de lavagem dos gases	8,5	25,0	1,00	61
Reposição de água de alimentação da caldeira	4,9	25,0	1,00	35
Limpezas Gerais	6,9	-	1,01	50
Usos potáveis	4,2	25,0	1,01	30
Reposição de resfriamento de turbogeradores	1,4	30,0	1,01	10
Reposição de resfriamento dos cozedores	0,2	30,0	1,01	2
			TOTAL	1228

Se subtraímos o valor de 0,769 m³/t de cana da água potencial para reuso, sem considerar a vinhaça nem as perdas de lavagem de cana (Tabela 17), dos 1,228 m³/t de cana, obtém-se a captação líquida efetiva de água de 0,459 m³/t de cana. Este valor considera que as correntes das "fontes de água" foram previamente tratadas para seu reuso.

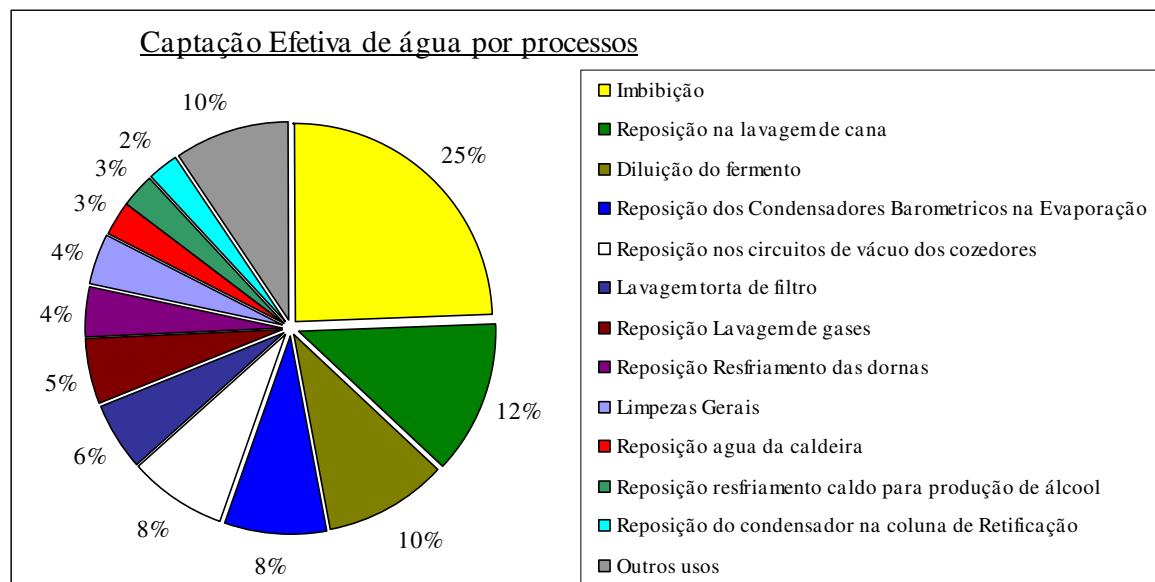


Ilustração 8: Captação Efetiva de água por processo na usina sucroalcooleira modelada.

Como pode ser observado na Ilustração 8, o principal consumidor de água na usina sucroalcooleira modelada é o processo de embebição. Porém, grande parte desta água seria recuperada dos condensados da evaporação. Perdas por evaporação pelo uso nos circuitos de condensadores barométricos e vácuo dos cozedores representam, juntas, 16%. Isto pode ser evitado se torres de resfriamento a seco forem utilizadas, mas isto, na prática, seria muito difícil de ocorrer já que elas são muito mais caras, requerendo maiores áreas que as torres úmidas.

Outro importante consumidor de água é o uso na diluição do fermento. Esta água termina no conteúdo de água na vinhaça. Se um sistema de limpeza a seco para a cana é utilizado, em vez de lavagem de cana, isto resultaria numa demanda efetiva de captação de 1,078 m³/t de cana, subtraindo os 0,769 m³/t de cana de água potencial para reuso, resultaria numa taxa de 0,309 m³/t de cana de captação externa, muito próximo do objetivo de captação zero.

Muitos autores como Vignes (1980), Birkett e Stein (2004) e Eijsberg (2006) reportam perdas de sacarose na operação de lavagem de cana. De acordo com Procknor (2002), os circuitos de lavagem de cana tendem ao fim a serem reduzidos a usos esporádicos durante dias chuvosos, como uma consequência da intensificação da colheita mecânica.

A exceção de uma mudança para limpeza a seco, nesta etapa, ações mais "fáceis" de tomar tem se mostrado para evitar perdas de água, como o fechamento de circuitos e reuso de correntes disponíveis de água, como os condensados. Além disso, correntes a altas temperaturas tem um conteúdo energético que pode ser recuperado como uma fonte de calor dentro do processo. Esta capacidade seria utilizada numa segunda etapa de medidas a serem tomadas para diminuir as perdas de água utilizando a integração térmica para reduzir as demandas de água.

Deve ser destacado que estes valores de captação efetiva líquida relatados neste capítulo são o resultado de um balanço de massa, considerando que a água para reuso passou por um tratamento prévio (se for necessário) para ser re-utilizada num processo específico. Nesse sentido, estudos devem ser feitos de maneira a caracterizar as diferentes correntes de água na usina.

1.4.6 Conclusões

1. Há cerca de 20 anos as usinas de álcool do Estado de São Paulo consumiam 5,6 mil l de água para cada tonelada de cana processada, hoje essa relação é de 1,8 mil litros para cada tonelada, ou seja, uma redução de 32%, mas ainda podemos e devemos fazer mais. As novas tecnologias, as chamadas tecnologias de segunda geração poderão demandar mais recursos hídricos caso não investiguemos novas rotas e novos processos de produção.
2. A efeito de atingir melhores índices de sustentabilidade, o setor sucroalcooleiro deve colocar esforços na diminuição do consumo de água.
3. Mudanças significativas em tecnologias e processos são necessárias para a conservação do solo e da água, recursos sobre os quais as pressões serão ainda maiores no futuro.
4. Tem havido significativas reduções no consumo de água para os processos industriais, e existem no Estado de São Paulo metas negociadas entre a indústria e a Secretaria do Meio Ambiente, além do zoneamento agro-ambiental que deve ser observado para instalação de novas unidades produtoras.
5. Novas tecnologias de aproveitamento de água nos processos industriais têm sido introduzidas como limpeza a seco da cana, sistema de membranas para os processos de destilação e desidratação, e que deverão progressivamente disseminar-se entre as unidades produtoras. Métodos que procuram também utilizar a própria água contida na cana estão sendo desenvolvidos, e espera-se que exista um excedente de água que possa ser utilizada posteriormente na própria área agrícola para irrigação ou outras finalidades.
6. A redução observada na captação de água para os processos industriais em São Paulo podem ser atribuídas a diversos fatores que ocorreram simultaneamente: curva de aprendizagem com operação e aumento de escala de produção, escassez de reservas de água, início de cobrança pelo uso da água, esforços regulatórios e monitoramento ambiental do Estado e processos de licenciamento ambiental de novos empreendimentos.
7. O zoneamento agro-ambiental realizado para o setor sucroalcooleiro é um instrumento importante para controlar contaminação de aquíferos, águas superficiais e solos por agrotóxicos. Além disso, estão mapeadas no estado a disponibilidade hídrica, níveis de contaminação atmosférica e unidades de conservação. Essas informações geográficas disciplinam, em particular, o planejamento da expansão e operação da indústria sucroalcooleira no estado.
8. Esse zoneamento classifica regiões no Estado de São Paulo onde é permitido o plantio da cana-de-açúcar, inclusive com parâmetros indicando os níveis permitidos de captação de água para os processos industriais que variam de

0,7 m³/t de cana a 1 m³/t de cana. O Estado de São Paulo possui 3,9 milhões de ha de áreas adequadas para as atividades sucroalcooleiras, 8,9 milhões de ha de áreas adequadas com limitações ambientais, 5,5 milhões de ha de áreas adequadas com restrições ambientais e 6,7 milhões de ha de áreas inadequadas.

9. O plantio direto se apresenta como um caminho muito promissor para conseguir conservação da água e do solo na agricultura canavieira. As perdas de água no plantio convencional são de cerca de 140 mm/ano, ao passo que no plantio direto é de pouco mais de 40 mm/ano. As perdas de solo no plantio convencional e no direto são de cerca de, respectivamente, 23 t/ha.ano e pouco mais de 5 t/ha.ano.
10. A modelagem da usina de açúcar - etanol permitiu a identificação dos diferentes usos de água e o potencial reuso no processo.
11. Valores de 0,46 m³/t de cana foram atingidos na usina modelada fechando-se circuitos e reutilizando-se as correntes de água como os condensados. Utilizando-se limpeza de cana a seco, este valor cairia para 0,31 m³/t de cana.

Pesquisas devem ser feitas na caracterização físico-química das correntes de água na usina de maneira a avaliar os tratamentos a serem feitos para poder serem reutilizadas.

1.5 Uso de fertilizantes na cultura da cana-de-açúcar¹¹

1.5.1 Avaliação das necessidades de nutrientes para a produção de cana-de-açúcar e quantidade e tipos de fertilizantes e corretivos efetivamente empregados na cultura

Com relação à necessidade de nutrientes e recomendações técnicas, há vasta literatura disponível que está sendo consultada. As possibilidades de aumento da eficiência de uso de nutrientes são analisadas. A análise crítica das possibilidades de melhoria ou alteração das recomendações para áreas de expansão da cultura também são contempladas. O levantamento complementar sobre o uso de fertilizantes está sendo feito junto a empresas agrícolas e entidades de classe de fornecedores de insumos.

Nutrientes minerais são um dos fatores de produção mais importantes da cana-de-açúcar. Note-se que a adubação é feita para suprir as necessidades da planta, que, no caso presente, serve tanto para a produção de açúcar como para a produção de etanol além de outros usos futuros. Portanto, toda a discussão seguinte será focada em fertilizantes usados para a cana-de-açúcar.

Convém ressaltar como os nutrientes se enquadram no esquema de captação de energia solar pela planta e a conversão em bioenergia.

A maior parte da energia consumida pelo homem tem origem na energia solar, inclusive a acumulada nos chamados combustíveis fósseis. A transformação de

¹¹ Pesquisadores responsáveis: Raffaella Rosseto e Heitor Cantarella (APTA - Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios).

energia solar em bioenergia é bastante clara na produção do etanol, com a planta transformando compostos orgânicos simples em outros muito mais complexos, essenciais para a sobrevivência da vida animal, inclusive do homem. A cana-de-açúcar, usando apenas nutrientes minerais, gás carbônico e água, sintetiza os compostos orgânicos, componentes essenciais dos organismos vivos, armazenando a energia como sacarose, que é objeto de interesse deste trabalho.

Os nutrientes minerais representam em torno de 5% em peso da matéria seca das plantas. O resto é constituído de carbono, oxigênio e hidrogênio, que são também nutrientes das plantas, mas não nutrientes minerais, sendo obtidos, pela planta, do gás carbônico e da água.

Os nutrientes minerais e respectivos símbolos são apresentados na tabela abaixo:

Tabela 20: Nutrientes minerais e respectivos símbolos

MACRONUTRIENTES	
PRIMÁRIOS	SECUNDÁRIOS
Nitrogênio - N	Enxofre - S
Fósforo - P (P ₂ O ₅)	Cálcio - Ca
Potássio - K (K ₂ O)	Magnésio - Mg
MICRONUTRIENTES	
Boro -	Manganês - Mn
Cloro - Cl	Molibdênio - Mo
Cobre - Cu	Zinco - Zn
Ferro - Fe	Níquel - Ni
ELEMENTO ÚTIL	
Silício - Si	

Os nutrientes primários são de longe os mais importantes, pelas grandes quantidades exigidas pelas plantas e por representarem importante parcela do custo de produção. Eles são essenciais para manter ou aumentar a produtividade das culturas. Embora se fale muito em "NPK", ou adubação NPK, o fósforo é representado por P₂O₅ e o potássio por K₂O.

Os nutrientes secundários, embora também utilizados em quantidades elevadas, tem uma particularidade, que justifica a designação: eles não têm valor comercial. Isso é fácil de explicar. Cálcio e magnésio são carregados para o solo como corretivos da acidez, ou calcário e, portanto, o que se compra é o corretivo da acidez e não os nutrientes Ca e Mg. Da mesma forma, o enxofre é fornecido às culturas através de fertilizantes que suprem qualquer um dos macronutrientes primários, N, P ou K.

Os micronutrientes, utilizados em proporções menores pelas plantas, adquirem importância crescente para o aumento da produtividade da cana-de-açúcar.

O consumo de fertilizantes é mais bem entendido fazendo-se a discussão pelos três macronutrientes primários, nitrogênio, fósforo e potássio. Uma tonelada de colmos de cana-de-açúcar contém, em um cálculo médio aproximado, da ordem de 0,9 kg de N, 0,5 kg de P₂O₅ e 1,3 kg de K₂O (Boletim 100). Portanto, como essa é a parte extraída pela planta e retirada do campo, é um valor mínimo de referência. Não estão incluídas aqui folhas que são queimadas ou ficam no campo, parte inferior dos colmos que não é colhida e as raízes.

Considerando que, segundo estatísticas reproduzidas pela ANDA (ANDA, 2009), a área cultivada com cana foi de cerca de 5,5 milhões de hectares e a produção média de cana em torno de 80 t/ha de colmos, é possível tirar algumas inferências sobre quantidades de nutrientes envolvidos na produção de cana.

Por área, para 80 t/ha de colmos, a extração estimada é, por hectare, de 72 kg de N, 40 kg de P₂O₅ e 104 kg de K₂O. Uma comparação de números é apresentada na Tabela 21. As quantidades aplicadas estão muito próximas das quantidades extraídas, o que significa uma adubação praticada baixa, se forem consideradas perdas de nutrientes e as quantidades contidas nas partes das plantas não removidas pela colheita. Pode-se inferir que quantidades muito maiores de nutrientes serão necessárias para aumentar a produtividade da cana-de-açúcar.

Tabela 21: Nutrientes extraídos pela cana-de-açúcar, aplicados no Brasil (Fonte: livro da cana, p. 222) e faixa de recomendações pelo Boletim 100

Nutriente	Extração	Cana planta		Cana soca	
		Aplicação	Recomendação	Aplicação	Recomendação
	kg/ha				
N	72	42	30	81	60-120
P ₂ O ₅	40	123	40-140	34	30
K ₂ O	104	109	0-200	114	30-150
Total	216	274	70-370	229	120-300

Com o objetivo de situar a cana no contexto nacional, a seguir será feita uma análise da produção agrovegetal brasileira, com informações sobre produção, área cultivada e produtividade.

Na

Tabela 22 é mostrada a evolução da produção agrovegetal no Brasil. Os resultados são apresentados em médias anuais por triênios. São apresentados, como produtos de exportação, cana-de-açúcar, soja e outros e como produtos de consumo interno, milho e outros.

Tabela 22: Produção agrovegetal do Brasil, médias anuais de triênios

Produtos	Triênio 00/01 - 02/03		Triênio 03/04 - 05/06		Triênio 06/07 - 08/09	
	Produção 1000 t	Índice	Produção 1000 t	Índice	Produção 1000 t	Índice
Produtos de exportação						
Cana-de-açúcar	55.234	100	64.770	117	93.177	169
Soja	43.975	100	51.066	116	58.457	133
Outros	7.964	100	9.163	115	9.322	117
Soma	107.174	100	125.000	117	161.228	150
Produtos de consumo interno						
Milho	42.072	100	39.854	95	54.047	128
Outros	20.179	100	25.991	129	24.417	121
Soma	62.251	100	65.846	109	78.510	126
Total produção agro-vegetal	169.425	100	190.845	113	239.738	112

A cana-de-açúcar é representada em peso seco, obtido multiplicando a quantidade de cana por 0,15 (ANDA, 2009). Usando esses fatores também para outros produtos que contém muita água, são construídas, pela ANDA (2009), as tabelas de produção agro-vegetal, principal fonte dos resultados reproduzidos nesta e em outras tabelas. Por este critério, a cana-de-açúcar apresentou valores crescentes de participação, com 32,6, 33,9 e 38,9% da produção agro-vegetal brasileira, respectivamente para os três triênios indicados na Tabela 25.

Compare-se com as evoluções das participações de soja (26,0, 26,8 e 24,4%) e do milho (24,8, 20,9 e 22,5%), que até diminuíram no período. No último triênio, essas três culturas foram responsáveis por 85,8% da produção agro-vegetal brasileira. Fora essas três culturas, as culturas de exportação representaram, nos três triênios, 4,7, 4,8 e 3,9% da produção agro-vegetal; as de consumo interno, 11,9, 13,6 e 10,2. Esses resultados mostram que a cana-de-açúcar vem ocupando espaço relativo na produção agro-vegetal brasileira em detrimento de todas as outras culturas, que tiveram a participação reduzida no período considerado.

Na Tabela 23, são apresentados resultados similares para a área cultivada. A cana-de-açúcar ocupou, respectivamente, para os três triênios, 10,4, 10,1 e 12,3% da área cultivada. Para as demais culturas o panorama foi o seguinte: soja - 32,9, 38,2 e 36,5%; milho - 24,9, 21,0 e 23,3%; outros produtos de exportação - 10,5, 9,8 e

9,7%; outros produtos de consumo interno – 21,4; 20,8 e 18,5%. A tendência observada é a mesma verificada para a produção agro-industrial, ou seja, a cana-de-açúcar teve um aumento relativo de área cultivada, enquanto os outros produtos passaram a ocupar área relativa menor. A soja teve um aumento de área considerável de área do primeiro para o segundo triênio, mas depois diminuiu, embora sustentasse aumento de 31% de área cultivada no período todo. Já a cana aumentou menos do primeiro para o segundo triênio, e muito mais do segundo para o terceiro.

Tabela 23: Área cultivada para produção agro-vegetal no Brasil, médias anuais de triênios.

Produtos	Triênio 00/01 – 02/03		Triênio 03/04 – 05/06		Triênio 06/07 – 08/09	
	Área, 1.000 ha	Índice	Área, 1.000 ha	Índice	Área, 1.000 ha	Índice
Produtos de exportação						
Cana-de-açúcar	5.143	100	5.861	114	7.148	136
Soja	16.288	100	22.178	136	21.295	131
Outros	5.181	100	5.672	109	5.672	106
Soma	26.612	100	33.711	127	33.934	128
Produtos de consumo interno						
Milho	12.349	100	12.191	99	13.588	110
Outros	10.586	100	12.090	114	10.787	102
Soma	22.935	100	24.281	106	24375	106
Total produção Agrovegetal	49.544	100	57.992	117	58.309	118

Na

Tabela 24 são dadas informações sobre a produtividade. No período total considerado, para os chamados produtos de exportação, houve um aumento de produtividade de 10% para a cana, de 3% para a soja e não houve mudança na produtividade para outros produtos. O milho teve 13% de aumento de produtividade e outros produtos de consumo interno de 36%. Tirando este último caso, o aumento de produtividade é baixo.

Tabela 24: Produtividade média agrovegetal do Brasil, médias anuais de triênios.

Produtos	Triênio 00/01 – 02/03		Triênio 03/04 – 05/06		Triênio 06/07 – 08/09	
	Produtividade , kg/ha	Índice	Produtividade , kg/ha	Índice	Produtividade , kg/ha	Índice
Produtos de exportação						
Cana-de-açúcar	10.731	100	11.049	103	11.780	110
Soja	2,696	100	2.303	85	2.769	103
Outros	1.718	100	1.550	90	1.719	100
Média	4.027	100	3.709	92	4.677	116
Produtos de consumo interno						
Milho	3.396	100	3.263	96	3.834	113
Outros	1.907	113	2.150	113	2.590	136
Média	2.712	100	2.711	100	3.154	116
Média agrovegetal	3.418	100	3.292	96	4.039	118

Essa informação é importante para a construção de cenários futuros sob o papel da cana-de-açúcar na agricultura brasileira.

Na Tabela 25 são dados resultados referentes à entrega de fertilizantes por cultura. A cana consumiu, em média para os três anos, 13,9% dos fertilizantes, estando em terceiro lugar distanciado de milho e soja.

Tabela 25: Estimativa de entregas de fertilizantes por cultura no Brasil

Culturas	Área plantada (1.000 ha)			Total de entregas (1.000 t)		
	2006	2007	2008	2006	2007	2008
Soja	20.647	21.313	21.492	7.103	8.344	7.459
Milho	12.752	14.271	14.485	3.652	4.761	4.400
Cana-de-açúcar	7.178	7.894	9.412	3.131	3.392	2.931
Café	2.495	2.454	2.422	1.585	1.564	1.295
Algodão	1.112	1.080	897	1.044	1.215	877
Outras	21.877	23.496	24.339	3.920	5.333	5.467
Total	66.481	70.508	73.107	20.982	24.609	22.429

Fonte: LSPA – IBGE/CEPAGRO e ANDA

A Tabela 26 informa que o custo médio dos fertilizantes utilizados equivale a 14% da receita realizada, com variações conjunturais, a mais recente sendo o aumento abrupto do custo de fertilizantes em 2008.

Tabela 26: Receita da produção agrícola e custo de adubação – Região Centro-Sul (Em US\$/ha)

Culturas		2.002	2.003	2.004	2.005	2.006	2.007	2.008	Média
Algodão	Receita	908	1.363	1.603	1.525	1.620	1.863	2.160	1.577
	Adubação	99	117	153	231	231	317	556	244
	Partic. %	11	9	10	15	15	17	26	15
Café	Receita	806	1.076	1.447	2.211	2.219	2.534	2.808	1.872
	Adubação	139	129	206	236	232	307	497	249
	Partic. %	17	12	14	11	10	12	18	13
Cana	Receita	741	787	780	1.041	1.442	1.518	1.410	1.103
	Adubação	80	94	137	137	137	180	307	153
	Partic. %	11	12	18	13	10	12	22	14
Milho	Receita	371	431	434	712	724	1.040	1.331	720
	Adubação	87	104	137	200	199	276	475	212
	Partic. %	24	24	32	28	28	27	36	29
Soja	Receita	425	507	568	501	487	663	1.000	593
	Adubação	39	47	59	93	94	130	250	102
	Partic. %	9	9	10	19	19	20	25	17

Fonte: ANDA

1.6 Suprimento de fertilizantes, corretivos e matérias-primas¹²

Os nutrientes de plantas respondem por 3 a 5% da matéria seca dos vegetais. Os nutrientes são essenciais e insubstituíveis, pois não há sucedâneos para eles. As necessidades da cultura de cana-de-açúcar serão examinadas juntamente com as perspectivas de suprimento de nutrientes e corretivos de origem nacional e importada. Além das fontes tradicionais, outras opções alternativas serão contempladas.

1.6.1 Análise da dependência de importação e da evolução do mercado internacional de fertilizantes

Uma preocupação para cana-de-açúcar é a garantia de suprimento de fertilizantes. Na realidade, essa é uma preocupação da agricultura de uma forma geral. Os resultados da Tabela 27 dão um balanço de fertilizantes no Brasil, nos três últimos anos. No geral, o País importa cerca de dois terços das quantidades necessária. Como atualmente há grande capilaridade no comércio exterior de fertilizantes, com suprimentos em regiões diversas, essa situação não parece ameaçar a produção de biocombustíveis.

A limitação para o aumento da produção de fertilizantes no Brasil, em grandes linhas, está relacionada com a disponibilidade de matérias primas.

Os adubos nitrogenados dependem de um processo de retirada do nitrogênio do ar, transformando-o em amônio, que é a matéria prima intermediária para a fabricação de diversos fertilizantes nitrogenados, principalmente uréia. A matéria prima para o processo é o gás natural, cuja disponibilidade deve aumentar no Brasil com o tempo. Para fósforo e potássio, as dificuldades são maiores.

¹² Pesquisadores responsáveis: Raffaella Rosseto e Heitor Cantarella (APTA - Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios).

Tabela 27: Balanço de fertilizantes no Brasil, em 1.000 toneladas de nutrientes

Itens	N		P2O5		K2O		Total	
	2007	2008	2007	2008	2007	2008	2007	2008
1) Estoque inicial	216	436	321	791	384	545	921	1.772
2) Produção	757	686	2.107	1.970	389	352	3.253	3.008
3) Importação	2.322	1.899	2.208	1.704	4.068	4.014	8.598	7.717
4) Disponibilidade (1+2+3)	3.295	3.021	4.636	4.465	4.841	4.011	12.772	12.397
5) Exportação	(41)	(21)	(138)	(83)	(75)	(46)	(254)	(150)
6) Entregas	2.751	2.502	3.659	3.196	4.175	3.689	10.585	9.387
7) Quebras/Ajustes	(67)	(36)	(48)	(38)	(46)	(42)	(161)	(116)
8) Estoque final (4+5+6+7)	436	462	791	1.248	545	1.134	1.772	2.744

Fonte: ANDA

O Brasil tem jazidas de fosfatos de difícil aproveitamento, mas que tem-se tornado viáveis graças a tecnologia desenvolvida no país. A produção nacional de fosfatos solubilizados produzidos com fosfatos nacionais está em Minas Gerais, São Paulo e Goiás. Há perspectiva de localização de novas jazidas de fosfatos, mas nada de grande monta. O país depende, assim, de importação de fosfatos do norte da África e outras regiões (ver estatísticas).

No caso do potássio há uma exploração em Sergipe. Há notícias de grande jazida de fosfato na Amazônia, mas ela é profunda e situa-se sob a floresta, em região de difícil acesso (ver isso melhor, com números).

Em escala mundial, a posição do Brasil no consumo de fertilizantes é mostrada na Tabela 28.

Os grandes consumidores mundiais e quantidades utilizadas, em ordens de grandeza, são: China – com 50 milhões de toneladas a de nutrientes; Índia e Estados Unidos, com cerca de 20 milhões cada; e Brasil, com cerca de 10 milhões cada. Esses quatro países consumiram, em 2008, 62,1% do total de fertilizantes negociados no Mundo, o Brasil participa com 5,7%.

Ressalte-se a proporção de consumo de NPK, com a relação 1,00-0,37-0,26 para o Mundo e 1,00-1,28-1,47 para o Brasil, o que destoa de todos os outros 10 maiores produtores mundiais.

Tabela 28: Consumo mundial de fertilizantes pelos países maiores consumidores

País	Ano	1.000 t de nutrientes			
		N	P2O5	K2O	NPK
China	2006	30.200	11.600	5.800	47.600
	2007	32.000	12.000	6.200	50.200
	2008	33.200	11.000	5.000	49.200
Índia	2006	13.773	5.543	2.335	21.651
	2007	14.633	5.726	2.657	23.016
	2008	15.000	6.080	2.805	23.885
Estados Unidos	2006	11.970	4.148	4.657	20.776
	2007	11.610	4.080	4.540	20.230
	2008	11.700	4.350	4.350	20.000
Brasil	2006	2.297	3.149	3.480	8.906
	2007	2.751	3.659	4.175	10.585
	2008	2.502	3.196	3.689	9.387
Indonésia	2006	2.350	480	800	3.630
	2007	2.596	510	850	3.956
	2008	2.700	500	750	3.850
Mundo	2.006	95.829	38.238	27.157	161.224
	2.007	100.529	39.324	28.875	168.828
	2.008	101.059	37.484	26.498	165.041

Fonte: IFA e ANDA

1.7 Fixação biológica de Nitrogênio¹³

A cana-de-açúcar é grande consumidora de fertilizantes nitrogenados, mas, há evidências de que a fixação biológica (FBN) tenha importância prática para o suprimento desse nutriente. Não há concordância nos meios científicos sobre a real contribuição da FBN e inoculações com microrganismos fixadores não são feitas na

¹³ Pesquisadores responsáveis: Raffaella Rosseto e Heitor Cantarella (APTA - Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios).

prática. No entanto, há vários desenvolvimentos recentes sobre o tema que permitem inferir que o cenário pode mudar de modo que, pelo menos parte dos adubos nitrogenados atualmente utilizados possa ser substituída. A literatura existente está sendo examinada criticamente.

1.8 Uso de resíduos agro-industriais para o suprimento de nutrientes em cana-de-açúcar¹⁴

A cultura da cana-de-açúcar tem uma particularidade que a diferencia de maior parte das commodities agrícolas: os produtos exportados no sistema agro-industrial contêm apenas C, H, e O, seja na sacarose ou no etanol, ou seja, os nutrientes minerais usados na produção do vegetal podem ser reciclados e permanecer no sistema. Quando se computa a energia exportada em forma de eletricidade, o quadro é o mesmo. Nesse sentido, o uso de insumos para nutrição da cana-de-açúcar pode ser bastante reduzido se o já muito bom sistema de reciclagem de resíduos do sistema agrícola-industrial for aperfeiçoado. Estão sendo levantadas as possibilidades de reciclagem, conteúdo de nutrientes reaproveitados, gargalos e oportunidades para o uso de vinhaça, cinzas, tortas e outros resíduos.

¹⁴ Pesquisadores responsáveis: Raffaella Rosseto e Heitor Cantarella (APTA - Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios).

OE2. Análise das trajetórias sócio-econômico-ambientais da produção de etanol de cana-de-açúcar

A OE2 está composta de quatro capítulos. Os quatro capítulos desta parte do relatório buscam explorar ferramentas analíticas que nos possibilitem descrever de uma maneira bastante ampla o sistema produtivo do etanol baseado na cana-de-açúcar, no intuito de extrair instrumentos de medição da sustentabilidade sócio-econômica e ambiental dessa atividade produtiva. O primeiro capítulo consiste em uma análise do sistema de produção da agro-indústria sucroalcooleira e de suas inter-relações com o sistema econômico e social brasileiro por meio da matriz insumo-produto. Por objetivar descrever a trajetória da produção de etanol, esse capítulo compara os dados de 1975 com os de 2005. O segundo capítulo faz uma análise sobre as inter-relações entre a cultura da cana-de-açúcar e as demais culturas adotando como unidade espacial de análise o Estado de São Paulo, onde se concentra a produção de cana-de-açúcar no país. O recorte temporal adotado foi de 1996 a 2006. O terceiro capítulo faz uma descrição do processo produtivo de uma usina de açúcar e etanol com o intuito de realizar um balanço energético da produção de etanol e dos demais produtos. O quarto capítulo complementa os demais trazendo um conjunto de indicadores tecnológicos, sociais e ambientais da produção de etanol a partir da cana. Esse capítulo se encerra com uma síntese dos indicadores levantados e apresentados ao longo da OE2.

2.1 Estudo dos sistemas de produção associados à cana¹⁵

Nessa parte do estudo propõe-se fazer uma análise da trajetória social, econômica e ambiental da produção de etanol e cana-de-açúcar no Brasil. O trabalho está sendo feito comparando-se a o desempenho do setor no ano de 2005 com o ano de 1975, quando foi criado o Proálcool. A análise permite mensurar alguns indicadores econômicos, sociais e ambientais da produção e uso do bioetanol no Brasil nesses dois períodos.

A abordagem feita possibilita analisar quais são os desdobramentos da agroindústria canavieira integrados em toda a cadeia produtiva da economia brasileira, com o intuito de mensurar os efeitos a montante e jusante dos setores produtores de etanol e cana no país. Nesse sentido, o trabalho é fundamentado dentro de um arcabouço sistêmico que permite essa análise, e para tal, é feita uma análise de insumo-produto baseada nos retratos econômicos do país em 1975 e em 2005. Nesse item, o trabalho consiste em comparar alguns indicadores dos setores nos anos de 2005 e de 1975, quando foi criado o Proálcool.

Nos itens adiante, o estudo se complementarará com uma análise em termos dos impactos sócio-ambientais da cultura da cana-de-açúcar sobre o sistema agrícola brasileiro e sobre o meio ambiente nas principais nas regiões produtoras. Os aspectos abordados serão a expansão das terras agrícolas, a substituição entre culturas, a monocultura, concentração fundiária e os impactos ambientais em termos de demanda de água e de produção de efluentes.

A quantificação dos impactos e indicadores será feita em relação às seguintes variáveis:

¹⁵ Pesquisadores responsáveis: André Tosi Furtado (NIPE/UNICAMP) e Marcelo Cunha (NIPE/UNICAMP).

- Nível da atividade setorial;
- Produto Interno Bruto;
- Empregos gerados e remuneração média;
- Energia primária incorporada, participação da energia renovável e emissões de CO₂ associadas aos combustíveis fósseis;
- Demanda de Terras
- Deslocamento de Culturas
- Estrutura fundiária
- Aumento da sazonalidade do trabalho
- Produção e Uso de Resíduos e Efluentes
- Consumo de Água na Fase Agrícola e Industrial

2.1.1 Metodologia – análise de insumo-produto¹⁶

A extração de recursos naturais, entre eles a energia primária, pode ser tomada como externa à cadeia produtiva, cruzando a sua fronteira para a produção dos bens e serviços, e saindo da cadeia produtiva incorporada nos bens e serviços a serem consumidos na demanda final, como ilustra a Figura 20.

Há diversos autores que buscaram desenvolver métodos para avaliar a energia incorporada nos produtos produzidos por um sistema econômico. Entre eles, podem ser citados os trabalhos advindos do uso metodologia de insumo-produto proposta por Wassily Leontief em 1939 (Miller & Blair, 1985). No modelo de insumo-produto, é possível avaliar a quantidade de energia primária incorporada na demanda final por um determinado setor considerando-se não somente o uso direto de energia para sua produção, mas também os usos indiretos advindos do uso direto de energia empregados nos insumos usados pelo setor original.

¹⁶ Baseado em Cunha e Pereira, 2008

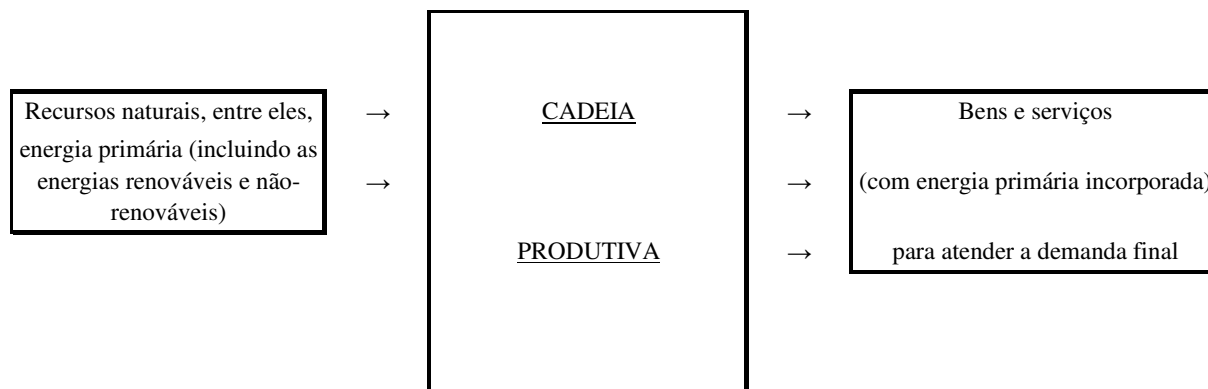


Figura 20: Fluxos através da fronteira da cadeia produtiva

Esse trabalho contempla a avaliação da energia primária incorporada na produção de cana e etanol através de indicadores que mensuram as energias primárias renováveis e não-renováveis usadas em toda a cadeia produtiva, ou seja, considerando-se os efeitos diretos e indiretos. A metodologia empregada faz uso do modelo de insumo-produto, que é descrito a seguir.

O modelo de insumo-produto foi formulado por Wassily Leontief na década de 1930, com o objetivo de descrever o fluxo monetário entre os setores produtivos em uma economia. A sua primeira aplicação foi realizada para descrever as relações inter-setoriais na economia norte-americana no ano de 1919 e, posteriormente, em 1929. Desde então, o modelo têm sido usado em diversos trabalhos em economia aplicada, incluindo estudos em economia regional, aplicações em estudos energéticos e ecológicos. Por seus trabalhos na área de economia envolvendo a análise de insumo-produto, Leontief recebeu o prêmio Nobel de economia em 1973.

Uma forma didática de compreender o modelo pode ser feita enxergando-se a economia de um país agregada em alguns setores. Considere-se, então, o quadro apresentado na Tabela 29, que mostra as transações econômicas realizadas na economia brasileira, agregadas em 4 setores, para o ano de 2005¹⁷, onde os setores produtivos são identificados como: **S1**: Agropecuária; **S2**: Petróleo e gás; **S3**: Transformação; **S4**: Serviços.

¹⁷ As transações são estimativas realizadas pelo autor a partir dos dados das Contas Nacionais disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE - 2007) e pelo Balanço Energético Nacional (EPE – 2007)

Tabela 29: Tabela de transações para a economia brasileira em 2005

Brasil 2005 (R\$ bilhão)	S₁	S₂	S₃	S₄	Y	X
S₁ – Agropecuária	17,14	0,01	107,73	3,21	66,38	194,48
S₂ – Petróleo e gás	0,03	2,17	58,47	0,10	10,42	71,20
S₃ - Transformação	45,50	12,42	578,12	198,20	816,37	1.650,63
S₄ - Serviços	15,05	20,39	220,86	375,90	1.238,19	1.870,39
Importação	6,27	2,89	99,12	34,22	104,85	
W (valor adicionado)	110,49	33,30	586,31	1.258,75	158,38	
X^T	194,48	71,20	1.650,63	1.870,39		
E (10⁶ tep)	15,12	4,67	180,29	12,15	40,48	

Completando-se a identificação das colunas na Tabela 29, **Y** corresponde à demanda final (formada pelo consumo das famílias, pelo consumo do governo, pelas exportações e pela formação bruta de capital – investimentos), e **X** às receitas de cada um dos setores. Em relação às linhas, na mesma tabela, **Import.** identifica as importações realizadas pelos setores (**S₁** a **S₄**) e pela demanda final (**Y**); **W** as despesas dos setores da economia e da demanda final no pagamento em impostos, remuneração dos fatores trabalho e capital; **X^T** as despesas totais na produção de cada setor e, finalmente, **E** corresponde à oferta total de energia¹⁸ empregada diretamente pelos setores da economia e pela demanda final.

A Tabela 29 pode ser vista como uma matriz de contabilidade dos setores econômicos. Por exemplo, ao examinar-se a coluna S₃ (Transformação), pode-se observar que, em 2005, este setor usou R\$ 107,73 bilhões de insumos do setor **S₁** (Agropecuária), e assim por diante, até chegar-se ao consumo de insumos do setor **S₄** no valor de R\$ 220,86 bilhões. Completando-se as despesas realizadas pelo setor **S₃**, devem-se somar as despesas com importações (R\$ 99,12 bilhões) e aquelas realizadas no pagamento de impostos e remuneração dos fatores trabalho e capital (R\$ 586,31 bilhões). Então, o total das despesas realizadas pelo setor **S₃** em 2005 foi de R\$ 1.650,63 bilhões, incluindo-se neste valor a remuneração sobre o fator capital.

Por outro lado, olhando-se a linha ocupada pelo setor **S₃** na Tabela 29, observa-se que o setor **S₁** consumiu R\$ 45,50 bilhões de insumos do setor **S₃** (ou que o setor **S₃** vendeu R\$ 45,50 bilhões em insumos para o consumo do setor **S₁**), e assim sucessivamente, até o consumo de R\$ 198,20 bilhões pelo setor **S₄**. Ainda na mesma linha, o setor **S₃** forneceu R\$ 816,37 bilhões para atender à demanda final (**Y**). Então, os valores que constam na linha ocupada pelo setor **S₃** são interpretados como as receitas deste setor em função das vendas realizadas para os outros setores produtivos (**S₁** a **S₄**) e para atender a demanda final (**Y**). A soma de todas as receitas do setor **S₃** é igual a R\$ 1.650,63 bilhões, justamente o valor das despesas, sendo denominado de valor da produção do setor. O exame das despesas e receitas pode ser feito para todos os setores (**S₁** a **S₄**) na Tabela 29.

¹⁸ A oferta total de energia corresponde à soma da produção de energia primária com as importações e variações de estoques das fontes de energia primária e secundária.

Na Tabela 29, vista como uma matriz, cada um de seus elementos será identificado, de forma genérica, por z_{ij} , sendo i a identificação da linha e j a identificação da coluna. Focando-se em um determinado setor, podem-se definir coeficientes técnicos diretos de produção relacionados aos valores necessários de insumos de outros setores para se produzir R\$ 1,00 daquele setor. Por exemplo, olhando-se novamente para a coluna ocupada pelo setor **S3**, se dividirmos os R\$ 220,86 bilhões de insumos (fornecidos pelo setor **S4**) pelo valor da produção do setor **S3** (R\$ 1.650,63 bilhões), encontramos o valor 0,134, significando que para produzir R\$ 1,00, o setor **S3** consome R\$ 0,134 do setor **S4**.

Este valor, 0,134, é o coeficiente técnico direto de produção do setor **S3** pelo setor **S4**, sendo identificado por a_{34} . De modo geral, o coeficiente técnico direto de produção a_{ij} , interpretado como os insumos fornecidos pelo setor i ao setor j para a produção de R\$ 1,00 do setor j , é definido por:

$$a_{ij} = \frac{z_{ij}}{X_j} \quad (1)$$

Na Tabela 29, pode-se calcular a matriz $A = [a_{ij}]$, a partir da equação (1), cujo resultado é apresentado a seguir:

$$A = \begin{bmatrix} 0,088 & 0,000 & 0,065 & 0,002 \\ 0,000 & 0,031 & 0,035 & 0,000 \\ 0,234 & 0,175 & 0,350 & 0,106 \\ 0,077 & 0,286 & 0,134 & 0,201 \end{bmatrix}$$

O equilíbrio econômico em cada setor produtivo é dado pela igualdade entre suas receitas e suas despesas. Para o setor **S3**, por exemplo, esta condição pode ser escrita como:

$$z_{31} + \dots + z_{34} + Y_3 = X_3 \Rightarrow \sum_{j=1}^4 z_{3j} + Y_3 = X_3$$

A condição acima pode ser generalizada para todos os setores, de tal modo que:

$$\sum_{i=1}^n z_{ij} + Y_j = X_j \quad (2)$$

para $1 \leq i \leq n$ e $1 \leq j \leq n$

sendo n o número de setores da economia

A partir da equação (1), obtém-se $z_{ij} = a_{ij} \cdot X_j$, que colocada na equação (2) torna-se:

$$\sum_{i=1}^n a_{ij} \cdot X_j + Y_j = X_j \quad (3)$$

O sistema de equações acima pode ser escrito na forma matricial como:

$$A.X + Y = X \quad (4)$$

A equação matricial (4) pode ser resolvida para X (vetor com o valor da produção de cada um dos setores) em função de Y (vetor com o valor da demanda final de cada um dos setores), cujo resultado é:

$$X = (I - A)^{-1}.Y \quad (5)$$

onde I é a matriz identidade de ordem n.

A equação (5) nos fornece qual o valor da produção de cada um dos setores para atender a demanda final por um ou mais setores, considerando que um setor usa insumos dos outros setores para sua produção, e esses setores usam também insumos de outros setores para atender a demanda por estes insumos, e assim sucessivamente. Este efeito de somar os insumos necessários de todos os setores para atender a demanda final é chamado de efeito indireto.

A partir da matriz $(I - A)^{-1}$ pode-se obter o valor da produção de todos os setores considerando a soma dos efeitos diretos e indiretos envolvidos em toda a cadeia produtiva para atender a uma determinada demanda final. No exemplo da Tabela 29, a partir da matriz A obtida, a matriz $(I - A)^{-1}$ é igual a:

$$(I - A)^{-1} = \begin{bmatrix} 1,129 & 0,027 & 0,119 & 0,018 \\ 0,016 & 1,045 & 0,060 & 0,008 \\ 0,442 & 0,362 & 1,648 & 0,220 \\ 0,189 & 0,438 & 0,309 & 1,293 \end{bmatrix}$$

Então, considere-se o exemplo de aumentar a demanda final (podendo ser o consumo das famílias) em R\$ 1 bilhão em produtos fornecidos pelo setor da transformação (setor **S3**). Para que sejam atendidos estes R\$ 1 bilhão, todos os setores econômicos da cadeia produtiva serão acionados, e o valor da produção adicional de cada setor será dado pelo uso da equação (5), que neste caso torna-se:

$$\Delta X = \begin{bmatrix} 1,129 & 0,027 & 0,119 & 0,018 \\ 0,016 & 1,045 & 0,060 & 0,008 \\ 0,442 & 0,362 & 1,648 & 0,220 \\ 0,189 & 0,438 & 0,309 & 1,293 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,119 \\ 0,060 \\ 1,648 \\ 0,309 \end{bmatrix}$$

Deste modo, para que as famílias possam consumir mais R\$ 1 bilhão em produtos do setor da indústria da transformação, é necessária a produção adicional de R\$ 0,119 bilhão da agropecuária, e assim por diante, até chegarmos ao valor de R\$ 1,648 bilhão da indústria da transformação e R\$ 0,309 bilhão do setor de serviços. A soma dos valores das produções necessárias em cada setor totaliza R\$ 2,136 bilhões, ou seja, para que as famílias consumam mais R\$ 1 bilhão do setor da

indústria da transformação, toda a economia precisa produzir mais R\$ 2,136 bilhões, devido aos efeitos diretos e indiretos envolvidos em toda a cadeia produtiva.

Assim, o uso da equação (5) é um instrumento valioso para se avaliar o impacto na produção de todos os setores econômicos em função do choque realizado para se atender à demanda final de um ou mais setores.

De posse dos impactos nos valores da produção de cada setor, é possível calcular, também, a energia primária consumida por eles. Assumindo-se novamente o conceito de coeficientes técnicos diretos, a partir da Tabela 29 pode-se calcular a quantidade de energia primária consumida para que um determinado setor produza R\$ 1 bilhão. Por exemplo, para o setor **S3**, se dividirmos $180,29 \cdot 10^6$ tep pelo valor da produção (R\$ 1.650,63 bilhões), teremos o consumo direto de $0,109 \cdot 10^6$ tep para cada R\$ 1 bilhão no valor da produção, que pode ser interpretado como um coeficiente técnico direto do consumo de energia primária para o setor **S3**. Pode-se, então, definir um vetor **e**, a partir do consumo de energia primária de cada setor e do respectivo valor da produção, do seguinte modo:

$$e = \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ e_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_1 / X_1 \\ E_2 / X_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ E_n / X_n \end{bmatrix} \quad (6)$$

O vetor **e**, no exemplo da Tabela 29, é igual a (os elementos do vetor e estão em $10^6 \cdot \text{tep/R\$ 1 bilhão}$):

$$e = \begin{bmatrix} 0,078 \\ 0,066 \\ 0,109 \\ 0,006 \end{bmatrix}$$

Voltando-se ao exemplo do impacto causado na produção setorial devido ao aumento de R\$ 1 bilhão na demanda final pelo setor **S3**, se multiplicarmos os coeficientes técnicos diretos de energia primária pelos respectivos aumentos das produções setoriais, teremos os aumentos do consumo de energia primária de cada um dos setores, considerando os efeitos diretos e indiretos em toda a cadeia produtiva. Neste exemplo, os impactos causados no aumento do consumo de energia primária em cada setor seriam dados pelo vetor ΔE (em 10^6 tep):

$$\Delta E = \begin{bmatrix} 0,078 \times 0,119 \\ 0,066 \times 0,060 \\ 0,109 \times 1,648 \\ 0,006 \times 0,309 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,009 \\ 0,004 \\ 0,180 \\ 0,002 \end{bmatrix}$$

Então, o setor **S1** teria um acréscimo de $0,009.10^6$ tep no consumo de energia primária, e assim sucessivamente, até um acréscimo de $0,002.10^6$ tep no setor **S4**. Somando-se os acréscimos do consumo de energia primária em cada um dos quatro setores, o acréscimo total é de $0,195.10^6$ tep. Portanto, o setor **S3** usa diretamente $0,109.10^6$ tep para cada R\$ 1 bilhão em sua produção, mas possui $0,195.10^6$ tep de energia primária incorporada para cada R\$ 1 bilhão disponíveis na demanda final (um valor 79% maior), devido aos efeitos diretos e indiretos envolvidos em toda a cadeia produtiva da economia.

Usando-se a metodologia apresentada, as informações das transações setoriais para a economia brasileira disponibilizada pelo IBGE e as informações da oferta total de energia (Balanço Energético Nacional), será realizado o cálculo da energia incorporada nos setores na demanda final, desagregando-se, ainda, a energia primária renovável da não-renovável.

2.1.2 Resultados

Usando-se a análise de insumo-produto apresentada no item anterior, são apresentados, a seguir, alguns indicadores socioeconômicos e do uso de energia para a produção de cana-de-açúcar, etanol e gasolina, nos anos de 1975 e 2005; são eles:

- Multiplicador produção;
- Valor adicionado (PIB);
- Empregos gerados;
- Renda média por trabalhador ao ano;
- Energia primária fóssil incorporada;
- Energia primária renovável incorporada;
- Emissões de CO₂ devido à queima de combustíveis fósseis;

A base de dados usada consiste nas matrizes de insumo-produto e no Balanço Energético Nacional referentes a esses dois períodos de análise. Os indicadores quantificados são calculados por quantidade produzida: no caso da cana, por milhão de toneladas (Mt); para o etanol e a gasolina, por quatrilhão de joule (PJ)¹⁹.

O multiplicador de produção (M.P.) é a relação do valor da produção necessária de todos os setores da economia para a produção de uma unidade monetária de algum produto da economia; por exemplo, em 2005, para a produção de R\$ 1 milhão de cana-de-açúcar, o valor da produção de todos os setores da economia é de R\$ 1,94 milhão; assim, o multiplicador de produção da cana em 2005 é 1,94.

¹⁹ 1 PJ = 10^{15} J = 23,9 ktep

A Tabela 30 apresenta o resumo dos indicadores socioeconômicos.

Tabela 30: Resumo dos indicadores socioeconômicos

Setor/ano	Indicador			
	M.P.	PIB* (R\$ milhão)	Empregos	Remuneração* (R\$/mês)
Cana 1975	1,50	62,9	4.788	489,94
Cana 2005	1,94	27,2	1.819	575,13
Álcool 1975	2,17	57,6	2.429	529,18
Álcool 2005	2,02	31,4	1.122	760,20
Gasolina 1975	1,36	17,0	113	1.757,35
Gasolina 2005	2,28	21,1	335	1.489,87

* Obs.: os valores em R\$ se referem ao ano de 2005

Em relação aos multiplicadores de produção, observa-se que os valores de 2005 são maiores que 1975, exceto para o álcool, onde houve pequena redução. Um valor mais elevado para o multiplicador de produção de um setor significa que ele aciona de modo mais intenso a cadeia produtiva. Para a cana-de-açúcar, o aumento observado de 1975 para 2005 pode ser explicado pelos avanços tecnológicos no setor, em particular, o que inclui o advento da mecanização. Para a produção de gasolina, o aumento significativo é explicado pelo aumento expressivo da produção doméstica de petróleo que ocorreu nas últimas três décadas.

Em relação ao PIB, observa-se que para a produção de cana e de álcool os valores são maiores em 1975; o ganho de competitividade e a redução de preços desses dois produtos explicam esse efeito. Em relação aos empregos desses dois setores, também em função dos aspectos tecnológicos, observa-se uma redução acentuada de 1975 para 2005, porém, acompanhada com um aumento da remuneração dos trabalhadores.

Em termos da comparação dos produtos energéticos álcool e gasolina, as diferenças são extremamente significativas. Para a oferta de 1PJ, em 2005, são gerados 1.122 empregos com o álcool, e 335 com a gasolina; o impacto no PIB é de R\$ 31,4 milhões com o álcool, e R\$ 21,1 milhões com a gasolina. Entretanto, nota-se a diferença considerável na remuneração média dos trabalhadores, 96% superior no caso da produção de gasolina.

A Tabela 31 exibe a participação do efeito indireto na cadeia produtiva para os resultados que são mostrados na Tabela 30.

Tabela 31: Participação do efeito indireto

Setor/ano	Participação efeito indireto		
	M.P.	PIB	Emprego
Cana 1975	12,1%	9,7%	3,6%
Cana 2005	25,8%	24,9%	10,4%
Álcool 1975	28,0%	35,0%	55,4%
Álcool 2005	24,5%	21,9%	21,8%
Gasolina 1975	7,8%	12,3%	40,3%
Gasolina 2005	25,9%	39,7%	75,6%

O aumento da influência do efeito indireto é notável para as três variáveis na produção de cana de 1975 para 2005, já explicada pela evolução tecnológica ocorrida no setor. Na produção de etanol, a redução do efeito indireto é explicada pelo fato do setor produtor de açúcar ter uma importância relativa maior como fornecedor de melão em 1975. Na produção de gasolina, o aumento do efeito indireto observado em 2005 é justificado pelo aumento expressivo da oferta de petróleo doméstico nesse período, como mencionado anteriormente.

A Tabela 32 apresenta o resumo dos impactos relativos à energia primária incorporada, bem como às emissões de CO₂ devido à queima de combustíveis fósseis.

Tabela 32: Impactos na energia primária e emissões de CO₂

Setor/ano	Energia incorporada (PJ)	Participação renovável	Emissão de CO ₂ (Gg)
Cana 1975	2,81	9,8%	8,0
Cana 2005	5,13	14,2%	9,6
Álcool 1975	2,07	94,0%	14,7
Álcool 2005	2,06	94,7%	6,3
Gasolina 1975	1,88	0,4%	81,0
Gasolina 2005	1,33	1,8%	87,4

Entende-se por energia incorporada à quantidade total de energia usada pelo sistema econômico para dispor uma certa quantidade de um bem ou serviço para consumo. Essa quantidade total de energia é a soma de toda a energia primária com a energia secundária importada para produzir aquele bem ou serviço.

Na produção de 1 Mt cana, observa-se um aumento da energia incorporada de 1975 para 2005, explicada pelo aumento da mecanização no setor, implicando no aumento consumo de óleo diesel.

Na comparação dos números relativos à produção de álcool praticamente não se nota diferença. Em 2005, em 1 PJ de etanol, está incorporado 2,07 PJ. Como a participação de energia renovável é 94,7%, isso implica que para dispor de 1PJ de etanol como energia líquida, o sistema econômico usou 0,11 PJ de energia fóssil; desse modo, a relação energia líquida/energia fóssil consumida é 9,11. Entenda-se que essa energia fóssil é, essencialmente, energia primária. No caso da gasolina, em 2005, essa relação é 0,76.

Em relação às emissões de CO₂ devido à queima de combustíveis fósseis, a produção de cada milhão de toneladas de cana geram 9,6 Gg em 2005, valor 20% superior ao estimado em 1975. Para o etanol, em 2005, são gerados 6,3 Gg para cada PJ consumido, valor 57% inferior ao estimado em 1975, explicado, principalmente, pelo aumento do uso do bagaço de cana para gerar vapor nas usinas e destilarias. A redução de emissões de CO₂ (devido à queima de combustíveis fósseis) em 2005, comparando-se a queima de 1 PJ de etanol substituindo 1 PJ de gasolina, seriam de 92,8%.

É importante salientar que todos os indicadores estimados nessa seção foram quantificados usando-se um modelo de insumo-produto, cujos coeficientes técnicos

são calculados a partir de transações mensuradas em valores monetários; desse modo, distorções referentes às mudanças de preços relativos entre 1975 e 2005 podem ocorrer nesse tipo de análise, particularmente, àquelas mudanças de preços entre gasolina, etanol combustível e óleo diesel. Nesse sentido, é desejável realizar uma nova estimativa dos indicadores apresentados usando-se um modelo híbrido de insumo-produto, que consiste no uso de transações mensuradas em unidades energéticas para os setores energéticos.

2.2 Exame da integração da expansão em grande escala da produção e uso do bioetanol com a produção de alimentos (açúcar, grãos), e com a atividade pecuária (carne)²⁰

Este relatório refere-se ao estudo conduzido para explorar os potenciais de integração dos setores sucroalcooleiro, pecuário e lavoura. Para isso, levam-se em conta as tecnologias disponíveis nas usinas (produção de rações e plantio direto nas áreas de reforma), e nas atividades de agropecuária e de carnes.

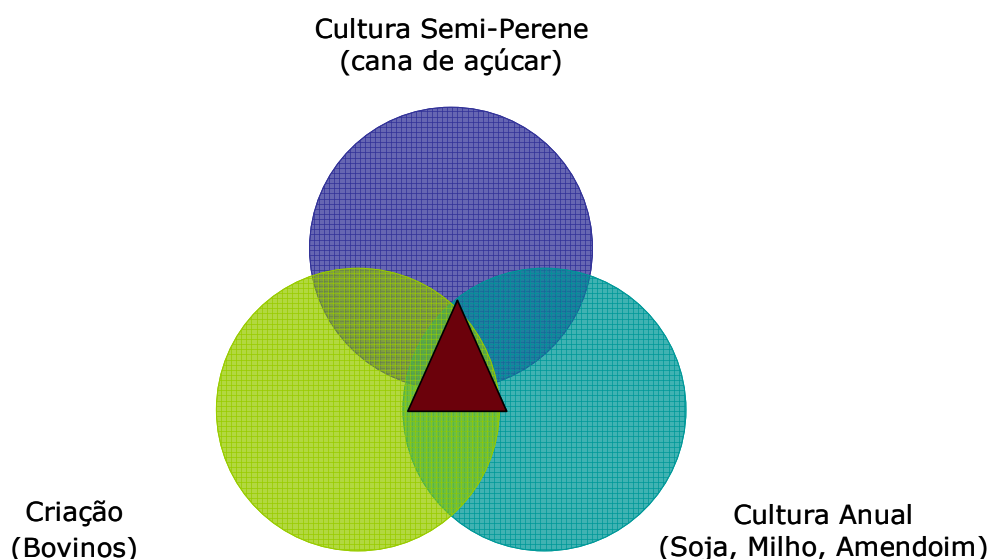


Figura 21: Integração das atividades agrícolas sustentáveis.

Objetivamente, são consideradas as seguintes questões:

(1) Dada uma área de 100.000 hectares ocupada por pecuária de bovinos (recria e engorda) com baixa tecnificação (tipicamente 0,7 unidade animal por hectare), é possível instalar uma destilaria que processa 2 milhões t/ano de cana, ocupando 28.000 hectares desta área, e ainda produzir, com melhor tecnificação da atividade pecuária, a mesma quantidade anual de carne? Veremos que com utilização de

²⁰ Pesquisadores responsáveis: Miguel Taube Neto (UniSoma Matemática para Produtividade) e Solismar de Paiva Venzke Filho (UniSoma Matemática para Produtividade).

suplementação de pastos, confinamento e plantio direto planejado a resposta é positiva.

(2) A resposta positiva ao questionamento (1) pode ser construída com base em cálculos simples em planilhas, envolvendo dados experimentais disponíveis na literatura técnica. Entretanto, uma outra questão é posta: Que metodologia permite análises das interações entre produção do bioetanol, grãos e carne, levando em conta a dinâmica de mudanças tecnológicas e econômicas ao longo do tempo? Essas interações são ilustradas na Figura 22. A evolução no tempo destas interações é representável mês-a-mês conforme descrição de modelo matemático da seção 2.2.4.

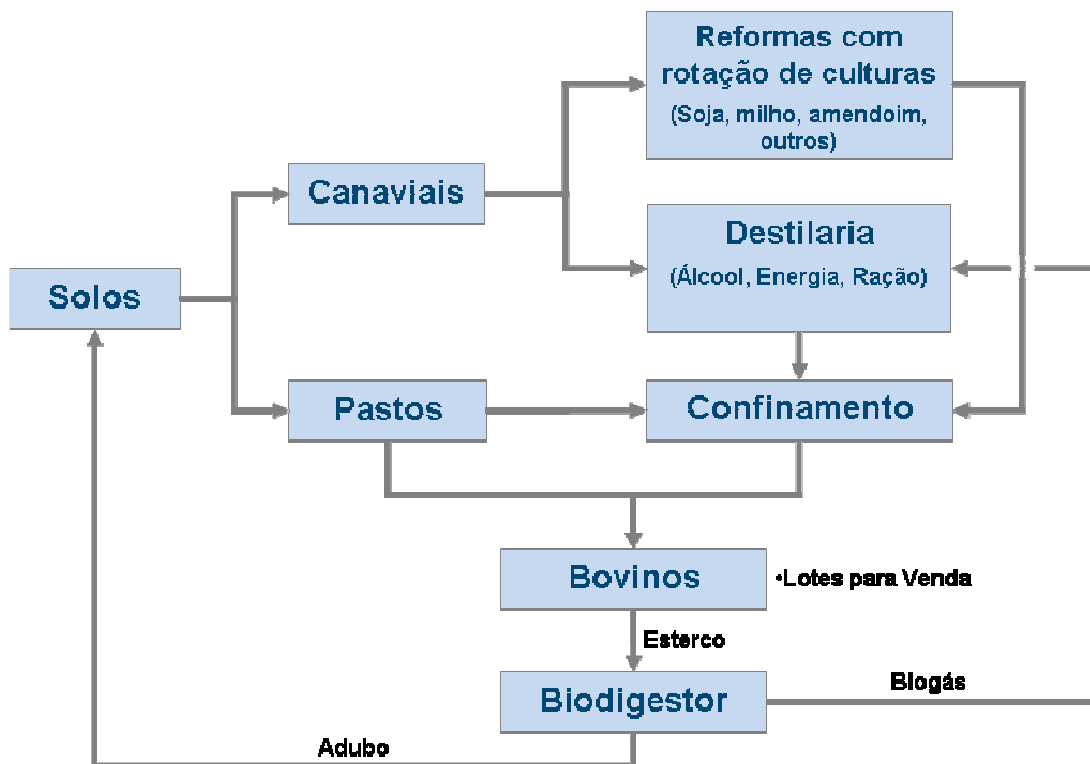


Figura 22: Interações entre produção de bioetanol, grãos e carne.

2.2.1 Considerações Técnicas

A integração da atividade sucroalcooleira com a pecuária baseia-se no fornecimento aos bovinos de suplementação alimentar através dos subprodutos gerados na usina. Isto ocorre em especial na fase de recria, no período de escassez de alimento, em piquetes com sistema com rotação de pastagem, e também na alimentação completa na fase de engorda que ocorre na forma de confinamento. O uso do confinamento traz outra importante oportunidade de integração com a utilização do esterco em um biodigestor e / ou como biofertilizante. Aproveitando as instalações de cogeração das usinas, o biogás, produto do biodigestor, serve como fonte de energia para o incremento do potencial de venda de energia elétrica da usina.

Já a integração da atividade sucroalcooleira com a produção de grãos ocorre nos períodos de renovação de cada canavial após 5, 6 ou 7 anos de seu plantio. A área a ser renovada a cada ano corresponde de 15 a 20 % da área total cultivada pela usina. Nessas áreas podem ser plantadas culturas anuais de soja, de amendoim, de

milho, de girassol e culturas condicionantes de solo e fixadoras de nitrogênio atmosférico. A escolha da cultura a ser implantada na rotação com a cana-de-açúcar será em função dos aspectos econômicos e agrônômicos da usina.

Quanto à sustentabilidade da integração da atividade sucroalcooleira e da pecuária de corte, sabe-se que sistema de produção intensiva de carne bovina pode melhorar os indicadores presentes de produção de carne. Segundo Alencar & Pott (2002) "A produção de carne bovina no Brasil é praticada de forma extensiva. Na maioria das regiões produtoras predomina o sistema de cria, recria e engorda, em regime exclusivo de pastagens e com práticas de manejo inadequadas. A intensificação dos sistemas de produção ainda é incipiente no país, mas a médio prazo deverá ocorrer especialmente nas fases de cria e recria a serem praticadas em pastagens de melhor qualidade e melhor manejadas, e na fase de engorda a ser feita em regime de confinamento ou semi-confinamento, visando à redução da idade de abate dos animais e à produção de carne de melhor qualidade".

A sustentabilidade da integração da atividade sucroalcooleira e da produção de grãos, está alicerçada no princípio da renovação do canavial de forma sustentável através do emprego da colheita de cana crua e da rotação de culturas via Sistema Plantio Direto. Recentes trabalhos têm demonstrado que a colheita de cana crua ou cana sem queima prévia traz benefícios às propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (de Luca, 2002; Campos, 2003). Neste sistema de colheita é depositado na superfície do solo em torno de $15 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de palhico (folhas do ponteiro), que confere inúmeros benefícios ambientais e agrônômicos (Bolonha, 2007a). Timm (2003) verificou que o efeito da cobertura vegetal na superfície do solo, como uma consequência da adoção da nova prática de colheita sem queima prévia da cana, reduziu as temperaturas médias na camada superficial do solo na ordem de 7°C , evitando picos de temperatura na superfície durante o período inicial de estabelecimento da cana soca. Por outro lado alguns estudos indicam menor produtividade da colheita cana crua em relação à colheita com queima prévia (Campos, 2003). Atribui-se a esse fato a maior imobilização do N-mineral do solo, devido à maior biomassa microbiana do solo (Cantarella, 1998). Entretanto a expectativa que esse efeito seja transitório, pois estudos com sistemas conservacionistas indicam que ao longo do tempo a mineralização é maior que a imobilização do N num certo patamar de "maturidade do ambiente solo" (Sá, 1996).

Segundo Cerri & Cerri (2007), através das queimadas são liberados $4.748 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de C-CO_2 , enquanto a cana crua pode sequestrar $1.011 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de C-CO_2 . Recentemente Galdos (2007), sobre orientação dos autores acima, verificou que a área com maior tempo de adoção de colheita crua (sem queimada há 8 anos) apresentou maiores teores de carbono total (30% maior), carbono na biomassa microbiana (2,5 vezes maior), carbono da matéria orgânica particulada (3,8 vezes maior) na camada superficial que a área com queima prévia. Esse trabalho demonstra a importância de práticas conservacionistas na preservação da matéria orgânica do solo em agrossistemas, com alta velocidade de sequestro de carbono atmosférico.

A rotação de culturas é uma prática antiga e necessária à sustentabilidade da produção de álcool, açúcar e energia. Principalmente agora, tendo como desafio manter a média de produtividade de 85 t.ha^{-1} nas regiões de expansão (Centro-Oeste), caracterizados por solos muitos susceptíveis à erosão, ácidos e de baixa fertilidade. Nestes novos ambientes agrícolas, a colheita de cana crua e rotação de

culturas via plantio direto exercerão um importante papel na sustentabilidade do sistema.

Segundo Igreja et. al. (2008), apesar das áreas de pastagens oferecerem menor resistência a expansão da lavoura de cana-de-açúcar do que as demais lavouras de grãos e citrus, há uma expectativa que a pecuária de corte possa ser mais competitiva. É esperado uma reação por meio de intensificação e tecnificação, a qual foi bastante satisfatório nos últimos anos e que permitiu ampliar a produção e compensar a retração nas áreas com pastagens, um indicador do aumento da eficiência produtiva.

Os indicadores da pecuária tradicional de corte no Brasil (Quadro 01) mostram que são baixos os índices de produtividade, principalmente a taxa de lotação, algo em torno de 0,7 a 0,9 U.A. / ha (U.A., ou unidade animal, equivale a 450 kg de peso vivo animal). Existe um consenso entre os especialistas de que o avanço da agricultura não é uma barreira ao avanço da pecuária. Pelo contrário, é uma forma de aumentar a renda e tornar o pecuarista um verdadeiro empreendedor.

A incorporação de tecnologia irá reduzir o impacto gerado pela retração das áreas de pastagens. Entre 2001 e 2006, enquanto a área de pastagem brasileira recuou quase 2%, o rebanho bovino cresceu 15% e a produção de carne aumentou quase 53% (Rosa, et al. 2007).

Tabela 33: Indicadores zootécnicos da pecuária atual e da tecnificada/intensificada

Índices de produtividade	Pecuária*	
	Tradicional	Tecnificada/Intensiva
Cria		
Natalidade (%)	60 a 80	80 a 95
Mortalidade até 1 ano (%)	4 a 10	2 a 4
Mortalidade até 2 anos (%)	3 a 6	1 a 2
Mortalidade + de 2 anos (%)	2 a 4	1 a 2
Idade a desmama (meses)	8 a 12	4 a 6
Peso a desmama (kg)	140 a 180	180 a 240
Idade inicial de cobertura das matrizes (meses)	24 a 36	18 a 24
Peso inicial de cobertura das matrizes	280 a 320	300 a 320
Idade ao primeiro parto (meses)	33 a 45	27 a 33
Peso pós - primeiro parto (kg)	330 a 400	370 a 450
Intervalo entre partos (meses)	16 a 20	14 a 16
Desfrute (machos vendidos para recria) (%)	15 a 20	20 a 24
Descarte matrizes/novilhas excedentes (%)	10 a 20	10 a 20
Relação touro/vaca (animal)	1:25 a 30	1:20 a 25
Capacidade de suporte das pastagens (U.A./ha/ano)	0,5 a 1,0	1,0 a 2,4
Recria e Engorda		
Mortalidade (%)	3 a 6	1 a 2
Desfrute (%)	27 a 30	33 a 49
Capacidade de suporte das pastagens (U.A./ha/ano)	0,5 a 1,0	1,5 a 4,0
Idade de abate (meses)	36 a 48	24 a 36
Peso de abate (kg)	480 a 600	480 a 600
Ganho por animal (kg/cab/ano)	140 a 160	160 a 240
Produção por área (kg/ha/ano)	70 a 160	250 a 720
Receita bruta por hectare (R\$/ha/ano)	126 a 288	288 a 1.152
Custo (R\$/ha/ano)	108	108 a 432
Lucratividade (R\$/ha/ano)	18 a 180	180 a 720

* Considerando rebanho estabilizado.

Obs: Os autores consideram pecuária tradicional um sistema de criação extensivo com emprego inadequado de manejo, baixo nível nutricional, pelo menos estacional, práticas ineficientes, aguadas de baixa qualidade e de difícil acesso, entre outras. Pecuária tecnificada ou intensificada um sistema de criação extensivo ou semi-intensivo/intensivo com a adoção de tecnologia adequada (manejo adequado, adubação e utilização eficiente das pastagens), gestão dos custos com racionalização do processo produtivo.

Fonte: Sistema de criação bovina – Embrapa Amazônia Oriental, Sistemas de Produção, 3 ISSN 1809-4325 Versão Eletrônica, Dez./2006. Autores diversos.

2.2.2 Representação da Dinâmica de Planejamento da Integração Cana, Grãos, Bioetanol, Energia e Pecuária

A Figura 22 indica as interações das atividades de produção de cana, grãos, bioetanol, energia e pecuária, as quais podem ser relacionadas num período de tempo, o mês, por exemplo. No entanto, os efeitos de decisões num dado mês, como o plantio de soja numa área de reforma gera estoques transformáveis em farelo que poderá ser utilizado em meses subsequentes. Além disso, decisões de rotação de culturas afetam a qualidade dos solos dos ciclos futuros, os quais também podem ser afetados por plantios de novas variedades. Na atividade de pecuária os lotes adquiridos para recria e depois confinamento podem ter durações diversas, consumindo paralelamente os recursos de alimentação (pastos e rações), sendo desejável que os processos de compra de bezerros e venda de bois considerem as variações de preços ao longo do horizonte de planejamento.

Assim sendo, torna-se importante não só as interações de processos num dado período de tempo, mas também os efeitos de decisões ao longo do tempo. Para isso é possível desenvolver-se um sistema integrado de planejamento de múltiplos períodos no qual são representadas decisões de reformas com rotação de culturas, de cortes de cana, de produção industrial inclusive rações, de compra de bezerros, de venda de bois etc. Esse modelo poderia ser usado para análise de cenários com horizonte de vários ciclos de cana, tipicamente de 15 a 20 anos, ao longo dos quais são otimizáveis as decisões conjuntas do complexo canavieiro e pecuário. Por outro lado, o sistema pode ser decomposto para representações separadas desses dois processos.

Para o contexto deste projeto foi desenvolvido o sistema de planejamento pecuário.

2.2.2.1 Simulação da integração Destilaria e Pecuária

Para responder a primeira pergunta proposta neste estudo, um modelo de negócios foi definido e uma simulação da sua aplicação foi realizada.

Para tal simulação, foi adotada uma destilaria padrão, definida pelo Projeto Etanol do NIPE/UNICAMP (2 milhões de toneladas de cana por ano), como referência para as caracterizações necessárias. A definição do manejo pecuário a ser analisado considera um modelo de produção pecuária tradicional e extensiva, conforme já descrito.

Caracterização da Destilaria

Segundo o modelo adotado neste estudo, as unidades produtoras de etanol, denominadas de "destilaria padrão", são destilarias autônomas com capacidade de moagem de 2 milhões de toneladas de cana-de-açúcar por ano, um equivalente à aproximadamente 12.000 toneladas por dia útil, considerando-se uma safra de 167 dias úteis.

Na definição desta destilaria, foi considerado um coeficiente de conversão de 85 litros de etanol por tonelada de cana processada, resultando numa capacidade de produção diária de etanol 100°INPM de 1.020.000 litros, o equivalente a 1.067.000 litros de AEHC (Álcool Etílico Hidratado Combustível) ou 1.023.000 litros de AEAC (Álcool Etílico Anidro Combustível).

O processo de produção analisado segue os modelos tradicionais de destilarias brasileiras, definidos, em termos gerais, em: recepção, lavagem, preparo do caldo, extração do caldo, tratamento do caldo, fermentação e destilação.

Os parâmetros gerais destes processos estão resumidos na tabela abaixo.

Tabela 34: Parâmetros da Destilaria

Item	Valor
Moagem/ano safra (toneladas de cana)	2.000.000
Dias úteis/ano safra	167
Rendimento agrícola (toneladas por hectare)	71
Moagem diária (toneladas de cana por dia útil)	11.976
Rendimento Industrial (litros etanol/tonelada de cana)	85
Produção diária de etanol (litros)	1.017.960
Produção total de etanol safra/usina (litros)	170.000.000
Área agrícola disponível (ha)	28.000
ART na cana posta na Usina (kg/tonelada de cana)	159
Fibra na cana posta na Usina (kg/tonelada de cana)	140
Bagaço (umidade 50%) total em cana (kg/tonelada de cana)	280
Eficiência na extração (%)	96,0
Eficiência no tratamento do caldo (%)	97,0
Rendimento na fermentação	89,26
Rendimento na destilação	99,0
Rendimento global	82,29

A configuração da destilaria padrão, no que diz respeito a seu sistema de cogeração e integração energética, leva em consideração um padrão ultrapassado de produção de vapor e energia elétrica, mas que reflete a situação atual de muitas usinas e destilarias no Brasil. Neste caso, consideramos a produção de vapor a 22 bar e 320°C com um vapor de processo a 2,5 bar e 128°C. De acordo com estes padrões, estima-se que a destilaria produza 40,0 kWh / tonelada de cana, um total de 80.000 MWh ao longo da safra.

Caracterização da Pecuária

A pecuária atual brasileira, se baseia num modelo de manejo extensivo e pouco tecnificado, conforme já foi apresentado. Este modelo e seus parâmetros (definidos na tabela abaixo) serão utilizados como referência da região previa a instalação da destilaria.

Com a integração da destilaria e a pecuária, a combinação de diferentes tipos de manejo (extensivo, semi-intensivo e intensivo) é possível. Um modelo matemático foi desenvolvido para analisar qual a melhor combinação destas opções, após a instalação da destilaria.

Tabela 35: Condições de contorno adotadas

Item	Tradicional	Integrada
Disponibilidade no Pasto (U.A. / ha)	0,7	A partir de 0,7*
Idade de Abate (meses)	33 a 46	26 a 46
Área Total (ha)	100.000	72.000
Custo de Manejo por cabeça de gado (R\$/mês)	20,83**	20,83 – 28,59 – 31**

* A disponibilidade no pasto é definida dinamicamente conforme o modelo determinar o melhor manejo para cada lote

** Custos referentes aos manejos Extensivo, Semi-Intensivo (com suplementação em pasto) e Intensivo (com confinamento).

Fonte: ANUALPEC 2009.

Produção de ração

A cana-de-açúcar e alguns subprodutos de usinas (bagaço, levedura e melaço) apresentam grande potencial de suplementação alimentar no período de seca, (maio a setembro) onde as pastagens nativas ou as cultivadas diminuem a sua produção de massa verde, aumento de fibras e conseqüentemente diminuição da digestibilidade.

Por outro lado suas composições apresentam limitações nutricionais. O uso na alimentação de ruminante requer um tratamento físico ou químico para aumentar a digestibilidade e complementar os baixos valores de proteína e minerais, a fim de preencher as exigências dos animais. Esta correção pode ser atingida com o uso de suplementação mineral e utilização de fontes de nitrogênio protéicos (ex: soja, milho, farelo de arroz, etc) e não protéicos (ex: uréia pecuária).

Uma das possíveis interações entre destilaria e a pecuária, conforme destacado no fluxograma da Figura 22, vem do uso destes subprodutos do processo de produção de etanol para a composição de rações para bovinos.

Na pecuária tecnificada, o uso de ração pode vir em dois momentos:

Uso como suplemento na pastagem durante a época da seca (tipicamente caracterizado entre os meses de junho até setembro). Esta ração tem como objetivo evitar a perda, ou promover pequenos ganhos de peso dos bovinos, devido à falta de nutrientes no campo. Ela é caracterizada como um volumoso, que pode ser corrigida com algum concentrado para melhor o desempenho animal. Sua composição varia conforme os insumos disponíveis, sendo a composição explorada neste estudo uma combinação de bagaço de cana (hidrolisado) e uréia, em proporção 99:1. O consumo médio deste suplemento, durante os ciclos de recria e engorda de bovinos, é de 8 kg / cabeça de gado. De acordo com Rosa et al. (2007), com a utilização da suplementação em pasto, é possível atingir níveis de ganhos de peso diários entre 0,19 a 0,3 kg / dia em época de seca.

A ração para uso em confinamento visa à terminação ou engorda do animal para abate. Em geral, o período de confinamento é de aproximadamente 90 dias e proporciona ganhos de peso entre 1,0 kg/dia até 1,5 kg/dia dependendo da raça, composição da ração, peso inicial e idade do animal, entre outros. Para o estudo realizado, foi considerado um exemplo típico de ração para engorda, com sua composição definida na tabela abaixo.

Tabela 36: Ração para confinamento

Ingredientes	% na matéria seca	kg/cabeça
Bagaço hidrolisado	50,47	11,93
Bagaço in natura	4,23	0,9
Levedura úmida	10,58	4,89
Melaço	2,75	0,39
Milho grão	20,95	2,53
Farelo de soja	7,61	0,91
Uréia	0,77	0,08
Sal mineral	2,64	0,28
Rumensin	0,027	0,0029

Fonte: Avaliação do desempenho e características de carcaça de bovinos confinados na Usina Vale do Rosário em 2001 – Associação Brasileira de Criadores de Caracu [<http://www.flavito.com/artigo4.htm>]

Destes ingredientes necessários a produção de ração, alguns podem ser obtidos diretamente da destilaria como subprodutos (Bagaço in natura e Levedura úmida) ou subprodutos processados (Bagaço hidrolisado). Já os ingredientes de produção agrícola podem ser obtidos durante as épocas de reforma do canavial (Milho grão e Farelo de Soja). O melaço pode ser adquirido de uma usina próxima ou substituído por outra opção, conforme descrito mais adiante.

A fábrica de ração de uma destilaria trabalha tipicamente durante 180 dias, muitas vezes sincronizado com o período de seca nas pastagens.

O uso do bagaço para ração diminui o potencial de geração de excedentes no sistema de condensação/extração, mas que não afetaria no caso de cogeração pura. Na destilaria padrão adotada, a produção de bagaço úmido é de 280 kg / tonelada de cana processada, resultando em 560.000 toneladas por ano. O consumo de bagaço para produção de ração depende do excesso do mesmo e, em geral, este valor não deve ultrapassar 5% do volume total produzido. Considerando este limite, é possível disponibilizar 28.000 toneladas de bagaço (tanto in natura quanto hidrolisado) para a produção de ração. Consideradas as formulações acima, é possível sustentar uma média de 12.130 cabeças em confinamento durante o período de 180 dias ou 19.450 cabeças em pastagem com suplementação (considerando o consumo de 8 kg/cabeça de gado).

A produção de etanol a partir da cana-de-açúcar, passa por uma etapa de fermentação do caldo (já tratado) para a produção do vinho final. Durante este processo, a utilização de fermento gera um acúmulo de células de levedura devido ao crescimento celular, um fenômeno naturalmente associado à produção do etanol.

Para evitar um acúmulo excessivo deste material, o que pode gerar desequilíbrios operacionais no processo de fermentação e, conseqüentemente, uma menor eficiência / rendimento da destilaria, um processo de sangria (retirada) da levedura pode ser realizado.

A utilização desta levedura pode variar, porém, dado o seu alto valor protéico, a opção pela utilização na composição de ração para confinamento (conforme apresentado acima) é considerada viável. Sem prejudicar o processo de

fermentação, é possível retirar até 100 gramas de levedura úmida (70% de umidade) / litro de etanol produzido (ROCHA 2008), um potencial de 17.000 toneladas por safra, considerando a produção de 170.000.000 litros da destilaria padrão. Dada a composição definida acima, é possível suprir até 19.310 cabeças de gado / dia pelo período de 180 dias de funcionamento do confinamento.

A reforma anual do canavial de destilarias acontece em cerca de 15% da área total disponível. Considerando a destilaria padrão, com cerca de 28.000 hectares disponíveis, significa um total de 4.200 hectares de terras anuais. Decorrente das épocas de corte e de plantio da cana, não é possível aproveitar 100% da área de reforma com culturas anuais de grãos. Estima-se que somente cerca de 60% destas áreas (2.520 hectares) estão disponíveis na épocas recomendadas de plantio das culturas de milho precoce, soja precoce e amendoim. Os outros 40% podem ser utilizados com culturas de adubação verde, como crotalária, guandu e outros.

Para o modelo de produção de ração, pode-se considerar uma divisão de 59% das terras (1.487 hectares) para o plantio de milho e 41% (1.033 hectares) para o plantio de soja. Considerando-se níveis produtivos de 6.600 kg / hectare e 3.600 kg / hectare para milho e soja respectivamente, temos um potencial anual de produção de 9.814 toneladas de milho e 3.719 toneladas de soja. Devido a extração do óleo da soja, isto resulta num total de 3.050 toneladas de farelo de soja (utilizado na ração), enquanto que não há perda na transformação de milho em grão de milho.

Na composição da ração apresentada acima, o melaço é utilizado como fonte energética. Porém, por se tratar de uma destilaria, não há produção de melaço. Considerando os valores nutricionais do melaço, este pode ser substituído por grão de milho na proporção 1:1 sem perda de desempenho da ração. Feitas estas considerações, chegamos num consumo de 2,92 kg / cabeças de gado para milho e 0,91 kg / cabeça de gado para farelo de soja, o que resulta num potencial de produção de ração para sustentar 18.600 cabeças de gado em confinamento.

Dados todos os elementos envolvidos no processo de produção de ração, foi determinado que o limitante para capacidade de confinamento é dado pela utilização máxima de 5% de bagaço, restringindo o número de bovinos confinados e com suplementação alimentar em pasto em 12.130 cabeças de gado / dia e em 19.450 cabeças de gado / dia, respectivamente, ao longo do período de 180 dias de funcionamento da fábrica de ração.

Resultados

O modelo matemático, descrito na seção 2.2.4, foi utilizado para determinar os indicadores da pecuária antes e depois da integração com a destilaria. Um horizonte de 108 meses (9 anos) foi usado para gerar o plano de manejo. Os valores de compra de bezerros (12 meses – 180 kg) e venda de boi gordo seguem os valores da CEPEA para São Paulo, entre 2000 e 2008. Os custos envolvendo os manejos disponíveis foram obtidos do ANUALPEC (2009).

O plano de manejo integrado propõem uma ocupação média de 76% da disponibilidade do confinamento e a utilização da ração, através da suplementação alimentar ou confinamento, em 47,4% dos bovinos criados no horizonte de planejamento.

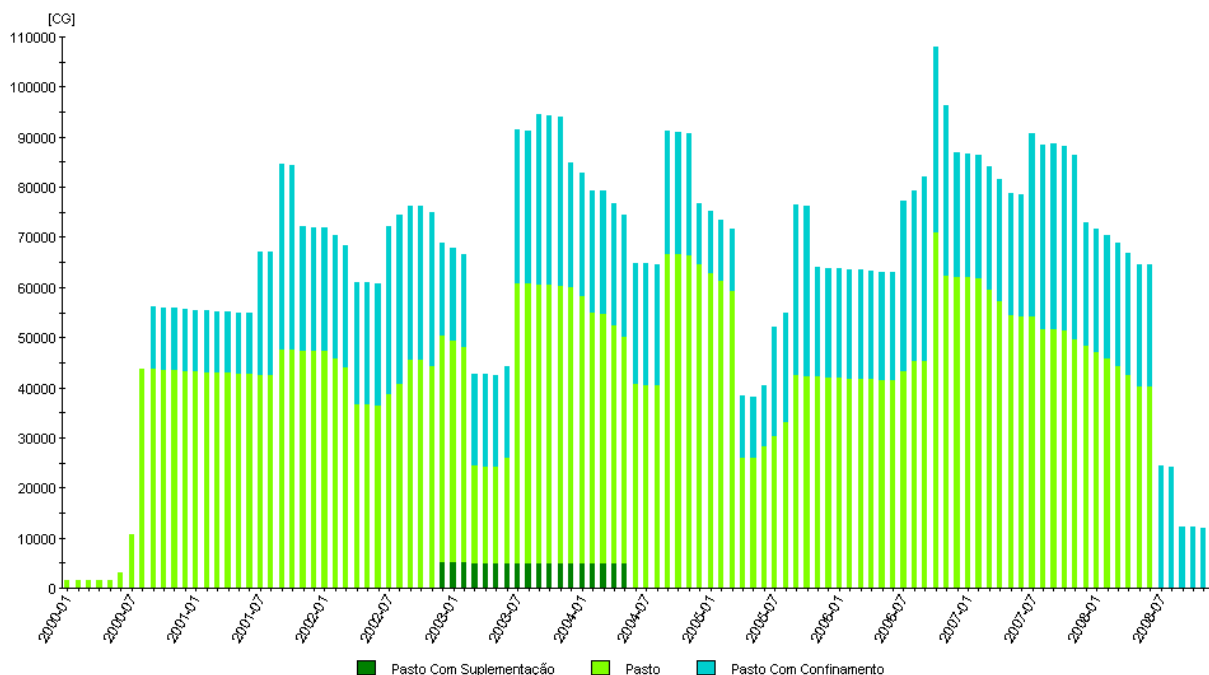


Figura 23: Evolução do Manejo de Bovinos

Os resultados apresentados na tabela abaixo evidenciam que é possível manter e até incrementar a produção de carne original com a integração proposta, passando dos 18.663 toneladas / ano da pecuária extensiva para 19.324 ton / ano com a integração, mesmo com a redução da área disponível para pasto (de 100.000 ha para 70.000 ha). Este resultado é possível devido ao encurtamento do ciclo de recria-engorda que, na pecuária tradicional, apresentou um tempo médio de 24,6 meses, enquanto que, com a integração, sua média foi reduzida para 20,4 meses.

Estes resultados também tiveram um grande impacto sobre os indicadores ponderados pela área disponível. Mesmo sem considerar técnicas avançadas de adubação do pasto, a taxa média de ocupação do pasto cresceu de 0,67 U.A. / ha para 0,74 U.A. / ha. A produção de carne por hectare teve um crescimento superior aos 43%, condição necessária para a manutenção e até expansão da produção de carne anual, passando dos 186,6 kg / ha da pecuária tradicional para 268,4 kg / ha com a integração. Considerando os fatores econômicos, a rentabilidade média por hectare (total de receitas – custos) sofreu um reajuste positivo de 23%, tornando a atividade pecuária mais rentável e, conseqüentemente, mais resistente à expansão de outras atividades agrícolas, impedindo seu deslocamento no território brasileiro.

Tabela 37: Indicadores Pecuários antes e após integração

Indicadores*	Tradicional	Integrado
Área de Pasto (ha)	100.000	72.000
Capacidade Confinado (c.g)	0	12.130
Capacidade Suplementação (c.g)	0	19.450
Ocupação Média (U.A./ha)	0,67	0,74
Produção de Carne Anual (ton)	18.663	19.324
Produção de Carne Média (kg/ha)	186,6	268,4
Rentabilidade Média (R\$/ha)	118,13	145,43

Idade Média de Abate (Meses)	36,6	32,4
% de Manejo Tradicional	100%	52,6%

* Considerando os períodos de rebanho estabilizado.

Com a disponibilidade de bagaço avaliada (5% da produção anual da destilaria), não foi possível aplicar um manejo tecnificado para todo o rebanho bovino (apenas 47,4%). A disponibilidade de bagaço para uso na fábrica de ração pode variar significativamente de uma usina para outra, dada as tecnologias empregadas no sistema de cogeração. Para avaliar os potenciais de ganhos com uma maior disponibilização de bagaço, foi simulado situação semelhante com valores de 1% até 10% de bagaço total disponibilizado.

Tabela 38: Indicadores X Disponibilidade de Bagaço

Item	1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%	9%	10%
Bagaço disponível (%)	1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%	9%	10%
Área de Pasto (há)	72.000	72.000	72.000	72.000	72.000	72.000	72.000	72.000	72.000	72.000
Capacidade Confinado (c.g)	2.425	4.850	7.275	9.699	12.130	14.549	16.974	18.600*	18.600*	18.600*
Capacidade Suplementação (c.g)	3.889	7.778	11.667	15.556	19.450	23.333	27.222	31.111	35.000	38.889
Ocupação Média (U.A./ha)	0,68	0,69	0,71	0,72	0,74	0,76	0,78	0,79	0,79	0,80
Produção de Carne Anual (ton)	14.444	15.450	16.537	17.929	19.325	20.714	22.089	23.104	23.104	23.115
Produção de Carne Média (kg/ha)	200,62	214,58	229,68	249,01	268,40	287,69	306,79	320,89	320,89	321,05
Rentabilidade Média (R\$/ha)	123,69	129,21	134,66	140,04	145,43	150,73	155,97	159,45	159,45	159,45
Idade Média de Abate (meses)	34,49	33,70	32,95	32,14	31,44	30,83	30,29	30,00	30,00	30,01
% de Manejo Tradicional	87,75	76,88	67,45	59,52	52,65	46,67	41,34	38,35	38,35	38,36

* O limitante se dá pela disponibilidade de grãos e não pelo bagaço nestes anos.

Mesmo com baixa disponibilidade de bagaço, houve incremento nos indicadores da pecuária. No entanto, para manter ou incrementar a oferta de carne atualmente disponível na região, existe a necessidade de 5% do bagaço para a fábrica de ração. A partir de níveis mais elevados de disponibilidade (8% ou mais) há pouca variação nos indicadores, pois o gargalo para o confinamento se dá pela falta de grãos e não pela falta de bagaço.

Considerando as condições mais favoráveis (10% do bagaço disponível para ração), é possível atingir um nível de produção anual de carne 23% acima da produção original.

Produção de dejetos bovinos em confinamento

Define-se como dejetos o conjunto de fezes, urina, água desperdiçada dos bebedouros, e resíduos de ração, resultantes do processo de criação. A produção diária de esterco (fezes + urina) dos bovinos é aproximadamente 10% de seu peso corporal (comunicação pessoal Eng. Agro. Manfred - Boviplan). Nos bovinos de corte confinados produzem em torno de 30 a 35 kg/cabeça/dia.

Estimou-se então a produção de dejetos gerados na integração destilaria – pecuária. Para efeito de cálculo utilizou-se média de 32,5 kg/cabeça/dia pelo período de 180. Sabendo-se que o potencial máximo de bovinos confinados nesse período é de 12.130 cabeças. Isso resulta em uma produção de esterco líquido de 70.960 toneladas com densidade de 1,02 kg.m⁻³ (também chamado de estrume), tendo em média aproximadamente 4,6% de matéria seca (Comissão de fertilidade do solo – RS/SC, 1994).

Manejo dos dejetos Bovinos

No confinamento de bovinos é gerado um volume considerável de dejetos diariamente. O manejo inadequado desses dejetos, os quais são ricos em matéria-orgânica e agentes patogênicos, pode ser responsável pela poluição de águas superficiais e subterrâneas, devido ao carreamento desse material pela ação das chuvas.

Na prática, o esterco sólido é recolhido dos currais no término de cada ciclo de engorda, empurrado para fora e posteriormente encaminhado para a uma esterqueira. O líquido produzido durante o confinamento, em muitas vezes em ocorrência de chuva, geralmente no início (março, abril) ou término (outubro, novembro) do período de confinamento, ocorre o escoamento superficial de estrume no solo carreado pelas águas pluviais. Esse resíduo é direcionado por canaletas de alvenarias ou valas, seguindo por tubulações até o sistema de tratamento de resíduos líquidos (Biodigestor ou lagoas de decantação/estabilizadora).

Na esterqueira o esterco sólido pode receber uma quantidade de bagaço com a finalidade de melhorar o manuseio da pilha de esterco para sua estabilização na compostagem, antes de ser utilizados como adubo orgânico. A compostagem é um processo de fermentação aeróbio que reduz a carga orgânica nociva dos resíduos sólidos, tornando-os mais estáveis quimicamente. A eficiência da estabilização depende da relação entre o carbono e o nitrogênio (C:N) dos resíduos (25:1 a 30:1), bem como da umidade dos mesmos, que deve ser em torno de 55 a 60% (Souza et al.,2001). Durante esse processo é produzido o chorume que também pode ser responsável pela poluição de águas superficiais e subterrâneas. O recolhimento deste líquido é recomendado para o uso como adubo orgânico líquido na fertirrigação.

Produção de Biogás

Uma maneira antiga e racional de aproveitar os dejetos líquidos (< 2% sólidos em suspensão) ou de dejetos pastosos a sólidos (3 a 70% de sólidos) produzidos no confinamento bovino é a geração de biogás. O biogás é um produto resultante de uma biodigestão anaeróbica com quatro fases distintas (Hidrólise; Acidogênese; Acetogênese; Metanogênese), e sua composição básica para dejetos animais é: Metano (50-70%), CO₂ (30-40%), H₂S (400 a 600 ppm); NH₃ (traços); e H₂O saturada (Oliveira & Higashiri, 2006; Kunz & Oliveira, 2008).

A produção diária de biogás varia em função dos sólidos voláteis (SV), tempo de retenção hidráulica (TRH); temperatura e o volume de dejetos. O grau de diluição dos dejetos, pode ser determinado pela observação da Matéria Seca (MS) e/ou Sólidos Totais (ST) presentes nos dejetos, sendo que os sólidos voláteis, que são os substratos para as bactérias metanogênicas, representam ao redor de 80% dos sólidos totais nos dejetos bovinos. (Comastri Filho, 1981; Oliveira & Higarashi, 2006). Os sólidos voláteis são os responsáveis diretos pela produção de biogás (Lucas Junior, 1994; Sanchez et al., 2005). Sendo que, quanto maior for a concentração de sólidos voláteis na alimentação diária do biodigestor (kg/m³), maior será a capacidade do biodigestor de produção de biogás. Em média, cada kg de sólido volátil na biomassa é transformado em 0,35m³ de biogás com 0,25 m³ de metano. A velocidade de transformação é influenciada pela temperatura da biomassa e o tempo de retenção hidráulica (Oliveira & Higarashi, 2006).

De acordo com os parâmetros técnicos apresentados acima foi estimado o potencial de biogás gerado a partir da produção total de esterco líquido de 70.960 toneladas (4,6% MS) das 12.130 cabeças no período de 180 dias. Então,

$$70.960 \text{ t} \times 4,6\% = 3.264,16 \text{ t de sólido total}$$

Sendo que 80% deste sólido total são transformados em sólidos voláteis (2.611.328kg) no processo de biodigestão. Se cada kg de sólido volátil na biomassa é transformado em 0,35m³ de biogás, tem se 913.964 m³ de biogás.

E a geração posterior de energia elétrica é função do grau de pureza do gás obtido. Segundo os autores Casagrande (2003) e Lucas Jr. e Silva (2005), um metro cúbico de biogás pode gerar 1,428 kWh de energia elétrica, equivalente a 0,70 m³ de gás para 1 kWh. Então com 913,9 mil m³ de biogás produzidos pode gerar 1.305 MWh de energia elétrica.

Produção de Biofertilizantes

Com a totalidade da produção de esterco líquido 70.960 toneladas (4,6% MS) destinada a aplicação de biofertilizante no solo, teria-se o seguinte retorno de nutrientes ao solo:

Tabela 39: Retorno de nutrientes ao solo

Macro-nutrientes	Qtd. de nutrientes	Liberação dos nutrientes aplicados na forma orgânica para a forma mineral, em cultivos sucessivos. *		
		1º Cultivo	2º Cultivo	3º Cultivo
Nitrogênio (N) (1,5% da MS)	49,0 t	24,5 t (50%)	9,8 t (20%)	4,9 t (10%)
Fósforo (P ₂ O ₂) (1,4% da MS)	45,7 t	27,4 t (60%)	9,2 t (20%)	9,2 (20%)
Potássio (K ₂ O) (1,5% da MS)	49,0 t	49,0 t (100%)	-	-
Retorno Financeiro(US\$)**		97.879	23.452	17.719

* Fontes: RIBEIRO, A.C. et al. Recomendações de adubação e calagem para o estado de Minas Gerais. 5 aproximação. Viçosa, CFSEMG, 1999. 359p. Comissão de Fertilidade de solo – RS/SC, Recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, 3 ed. Passo Fundo, 1994, 224p.

** Scot Consultoria [<http://www.rehagro.com.br/siterehagro/interna/include/fertilizantes.html>], com base nestes valores: Nitrogênio 1,17 US\$ / kg N (base Uréia 44%); Fósforo 1,31 US\$ / kg P₂O₅ (base MAP 48%); Potássio 0,68 US\$ / kg K₂O (base Cloreto de Potássio 60%).

É interessante dizer que os nutrientes que retornam ao solo não são somente originários do bagaço de cana-de-açúcar, mas também do milho, do farelo de soja, das leveduras e outros insumos que compõem a ração animal. Pode-se dizer que estes saíram das culturas produzidas nesta área de 28 mil hectares e irão retornar ao solo para ser novamente absorvido pelas plantas cultivadas. Esse retorno representa, por hectare, 1,75 kg de nitrogênio, 1,63 kg de fósforo e 1,75 kg de potássio. Em termos de absoluto esses valores podem ser pequenos se comparados as exigências nutricionais de NPK da cultura da cana-de-açúcar, porém o efeito biológico e físico no solo deste biofertilizantes pode ser significativo ao sistema de produção.

Caso prático – Usina Vale do Rosário

A usina Vale do Rosário do Grupo Santelisavale dispõe de uma área de confinamento de bois e uma fábrica de rações conjugada com a produção de bagaço hidrolisado. Esta iniciativa da Vale do Rosário já dura 22 anos, sendo em si um negócio rentável.

Outra vantagem importante desta atividade é a relação de fidelização com os fornecedores de cana. Localizada na região de Orlândia, onde existe uma grande concorrência pela aquisição de cana-de-açúcar, os proprietários de terra dispõem de alternativas de negócios, o que pode resultar em diminuição do suprimento de cana para a usina. A tradição de muitos desses fornecedores com atividades de pecuária é estimulada pela usina através do fornecimento de rações produzidas com bagaço hidrolisado úmido, bagaço in natura e outros ingredientes, inclusive soja e milho produzidos nos intervalos de reforma. A usina processa cerca de 6Mt/ano de cana, dispõe de um “boitel” com capacidade de engorda de mais de 20.000 cabeças de gado, a qual é utilizada pelos fornecedores de cana e outros pecuaristas. Esses fornecedores também utilizam rações para suplemento de seus pastos nas fases de recria. Há também demanda de rações para criadores de cavalos, ovinos etc.

2.2.3 A integração da cana-de-açúcar com a produção anual de grãos

Assim como a lavoura de cana-de-açúcar vem ocupando as áreas de pastagens, ela também exerce essa ocupação nas áreas de produção de grãos. A maior ocupação ocorre na região do Centro-Oeste nos estados de Goiás e Mato Grosso do Sul.

Entretanto, existe a possibilidade de integrar essas duas atividades num ambiente agrícola. Visto que é possível intercalar a cana-de-açúcar com uma cultura anual via plantio direto no período da reforma do canavial.

A produtividade do canavial tende a diminuir ficando anti-econômica a partir do quinto ou sexto ano de plantio, necessitando de uma “reforma” (Figura 24). Geralmente essa reforma é necessária para correção do solo e introdução de novas variedades de cana.

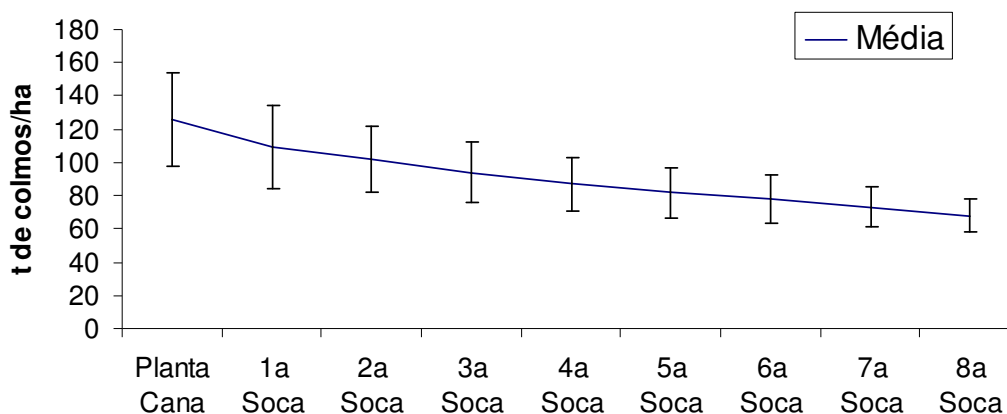


Figura 24: Curva de Produtividade de colmo das Cultivares (Fonte: FNP, 2006)

Nas safras 2003/04 e 2004/05 foram destinados para reforma, respectivamente 431 e 275 mil ha de canaviais, de acordo com imagens de satélite (Rudorff et al., 2004; CANASAT, 2006), os quais estariam potencialmente disponíveis para o cultivo de espécies anuais com propósito de produção de grãos ou adubação verde.

No Brasil, é crescente o número de canaviais sendo colhidos sem queima prévia, sistema conhecido como cana crua, no qual cerca de 15 Mg de matéria seca permanece depositada sobre a superfície do solo após a colheita (Resende et al., 2006). Nesta condição, os custos referentes ao preparo de solo, para a cultura subsequente, são substancialmente aumentados, demandando a adoção de sistemas conservacionistas de manejo, tais como cultivo mínimo e sistema plantio direto.

A recomendação técnica de renovação dos canaviais sugere que após a colheita cana-crua estabelece-se uma ou duas culturas anuais. De preferência espécies leguminosas ou oleaginosas (soja, amendoim, girassol, mucuna, crotalária), procurando, além do fornecimento de nitrogênio atmosférico, melhorias nas propriedades físicas e biológicas do solo (Tanimoto, 2002).

De acordo com o Tanimoto & Bolonhezi (2002), as principais vantagens para os plantadores de soja são: o aumento da produtividade (25% em média, potencial de 4500 kg.ha⁻¹), menor risco em períodos de seca (8-10% mais de água no solo) e redução de custo de produção (32%). Atualmente com as cultivares de soja RR, mais de 500 combinações de herbicidas podem ser substituídas pelo glifosato, conferindo enorme praticidade e eficiência no controle de plantas daninhas de difícil controle (*Cynodon dactylon*, *Cyperus* spp. *Ipomeae* spp.) (Bolonhezi, 2007a).

Tanimoto (2002) sugere diversas opções de seqüências de culturas para formar a rotação em áreas de plantio de cana-de-açúcar (Quadro 1). Entretanto, o autor diz que o sucesso da adoção de rotação de culturas depende de um planejamento das espécies e cultivares a serem utilizados, devendo sempre compatibilizar a produção de grãos, biomassa e maior tempo de cobertura.

Quadro 1: Sugestão de rotação de culturas em áreas de plantio de cana

Período	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Rotação
1 ano	Colheita da Cana			Soja Semi-precoce				Plantio da cana			1 ano		
1 ano	Colheita da Cana				Amendoim					Plantio cana	1 ano		
1 ano	Colheita da Cana		Crotalária		Soja precoce			Plantio cana			1 ano		
2 anos	Colheita da Cana		Crotalária		Milho superprecoce			Crotalária			2 anos		
	Crotalária Semente		Amendoim				Plantio de Cana						
2 anos	Colheita de Cana		Crotalária		Milho precoce				Giras-	2 anos			
	Girassol			Crotalária			Plantio de Cana						
2 anos	Colheita da Cana		Milho precoce					Crotalária			2 anos		
	Crotalária Semente		Soja				Plantio de cana						
1 ano	Colheita da Cana	Crotalária			Plantio de cana de ano						1 ano		

Fonte: Tanimoto, 2002

Decorrente do que foi dito acima, a integração entre a cana-de-açúcar e a culturas anuais é possível e viável, pois vai de encontro com os princípios de desenvolvimento agrícola sustentável. Entretanto, essa integração necessita além de ferramentas de planejamento e análises, maiores conhecimentos científicos no que diz respeito ao zoneamento agrícola e de variedades de ciclo curto de soja, milho e amendoim para compor a rotação de cultura com a cana, adaptadas aos novos ambientes, principalmente para as áreas do noroeste do estado de São Paulo e Centro-Oeste do Brasil.

2.2.4 Modelo Matemático para Manejo Bovino

2.2.4.1 Descrição

Um modelo matemático, baseado em Programação Linear, foi desenvolvido para representar o manejo do produtor bovino de recria e engorda. Este modelo tem como objetivo definir o melhor manejo possível para lotes disponíveis numa área pré-determinada, de acordo com custos de aquisição de bezerros e o seu manejo, preço de venda do boi gordo, curvas de crescimento, taxas de capacidade, mortalidade entre outros.

Através deste modelo é possível personalizar os valores destes parâmetros para as diversas regiões do Brasil, possibilitando assim investigar o potencial de produção de carne ótimo.

Além disso, o modelo matemático permite estimar os potenciais de ganho com a utilização de técnicas de manejo mais avançadas como, por exemplo, a utilização de confinamento para engorda ou a suplementação do bovino no pasto.

Ainda mais, existe a possibilidade de extensão deste modelo para incorporar outros aspectos do manejo pecuário como, por exemplo, intervenções no pasto para aumentar o número de unidades animais (o equivalente a um animal de 450 kg) por hectare.

Parâmetros usados no modelo

$TotalPeriodos$ = Total de Períodos disponíveis para planejamento.

$p \in P = \{1..TotalPeriodos\}$ = Conjunto de períodos p (meses) disponíveis.

$PR \subset P$ = Subconjunto de períodos pr (meses) em que há produção de ração para suplementação em pasto ou confinamento.

$m \in M = \{'Pasto', 'Pasto + Confinamento', 'Pasto + Suplementação'\}$ = Possíveis manejos dos animais.

$l \in L = \{'Pasto', 'Confinamento'\}$ = Possíveis locais para o manejo dos animais.

DP_p = Disponibilidade de pasto num período p dado em U.A. (equivalente a um animal de 450 kg).

$C_{p1,p2,p,m}$ = Peso médio do animal no período p , sendo este adquirido em $p1$, vendido em $p2$ e manejado de acordo com m .

$M_{p1,p2}$ = Taxa de mortalidade total de animais no mês $p2$ adquiridos no período $p1$.

$ML_{p1,p2,p,m,l}$ = Tem valor 1 caso o manejo m no período p ocupa o local l para animais adquiridos em $p1$ e vendidos em $p2$. Caso contrário vale 0.

$SupMax_{pr}$ = Quantidade máxima de animais em manejo 'Pasto+Suplementação' dado a disponibilidade máxima de produção de ração para suplementação no período pr .

$ConfMax_{pr}$ = Quantidade máxima de animais em local 'Confinamento' dado a disponibilidade máxima de produção de ração para confinamento no período pr .

$TMin_m$ = Número de períodos mínimo para o manejo m .

$TMax_m$ = Número de períodos máximo para o manejo m .

$PMin$ = Peso (em kg) mínimo para venda de animais.

$CMan_{p,m}$ = Custo mensal (em R\$/C.G.) de manejo m de animais no período p .

$CLoc_{p,l}$ = Custo mensal (em R\$/C.G.) de manter animais em local l no período p .

PV_p = Preço de venda (R\$/@) do animal no período p .

$Carc$ = Quantidade (em % de peso) de carcaça paga pela venda do animal.

$CBez_p$ = Custo de compra de bezerro (R\$/C.G.) no período p.

Variáveis de decisão

$X_{p1,p2,m}$ = Manejo m de animais adquiridos no mês p1 e vendidos no mês p2. A diferença entre p1 e p2 deve respeitar os limitantes de $TMin_m$ e $TMax_m$. Esta diferença também deve garantir que o animal vendido em p2 respeite o $PMin$ definido. Logo, p1 e p2 são restritos as condições: $p2 - p1 + 1 \geq TMin_m$, $p2 - p1 + 1 \leq TMax_m$ e $C_{p1,p2,p2,m} \geq PMin$.

$Y_{p,l}$ = Quantidade (em kg) de animais no local l no período p.

$Z_{p,m}$ = Animais em manejo m no período p.

$W_{p,l}$ = Animais no local l no período p.

Restrições

Define a quantidade (em kg) de animais em um local l num determinado período p.

$$Y_{p,l} = \sum_{p1 \leq p \leq p2} X_{p1,p2,m} \times C_{p1,p2,p,m} \times (100\% - M_{p1,p}) \times ML_{p1,p2,p,m,l}$$

Define o número de animais em um local l num determinado período p.

$$W_{p,l} = \sum_{p1 \leq p \leq p2} X_{p1,p2,m} \times (100\% - M_{p1,p}) \times ML_{p1,p2,p,m,l}$$

Define o número de animais em um manejo m num determinado período p.

$$Z_{p,m} = \sum_{p1 \leq p \leq p2} X_{p1,p2,m} \times (100\% - M_{p1,p})$$

Limita o número de animais em pasto a cada período p.

$$Y_{p,'Pasto'} \leq DP_p \times 450kg$$

Limita o número de animais em confinamento ou manejados através de 'Pasto+Suplementação' nos períodos pr de produção de ração.

$$\frac{Z_{pr,'Pasto+Suplementação'}}{SupMax_{pr}} + \frac{W_{pr,'Confinamento'}}{ConfMax_{pr}} \leq 1$$

Impede o confinamento de animais durante períodos $p \notin PR$ em que não há produção de ração para confinamento.

$$W_{p,'Confinamento'} = 0$$

Função Objetivo

$$\max \sum_{p1,p2,m} X_{p1,p2,m} \times C_{p1,p2,p2,m} \times (100\% - M_{p1,p2}) \times PV_{p2} \times Carc - \sum_{p1,p2,m} X_{p1,p2,m} \times CBez_{p1} \\ - \sum_{p,l} W_{p,l} \times CLoc_{p,l} - \sum_{p,m} Z_{p,m} \times CMan_{p,m}$$

O objetivo deste modelo matemático é buscar o maior retorno ao longo do horizonte de planejamento. Desta maneira, deve se maximizar a margem, ou seja, Receita – Custos. A receita é gerada a partir da venda de bovinos, enquanto que os custos estão contemplados na aquisição de bezerros e nos custos mensais devido ao manejo de um animal e/ou devido ao local onde se encontra o animal.

2.2.5 Comentários Finais

A integração da produção sucroalcooleira com atividades de agropecuária tem ocorrido já há alguns anos, como demonstra a iniciativa da Usina Vale do Rosário comentada brevemente na seção 2.2.2, indicando possível expansão da produção do bioetanol em áreas de pastagens com preservação de parte dessas áreas para pastagens. A demonstração de que esta expansão pode ser feita sem a redução da produção de carne bovina é tratada neste trabalho com um formalismo matemático de Programação Linear, uma vez o modelo de otimização daí obtido potencializa estudos mais abrangentes com representação ao longo do tempo de relações de produção e de comercialização com condicionantes da estrutura produtiva das usinas e da atividade de agropecuária. Para efeito deste projeto foram efetuados estudos de vários cenários, como indica a Tabela 38, definidos por diferentes disponibilidades de bagaço para produção de rações para suplementação da alimentação do gado no pasto e para engorda no confinamento. Uma visão mais completa desses cenários é disponível com os seus processamentos no sistema desenvolvido, que consiste de uma implementação do modelo matemático apresentado na Seção 2.2.4 feita com a linguagem algébrica AIMMS - Advanced Integrated Multidimensional Modeling Software. Outra vantagem desta implementação é o potencial de seu desdobramento para estudos mais complexos com representações detalhadas das interações resultantes do aproveitamento do biogás e adubos obtidos com os dejetos dos bois, e de reformas associadas com rotação de culturas.

2.3 Apreciação da integração da produção em grande escala de bioeletricidade e de insumos industriais no sistema produtivo açúcar – álcool tradicional²¹

2.3.1 Análise de Custo Energético do processo de produção de energia elétrica, açúcar e etanol

A produção de açúcar e etanol a partir da cana-de-açúcar no Brasil compõe um dos setores mais importantes da economia nacional e tem se caracterizado, ao longo de sua história, pelo alto consumo de energia no processo industrial.

Atualmente o bagaço de cana é utilizado como fonte de energia para o processo produtivo, sendo consumido nos sistemas de cogeração das usinas e destilarias.

²¹ Pesquisador responsável: Sílvia Azucena Nebra.

Embora praticamente todas as unidades de produção do setor sucroalcooleiro sejam auto-suficientes em termos de energia graças ao uso deste como combustível, o seu uso de maneira eficiente tem proporcionado aos produtores o aumento da geração de excedentes de eletricidade, que se tornaram mais um produto da usina, sendo comercializada na rede elétrica.

Este trabalho visa à avaliação dos custos de produção de energia elétrica, açúcar e etanol em base energética. Uma adaptação da Teoria do Custo Exergético de Lozano e Valero (1993) foi utilizada. Esta teoria, por sua vez, tem uma base similar à metodologia de avaliação *insumo – produto* proposta por Leontief (1986). Uma breve introdução à mesma é dada no final deste item.

A obtenção dos parâmetros correspondentes às plantas sucroalcooleiras analisadas foi feita através de uma simulação numérica das mesmas, baseada em informações obtidas na literatura e em campo. O detalhamento deste procedimento pode ser encontrado em Ensinas (2008).

São analisados dois casos, o primeiro considera uma usina com sistema de cogeração com parâmetros de vapor vivo de 22bar e 300°C (configuração encontrada mais freqüentemente no setor sucroalcooleiro) e o segundo considera um sistema de cogeração com parâmetro de vapor *vivo* de 67bar e 500°C. Estes dois casos foram selecionados com o objetivo de mostrar as duas situações industriais mais comuns.

Os dois casos analisados correspondem à mesma produção. Foi assumida uma moenda de 500 t cana/h e um consumo de vapor de 456 kg vapor/t cana (228 t vapor/h).

A tecnologia de cogeração que utiliza vapor a 22 bar e 300°C corresponde à utilizada desde os anos 1980, ainda em operação na maioria das usinas. A que utiliza vapor a 67 bar e 500°C corresponde à que está sendo implantada nos casos de usinas novas, ampliações ou substituição de equipamentos.

A planta de produção analisada é a mesma nos dois casos. Pode ser considerado que ela inclui quase todas as melhores práticas e valores de eficiência encontráveis atualmente no setor. Foi considerado um consumo de vapor de 456 kg/t cana. Foi também considerado um sistema de evaporação de 5 efeitos. Foi suposta também uma eficiência de conversão na fermentação de 89%.

A metodologia desenvolvida, que será apresentada ao longo deste item, visa responder à questão: quanto da energia contida na cana- de- açúcar foi necessário utilizar para obter cada um dos produtos da usina?

2.3.1.1 Custo energético

Para apresentar conceitualmente a metodologia utilizada, optou-se inicialmente por fazer uma análise global do sistema, considerando apenas um volume de controle que contém a fábrica toda. Assim, a Figura 25 mostra a planta de produção de açúcar e etanol com os insumos e produtos respectivos. Na Tabela 40 são apresentadas as definições dos fluxos considerados nesta análise.

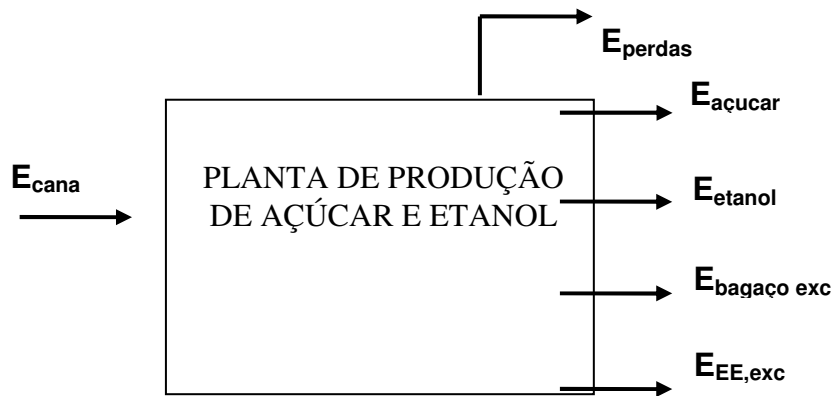


Figura 25: Esquema dos fluxos energéticos de entrada e saída no volume de controle global

Tabela 40: Fluxos considerados na análise do volume de controle global

Símbolo	Descrição	Equação
E_{cana}	Energia contida na cana-de-açúcar que entra na planta	$E_{cana} = m_{cana} \cdot PCI_{cana}$
$E_{açúcar}$	Energia contida no açúcar produzido	$E_{açúcar} = m_{açúcar} \cdot X_{sacarose} \cdot PCI_{sacarose}$
E_{etanol}	Energia contida no etanol produzido	$E_{etanol} = m_{etanol} \cdot X_{etanol} \cdot PCI_{etanol}$
$E_{bagaço\ exc}$	Energia contida no bagaço excedente	$E_{bagaço\ exc} = m_{bagaço\ exc} \cdot PCI_{bagaço,\ úmido}$
$E_{EE,exc}$	Energia elétrica excedente	-
E_{perdas}	Perdas energéticas no processo	-

Fazendo um balanço de energia no volume de controle global tem-se:

$$E_{cana} = E_{açúcar} + E_{etanol} + E_{bagaço\ exc} + E_{EE,exc} + E_{perdas} \quad (1)$$

Considerando como produtos úteis a açúcar, o etanol, o bagaço excedente e a eletricidade excedente; e como insumo, a energia contida na cana-de-açúcar, poder-se-ia distribuir a energia total e as E_{perdas} entre os produtos úteis e identificando assim a quantidade de energia da cana-de-açúcar que é destinada a cada um destes produtos. Assim pode ser escrita a equação 2:

$$E_{cana} = E^*_{açúcar} + E^*_{etanol} + E^*_{bagaço\ exc} + E^*_{EE,exc} \quad (2)$$

Onde as quantidade $E^*_{açúcar}$, E^*_{etanol} , $E^*_{bagaço\ exc}$ e $E^*_{EE,exc}$ se definem como custos energéticos e estão em unidades de energia. É importante perceber que:

$$E^*_{açúcar} > E_{açúcar}$$

$$E^*_{etanol} > E_{etanol}$$

$$E^*_{bagaço\ exc} > E_{bagaço\ exc}$$

$$E^*_{EE,exc} > E_{EE,exc}$$

Considerando que o custo energético da cana é igual à energia da cana $E_{cana} = E^*_{cana}$, a equação 2 pode-se escrever da seguinte maneira:

$$E^*_{cana} = E^*_{açúcar} + E^*_{etanol} + E^*_{bagaço\ exc} + E^*_{EE,exc} \quad (3)$$

Na Teoria do Custo Exergético, o sistema de produção é subdividido em unidades menores, cada uma das quais é avaliada como um "centro de custos energéticos", formulando assim uma equação de balanço para cada unidade do sistema. Na análise de Custo Energético Global, (Eq. 3) está sendo feito o mesmo tratamento para o sistema todo.

A seguinte nomenclatura será utilizada no restante do trabalho:

$$k_{açúcar} = E^*_{açúcar} / E_{açúcar}$$

$$k_{etanol} = E^*_{etanol} / E_{etanol}$$

$$k_{bagaço\ exc} = E^*_{bagaço\ exc} / E_{bagaço\ exc}$$

$$k_{EE,exc} = E^*_{EE,exc} / E_{EE,exc}$$

Onde: $k_{açúcar}$, k_{etanol} , $k_{bagaço\ exc}$ e $k_{EE,exc}$ são os custos energéticos unitários do açúcar, do etanol, do bagaço excedente e da eletricidade excedente. O custo energético unitário indica a quantidade de unidades energéticas necessárias para produzir uma unidade energética do fluxo em consideração. Finalmente a equação 3 pode ser escrita da seguinte maneira:

$$k_{cana} \cdot E_{cana} = k_{açúcar} \cdot E_{açúcar} + k_{etanol} \cdot E_{etanol} + k_{bagaço\ exc} \cdot E_{bagaço\ exc} + k_{EE,exc} \cdot E_{EE,exc} \quad (4)$$

Onde adota-se $k_{cana} = 1$. (insumo externo).

Assim, com a finalidade de encontrar os custos energéticos do açúcar, do etanol, do bagaço excedente e da eletricidade excedente, o volume de controle global (planta de produção de açúcar e etanol) é dividido em 8 subsistemas nos quais é realizado o balanço de custos identificando os produtos e insumos energéticos de cada subsistema.

Os subsistemas considerados são:

1. Lavagem, preparo e extração
2. Tratamento do caldo para produção de açúcar
3. Tratamento do caldo para produção de etanol
4. Sistema de Evaporação
5. Cozimento + Secagem de açúcar
6. Preparação do mosto e fermentação
7. Destilação e Retificação
8. Sistema de Cogeração

O detalhamento da análise e as considerações adotadas em cada um destes subsistemas esta apresentado no item 2.1.3.

Para a avaliação do conteúdo energético dos insumos e produtos decidiu-se adotar o PCI – Poder Calorífico Inferior de cada um deles, como indicado na Tabela 2.1.1. A seguir reportam-se os detalhes destes cálculos.

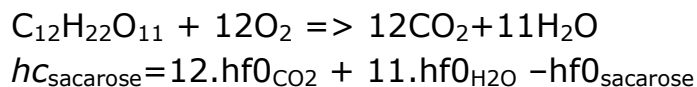
Poder calorífico dos sacarídeos

Para o presente estudo, a sacarose foi considerada como um combustível, uma vez que ela libera energia dentro do corpo humano através de processos metabólicos. O poder calorífico de um combustível é definido como a quantidade de calor liberado quando um combustível é queimado completamente em um processo em regime permanente com os produtos levados a igual estado, padronizado a 25°C e 1 atm, dos reagentes. Em outras palavras o poder calorífico de um combustível é igual ao valor absoluto da sua entalpia de combustão:

$$PCI = |hc| \quad [kJ/kg \text{ de combustível}]$$

Como valor representativo do poder calorífico dos diferentes sacarídeos presentes na cana-de-açúcar foi considerado o PCI da sacarose.

Considerando a reação de combustão da sacarose $C_{12}H_{22}O_{11}$ e as condições de referencia: $T_0 = 25^\circ C$ e $P_0 = 101,325 \text{ kPa}$ tem-se:

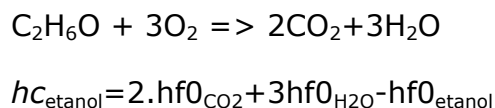


Clarke e Stegeman, (1939) apud NIST, (2009) fornecem o dado da entalpia padrão de formação da sacarose a 25°C: $hf_{sacarose} = -2221200 [kJ/kmol]$. A partir destes dados pode ser calculado o poder calorífico inferior da sacarose:

$$PCI_{sacarose} = 15 \ 078 \text{ kJ/kg}$$

Poder calorífico do etanol

O poder calorífico do etanol também é calculado a partir da entalpia de combustão do etanol a 25°C e $P = 101,325 \text{ kPa}$. Os dados das entalpias de formação padrão do etanol, do dióxido de carbono e da água são obtidos da tabela JANAF do software EES – Engineering Equation Solver.



$$PCI_{etanol} = 27 \ 723 \text{ kJ/kg}$$

Este valor corresponde ao etanol puro, com 100% de conteúdo de etanol.

Poder calorífico do bagaço

O poder calorífico inferior do bagaço pode ser calculado segundo Rein (2007) com a seguinte equação.

$$PCI_{\text{bagaço}} = 18260 - 207,01 * w_{\text{ba}} - 182,60 * w_{\text{cinzas}} - 31,14 * w_{\text{ds}}$$

Onde w_{ba} é a umidade do bagaço, w_{cinzas} é o conteúdo de cinzas e w_{ds} é o Brix do bagaço.

Considerando bagaço totalmente seco ($w_{\text{ba}} = 0$), conteúdo de cinzas 2% e sem conteúdo de sólidos solúveis ($w_{\text{ds}} = 0$) tem-se:

$$PCI_{\text{bagaço,seco}} = 17\ 895 \text{ kJ/kg}$$

Por outro lado considerando o bagaço que sai da moenda com umidade $w_{\text{ba}}=50\%$ e brix $w_{\text{ds}}=3,095$ e conteúdo de cinzas de 2% tem-se:

$$PCI_{\text{bagaço,umido50\%}} = 7\ 448 \text{ kJ/kg}$$

Poder calorífico da cana

A cana-de-açúcar é um composto bifásico sólido – líquido. A fase sólida é um complexo pentoxan e lignocelulósico integrado por fibras celulósicas formando canais entre os entrenós, nos que se aloca o caldo. O caldo é uma solução aquosa contendo uma grande variedade de compostos orgânicos e inorgânicos sendo os açúcares aproximadamente 90% (Spencer e Meade, 1967 apud Fernández Parra, 2003). Esta estrutura morfológica da cana-de-açúcar leva a estabelecer, para os fins desta pesquisa, a cana como a soma da fibra mais o caldo. Na Tabela 41 apresenta-se a composição elementar a cana-de-açúcar reportada na literatura por vários autores.

Tabela 41: Composição elementar da cana-de-açúcar

Autor	Fibra	Água	Sacarose	Glicose	Frutose
Leme Jr. 1965	8-18	65-75	11-18	0,1-1	0-0,6
Jackson 1990	8-4	75-82	14,5-22	0,3-1,1	0-0,7
Spencer e Meade, 1967	11-16	73-76	7,8-14	0,2-6,4	0,2-6,4
Howard Payne, 1982	12,5	72	15,5	-	
Noa et al. 1991	12,21	71	14,1	1,33	

Fonte: Fernández Parra (2003)

Assim, o poder calorífico total da cana pode ser calculado como a soma de duas parcelas, sendo a primeira o poder calorífico da fibra seca e a segunda o do caldo.

O caldo que é uma dissolução multicomponente de compostos orgânicos e inorgânicos, sendo que a sacarose contida está em maior proporção, assim foi considerado o poder calorífico do caldo como sendo igual ao poder calorífico da sacarose contida nele.

Finalmente o poder calorífico da cana-de-açúcar pode ser calculado segundo a seguinte expressão:

$$PCI_{cana} = x_{fibra} \cdot PCI_{bagaço,seco} + x_{sacarose} \cdot PCI_{sacarose}$$

Onde x_{fibra} é a porcentagem de fibra e $x_{sacarose}$ é o pol da cana. Para o presente estudo é considerada uma porcentagem de fibra na cana $x_{fibra} = 14\%$ e um pol da cana de 14. Com estes valores o poder calorífico inferior da cana resulta em:

$$PCI_{cana} = 4616 \text{ kJ/kg}$$

A água presente no caldo não contribui para o conteúdo energético da cana.

2.3.1.2 Casos analisados

O primeiro caso em análise corresponde a uma usina com sistema de cogeração com ciclo a vapor e parâmetros de vapor vivo de 22 bar e 300°C.

A Figura 26 apresenta o esquema do sistema de cogeração considerado. Neste esquema a caldeira produz vapor a 22 bar e 300°C, uma parte do vapor é destinada para as turbinas de acionamento mecânico da moenda, desfibradores, picadores e outros. A outra parte do vapor vai para a turbina de geração onde se expande até 2,5 bar; depois este vapor vai para o desuperaquecedor onde se junta com o vapor proveniente das turbinas de acionamento direto para depois atender as necessidades do processo.

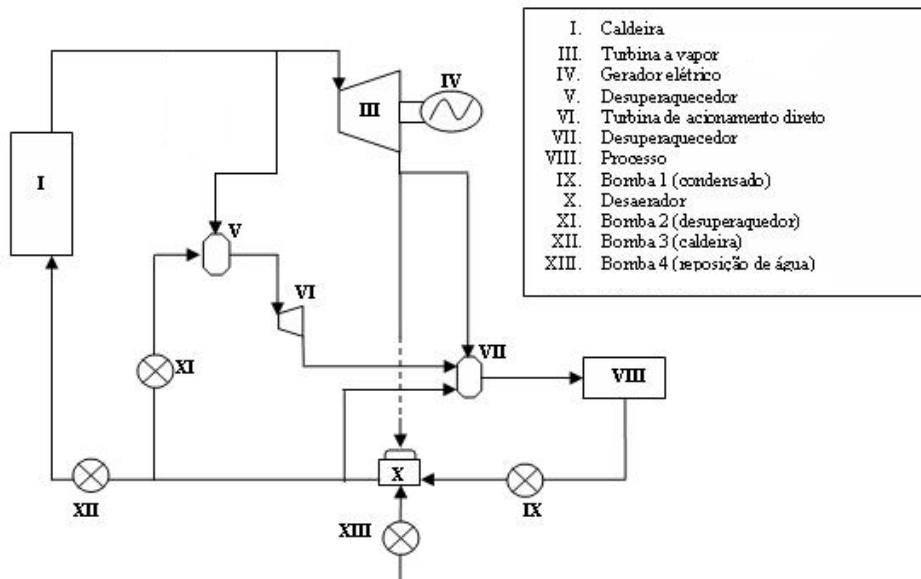


Figura 26: Sistema de cogeração - Caso 1

A eficiência da caldeira foi considerada em 75% base PCI enquanto a eficiência do turbogerador foi considerada em 70% (Seabra, 2008). A eficiência isentrópica das turbinas de acionamento direto foi considerada em 55% segundo Ensinas (2008).

O valor considerado para a eficiência das turbinas de acionamento direto corresponde aos praticados hoje, com turbinas de três estágios. Turbinas pequenas mais antigas, de apenas um estágio, costumam ter eficiências menores, em torno de 40%. Esta possibilidade não foi considerada na avaliação.

O segundo caso corresponde a uma usina com sistema de cogeração com ciclo a vapor e parâmetros de vapor vivo de 67 bar e 500°C.

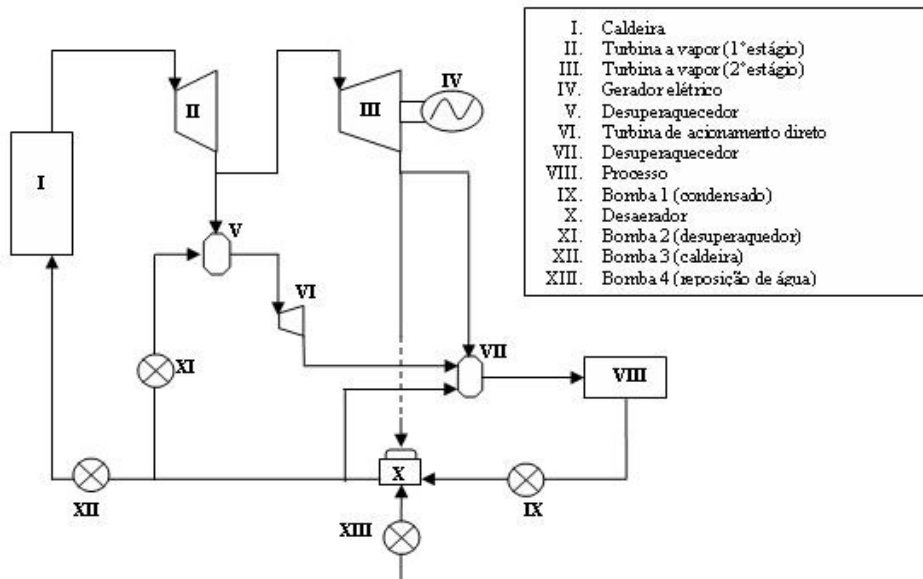


Figura 27: Sistema de cogeração - Caso 2

Este caso possui também turbinas de contrapressão. O vapor produzido na caldeira a 67bar e 500°C se expande primeiro na turbina de vapor de alta pressão; xxx

depois uma parte vai para as turbinas de acionamento mecânico enquanto a outra se expande na turbina de média pressão até 2,5 bar para depois atender os requerimentos do processo.

Neste caso foi adotada uma eficiência da caldeira de 85% em base PCI enquanto a eficiência dos turbogeradores foi adotada em 80% (Seabra, 2008). Estes valores correspondem às melhores práticas atuais.

2.3.1.3 Volumes de controle adotados para a análise

No seguinte diagrama é apresentado o fluxograma completo do processo de produção de açúcar e etanol. Também são indicados os volumes de controle adotados para a realização da análise de Custo Energético.

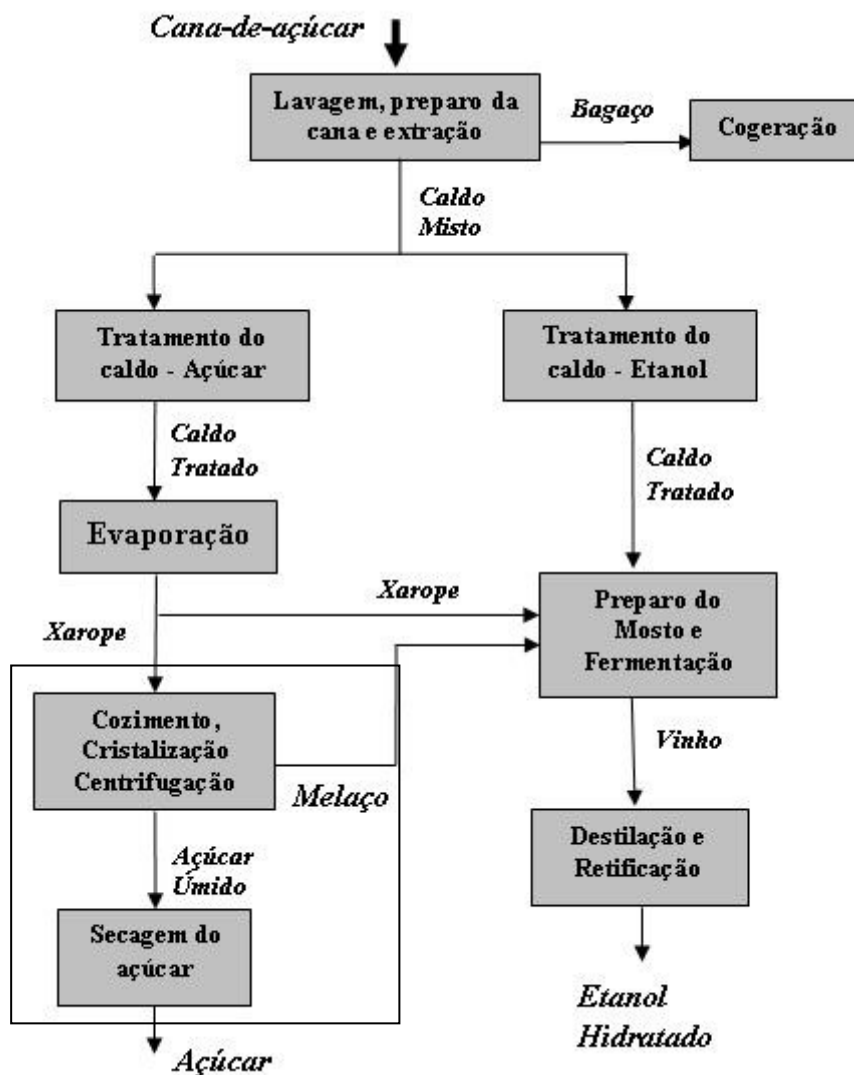


Figura 28: Fluxograma do processo de produção de açúcar e etanol

Subsistema A - Lavagem, preparo e extração

Na Figura 29 é apresentado um esquema indicando os insumos e produtos energéticos no volume de controle A – Lavagem, preparo e extração, enquanto na Tabela 42 é apresentada a descrição de cada fluxo energético, assim como a sua equação de cálculo.

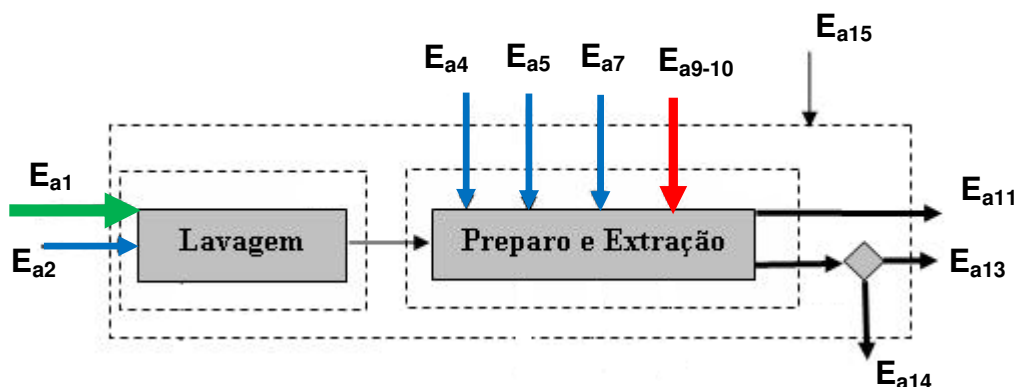


Figura 29: Volume de controle – A – lavagem preparo e extração

Tabela 42: Fluxos energéticos no volume de controle – A

Variável	Descrição	Equação
E_{a1}	Energia da cana-de-açúcar	$E_{a1} = m_{a1} * PCI_{cana}$
E_{a2}	Energia fornecida na água de reposição da lavagem da cana	0
E_{a4}	Energia fornecida na água de embebição	$E_{a4} = m_{a4} * (h_{a4} - h_{a4;0})$
E_{a5}	Energia fornecida na água de reposição do resfriamento de mancais	0
E_{a7}	Energia fornecida na água de reposição do resfriamento do óleo de lubrificação	0
E_{a9-10}	Energia fornecida para o acionamento de moendas	$E_{a9-10} = m_{a9-10} * (h_{v;a9} - h_{c;a9})$
E_{a11}	Energia do bagaço	$E_{a11} = m_{a11} * PCI_{bagaço50\%}$
E_{a13}	Energia contida no caldo misto para açúcar	$E_{a13} = m_{a13} * x_{sac;a13} * PCI_{sacarose} + m_{a13} * (h_{a13} - h_{a13;0})$
E_{a14}	Energia contida no caldo misto para etanol	$E_{a14} = m_{a14} * x_{sac;a14} * PCI_{sacarose} + m_{a14} * (h_{a14} - h_{a14;0})$
E_{a15}	Energia elétrica	$E_{a15} = W_{a15}$

Neste subsistema as condições de temperatura e pressão da água de reposição de lavagem de cana, resfriamento de mancais, resfriamento do óleo de lubrificação são iguais às condições de referencia $T_0=25^\circ\text{C}$ e $P_0=101,325\text{kPa}$. Assim, estes fluxos energéticos são considerados nulos :

$$E_{a2} = E_{a5} = E_{a7} = 0$$

Também é considerado que o bagaço é um subproduto deste sistema, assim o custo energético unitário do bagaço será igual ao custo energético unitário da cana:

$$ka_{11} = k_{cana} = 1.$$

Os produtos deste sistema E_{a13} e E_{a14} têm o mesmo custo energético unitário:

$$ka_{13} = ka_{14}.$$

x_{sac} é a fração em massa de sacarose contida no respectivo fluxo mássico.

Subsistema B – Tratamento do caldo – açúcar

Na Figura 30 é apresentado o esquema indicando os insumos e produtos energéticos no volume de controle B – Tratamento do caldo açúcar, enquanto na tabela 2.1.4 é apresentada a descrição de cada fluxo assim como a sua equação de cálculo.

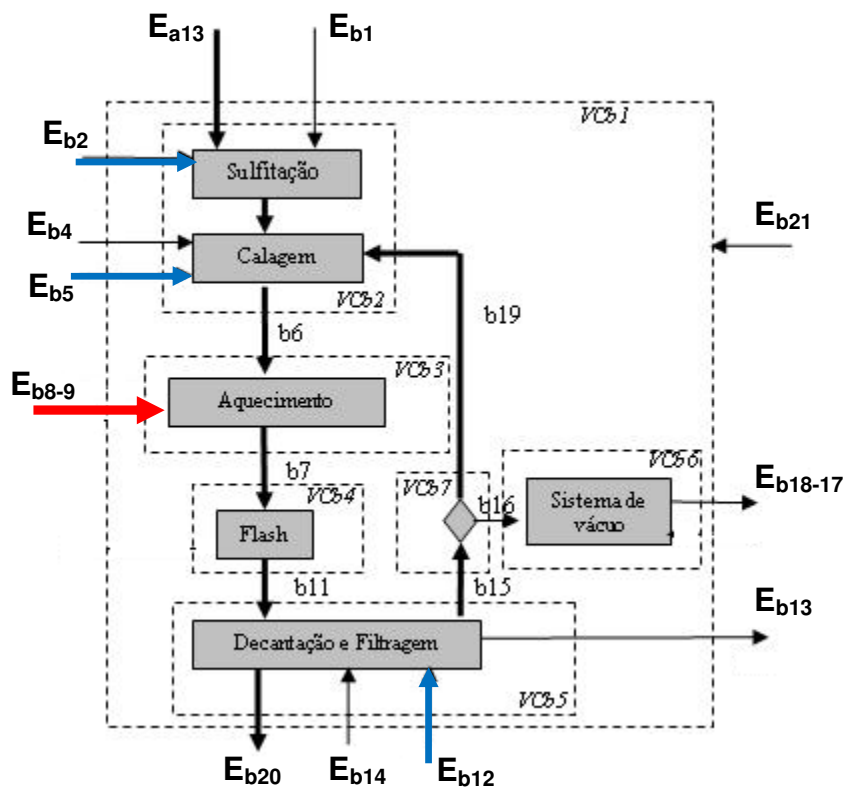


Figura 30: Volume de controle – B – Tratamento de caldo açúcar

Tabela 43: Fluxos energéticos no volume de controle – B

Variável	Descrição	Equação
E_{b1}	Energia fornecida no dióxido de enxofre	0
E_{b2}	Energia fornecida na água de reposição do resfriamento da sulfitação	0
E_{b4}	Energia fornecida no óxido de cálcio	0
E_{b5}	Energia fornecida na água de diluição do leite de cal	$E_{b12} = m_{b5} * (h_{b5} - h_{b5;0})$
E_{b8-9}	Energia fornecida para o aquecimento do caldo – vapor vegetal V1	$E_{b8-9} = m_{b8} * (h_{v;b8} - h_{c;b9})$
E_{b12}	Energia fornecida na água para lavagem da torta	$E_{b12} = m_{b12} * (h_{b12} - h_{b12;0})$
E_{b13}	Energia na torta de filtro	$E_{b13} = 0$
E_{b14}	Energia fornecida no bagacilho	$E_{b14} = m_{b14} * PCI_{\text{bagaço}50\%}$
E_{b18-17}	Energia dissipada no sistema de vácuo	$E_{b18-17} = m_{b18} * h_{b18} - m_{b17} * h_{b17}$
E_{b20}	Energia contida no caldo tratado	$E_{b20} = m_{b20} * x_{\text{sac};b20} * PCI_{\text{sacarose}} + m_{b20} * (h_{b20} - h_{b20;0})$
E_{b21}	Energia elétrica	$E_{b21} = W_{b21}$

Neste subsistema está sendo considerado que os insumos químicos como o dióxido de enxofre e o óxido de cálcio têm custo energético zero devido que eles estão entrando no sistema às mesmas condições de pressão e temperatura de referência.

Considerou-se também que a água de reposição do resfriamento da sulfitação entra no subsistema B nas condições de referência, conseqüentemente

$$E_{b4} = 0$$

Uma vez que a torta de filtro não terá utilidade energética posterior considerou-se como Custo Energético unitário da torta de filtro:

$$k_{b13} = 0.$$

Também é considerado que o custo energético unitário do bagacilho é igual ao custo do bagaço

$$k_{b14} = k_{a11}$$

A torta de filtro, embora seja utilizada como fertilizante na lavoura, não foi incluída como um produto do sistema, portanto, atribuiu-se valor nulo à energia que ela carrega.

Subsistema C – Tratamento do caldo – etanol

Na Figura 31 é apresentado o esquema indicando os insumos e produtos energéticos no volume de controle C – Tratamento do caldo - etanol, enquanto na Tabela 44 é apresentada a descrição de cada fluxo assim como a sua equação de cálculo.

Neste caso foram feitas as mesmas considerações que no subsistema anterior (subsistema B: Tratamento do caldo)

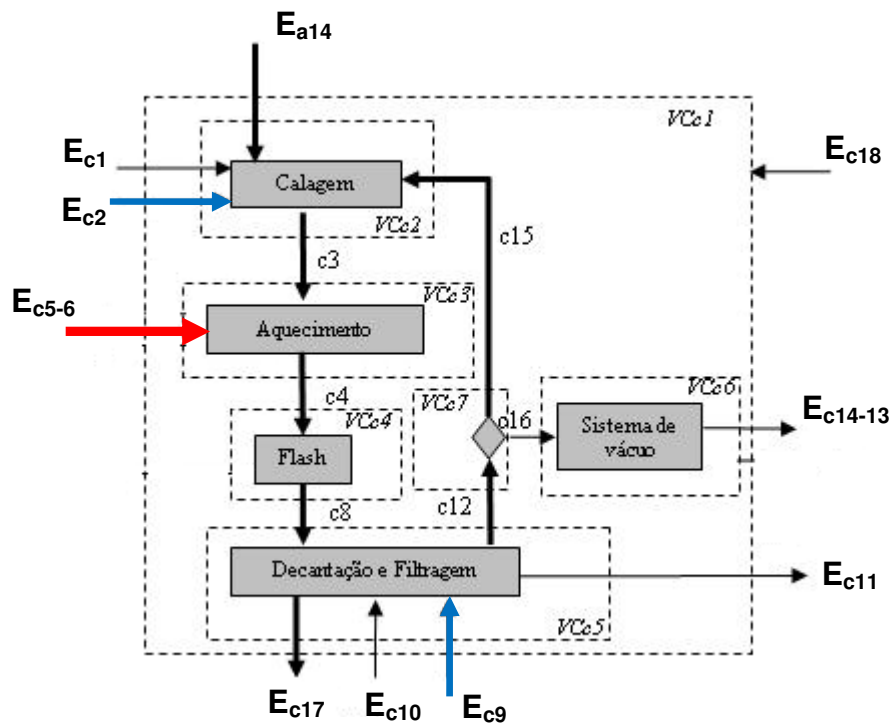


Figura 31: Volume de controle – C – Tratamento de caldo etanol

Tabela 44: Fluxos energéticos no volume de controle – C

Variável	Descrição	Equação
E_{c1}	Energia fornecida no óxido de cálcio	0
E_{c2}	Energia fornecida na água de diluição do leite de cal	$E_{c2} = m_{c2} * (h_{c2} - h_{c2;0})$
E_{c5-6}	Energia fornecida para o aquecimento do caldo – vapor vegetal V1	$E_{c5-6} = m_{c5} * (h_{v;c5} - h_{c;c6})$
E_{c9}	Energia fornecida na água para lavagem da torta	$E_{c9} = m_{c9} * (h_{c9} - h_{c9;0})$
E_{c10}	Energia fornecida no bagacilho	$E_{c10} = m_{c10} * PCI_{\text{bagaço}50\%}$
E_{c11}	Energia na torta de filtro	$E_{c11} = 0$
E_{c14-13}	Energia dissipada no sistema de vácuo	$E_{c14-13} = m_{c14} * h_{c14} - m_{c13} * h_{c13}$
E_{c17}	Energia contida no caldo tratado	$E_{c17} = m_{c17} * x_{\text{sac};c17} * PCI_{\text{sacarose}}$
E_{c18}	Energia elétrica	W_{c18}

Subsistema D – Sistema de evaporação

Na Figura 32 é apresentado o esquema indicando os insumos e produtos energéticos no volume de controle D – Sistema de evaporação, enquanto na Tabela 45 é apresentada a descrição de cada fluxo assim como a sua equação de cálculo.

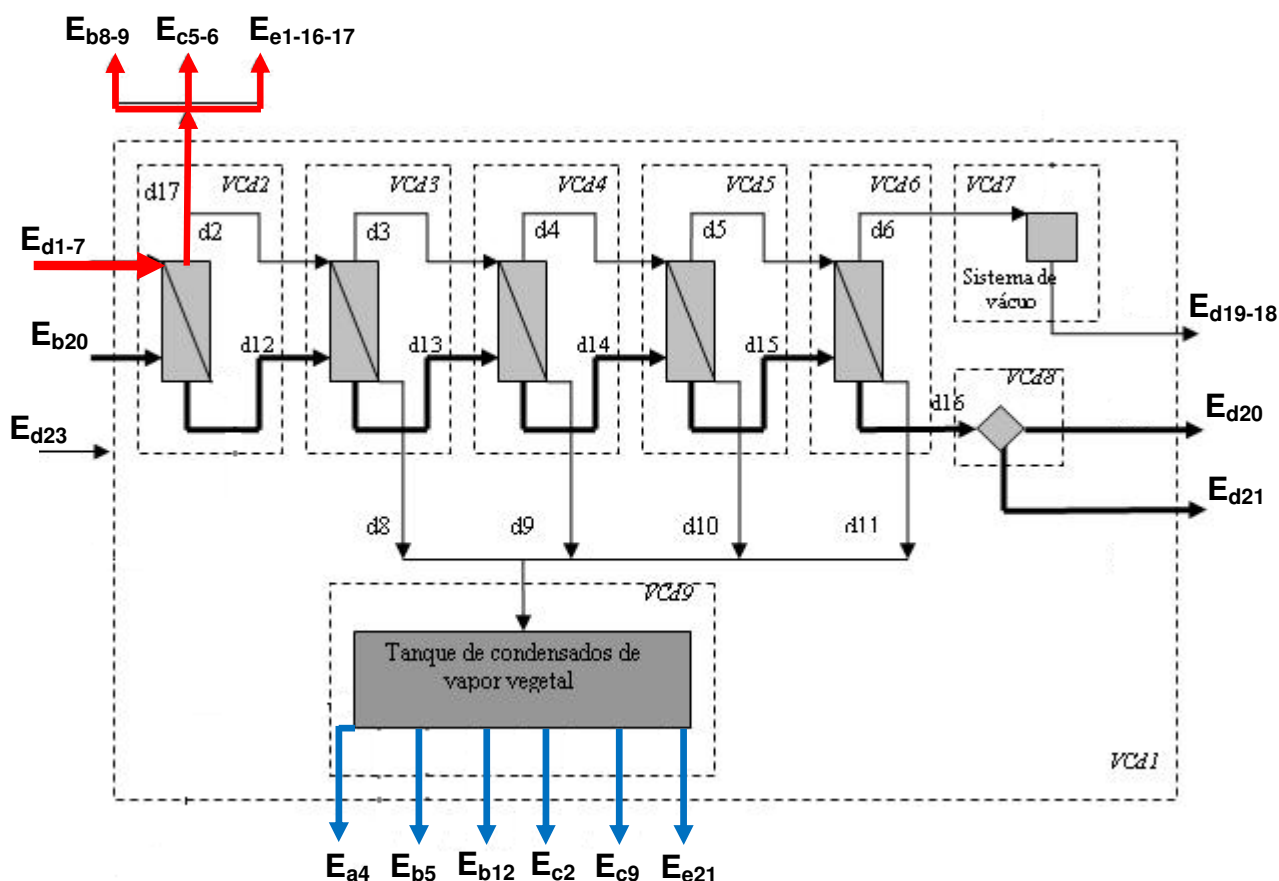


Figura 32: Volume de controle – D – Sistema de evaporação

Tabela 45: Fluxos energéticos no volume de controle – D

Variável	Descrição	Equação
E_{d1-7}	Energia de aquecimento para a evaporação – vapor de escape	$E_{d1-7} = m_{d1} * (h_{v;d1} - h_{c;d7})$
E_{d19-18}	Energia dissipada no sistema de vácuo	$E_{d19-d18} = m_{d19} * h_{d19} - m_{d18} * h_{d18}$
E_{d20}	Energia contida no xarope para preparação do mosto	$E_{d20} = m_{d20} * x_{sac;d20} PCI_{sacarose} + m_{d20} * (h_{d20} - h_{d20;0})$
E_{d21}	Energia contida no xarope para preparação de açúcar	$E_{d21} = m_{d21} * x_{sac;d21} PCI_{sacarose} + m_{d21} * (h_{d21} - h_{d21;0})$
E_{d23}	Energia elétrica	W_{d23}

Os produtos xarope para preparação do mosto e xarope para preparação de açúcar têm o mesmo custo energético unitário:

$$kd20 = kd21.$$

Os produtos térmicos tais como vapor vegetal (b8-9, c5-6, e1-16-17) e condensados de vapor vegetal (a4, b5, b12, c2, c9, e21) têm o mesmo custo energético unitário que o vapor de acionamento (d1-7).

$$k_{d1-7} = k_{b9-8} = k_{c5-6} = k_{e1-16-17}$$

$$k_{d1-7} = k_{a4} = k_{b5} = k_{b12} = k_{c2} = k_{c9} = k_{e21}$$

Esta última suposição foi feita com o intuito de carregar sempre nos produtos de cada subsistema os custos da energia consumida no mesmo.

A energia dissipada no sistema de vácuo, fluxo E_{d19-18} não foi considerada como produto útil, já que se trata de uma perda.

Subsistema E+F – Cozimento + secagem de açúcar

Na Figura 33 é apresentado o esquema indicando os insumos e produtos energéticos no volume de controle E+F – Cozimento + secagem de açúcar, enquanto na Tabela 46 é apresentada a descrição de cada fluxo assim como a sua equação de cálculo.

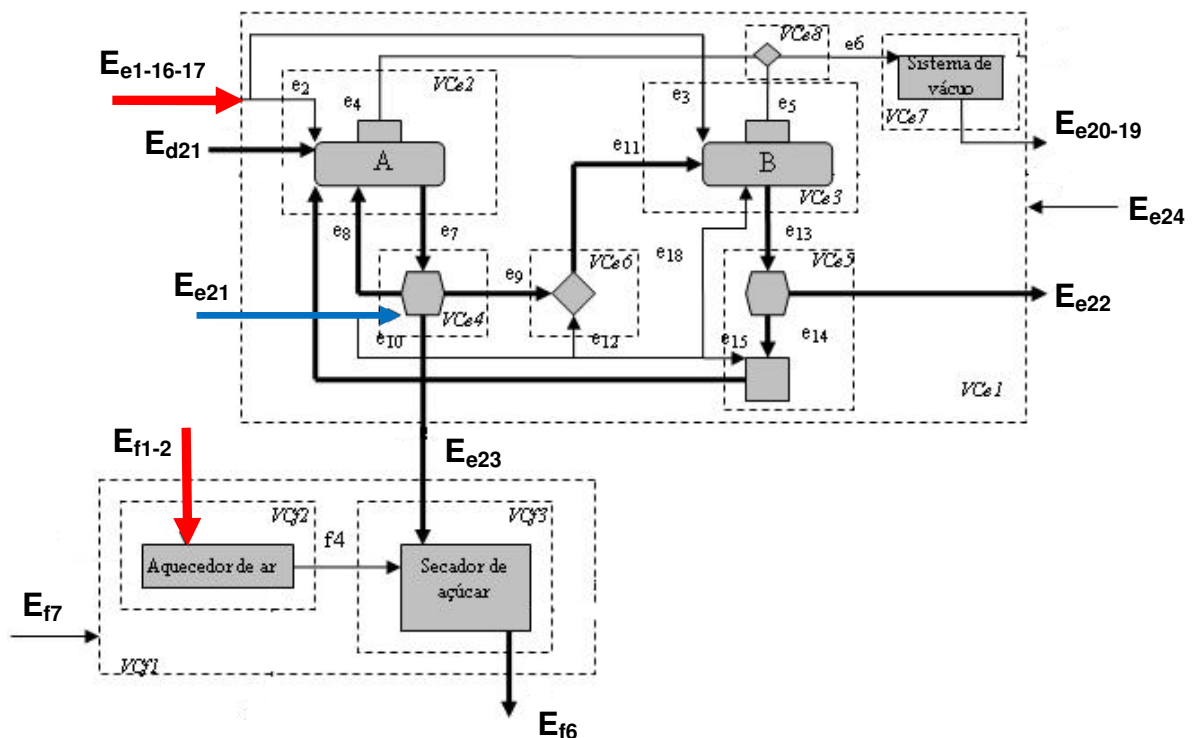


Figura 33: Volume de controle – E+F – Cozimento + Secagem de açúcar

Tabela 46: Fluxos energéticos no volume de controle – E+F

Variável	Descrição	Equação
$E_{e1-16-17}$	Energia de aquecimento para o cozimento – vapor vegetal V1	$E_{e1-16-17} = m_{e1} * (h_{v;e1} - h_{c;e17})$
E_{e20-19}	Energia dissipada no sistema de vácuo	$E_{e20-19} = m_{e20} * h_{e20} - m_{e19} * h_{e19}$
E_{e21}	Energia fornecida na água adicionada no cozimento	$E_{e21} = m_{e21} * (h_{e21} - h_{e21;0})$
E_{e22}	Energia contida no melaço	$E_{e22} = m_{e22} * x_{sac;e22} PCI_{sacarose} + m_{e22} * (h_{e22} - h_{e22;0})$
E_{e24}	Energia elétrica	$E_{e24} = W_{e24}$
E_{f1-2}	Energia de aquecimento para o secador de açúcar – vapor de escape	$E_{f1-2} = m_{f1-2} * (h_{v;f1} - h_{c;f2})$
E_{f6}	Energia contida no açúcar	$E_{f6} = m_{f6} * x_{sac;f6} PCI_{sacarose}$
E_{f7}	Energia elétrica	$E_{f7} = W_{f7}$

Considerou-se que o melaço é um subproduto deste sistema, assim, ele tem o mesmo custo energético unitário que o xarope para preparação de açúcar:

$$k_{d21} = k_{e22}.$$

Como no caso anterior, a energia dissipada no sistema de vácuo, fluxo E_{e20-19} não foi considerada como produto útil, já que se trata de uma perda.

Subsistema G – Preparação do mosto e fermentação

Na Figura 34 é apresentado o esquema indicando os insumos e produtos energéticos no volume de controle G – Preparação do mosto e fermentação, enquanto na Tabela 47 é apresentada a descrição de cada fluxo assim como a sua equação de cálculo.

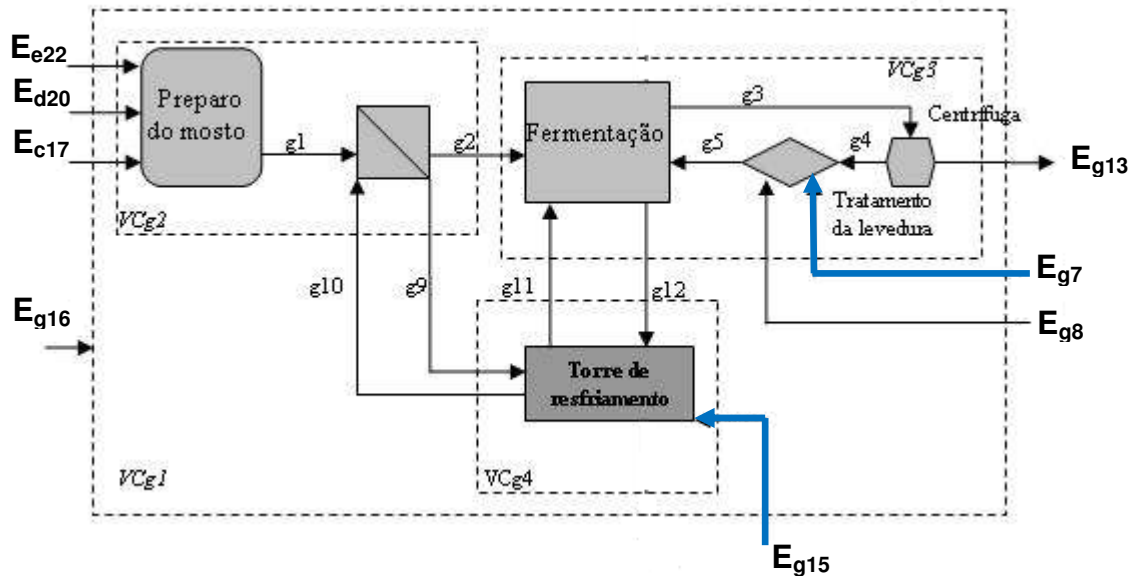


Figura 34: Volume de controle – G – Preparação do mosto e fermentação

Tabela 47: Fluxos energéticos no volume de controle – G

Variável	Descrição	Equação
E_{g7}	Energia fornecida na água de diluição do leite de levedura	0
E_{g8}	Energia fornecida no ácido sulfúrico	0
E_{g13}	Energia contida no vinho centrifugado	$E_{g13} = m_{g13} \cdot x_{\text{etanol};g13} \cdot PCI_{\text{etanol}}$
E_{g15}	Energia fornecida na água de reposição da torre de resfriamento	0
E_{g16}	Energia elétrica	$E_{g16} = W_{g16}$

Neste subsistema é considerado que a água de diluição do leite de levedura assim como o ácido sulfúrico e a água de reposição da torre de resfriamento estão ingressando neste volume de controle às condições de referência T_0 e P_0 . Conseqüentemente:

$$E_{g7} = E_{g8} = E_{g15} = 0.$$

Neste volume de controle acontece a transformação dos açúcares em etanol. Assim, o conteúdo energético do vinho centrifugado é calculado em função da fração mássica de etanol neste fluxo ($x_{\text{etanol};g13}$).

Subsistema H – Destilação e retificação

Na Figura 35 é apresentado o esquema indicando os insumos e produtos energéticos no volume de controle H – Destilação e retificação, enquanto na Tabela 48 é apresentada a descrição de cada fluxo assim como a sua equação de cálculo.

Neste volume de controle esta sendo considerado o etanol hidratado (h17) como produto principal, enquanto o etanol de segunda (h5) esta sendo considerado como um subproduto. Assim, esta sendo atribuído para o etanol de segunda (h5) o mesmo custo energético unitário que para o vinho centrifugado (g13):

$$k_{h5} = k_{g13}$$

Também esta sendo considerado que a vinhaça e a flegmassa que saem deste volume de controle (h11), a pesar do seu conteúdo de etanol, não tem utilidade térmica posterior, conseqüentemente são computadas nos cálculos como uma perda ($k_{h11} = 0$).

Os fluxos correspondentes às energias dissipadas (perdas) com os gases que escapam do volume de controle, E_{h4-3} e E_{h7-6} não foram considerados fluxos úteis.

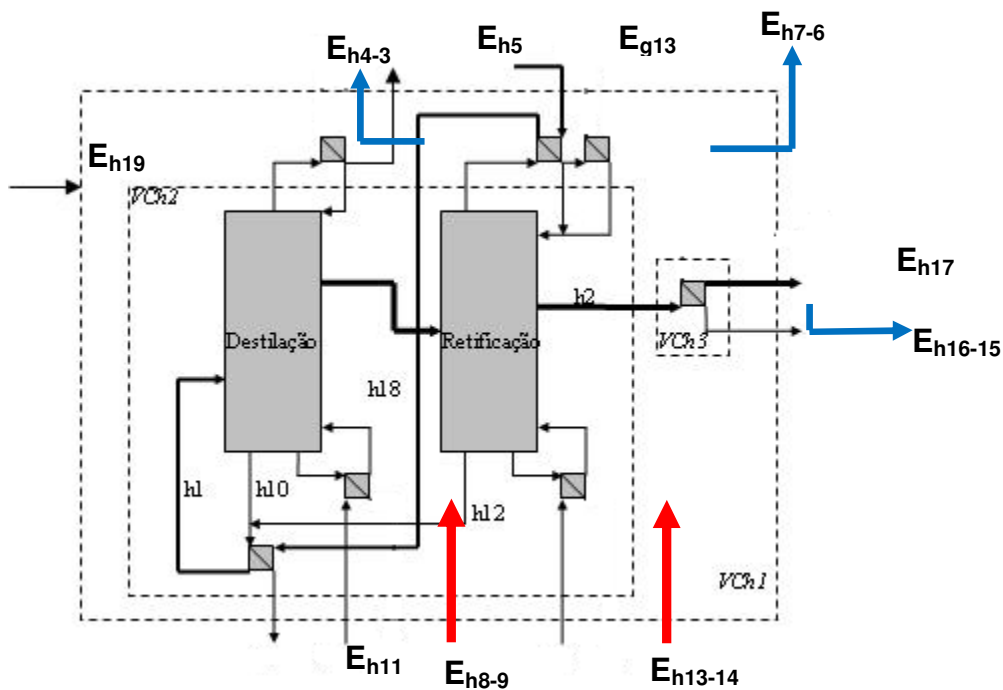


Figura 35: Volume de controle – H – Destilação e retificação

Tabela 48: Fluxos energéticos no volume de controle – H

Variável	Descrição	Equação
E_{h5}	Etanol de segunda	$E_{h5} = m_{h5} * x_{\text{etanol};h5} \text{PCI}_{\text{etanol}}$
E_{h4-3}	Energia dissipada no condensador da coluna A	$E_{h4-3} = m_{h4} * (h_{h4} - h_{h3})$
E_{h7-6}	Energia dissipada no condensador da coluna B	$E_{h7-6} = m_{h7} * (h_{h7} - h_{h6})$
E_{h8-9}	Energia de aquecimento no refeedor da coluna A	$E_{h8-9} = m_{h8} * (h_{v;h8} - h_{c;h9})$
E_{h11}	Energia contida na Vinhaça + Flegmassa	$E_{h11} = m_{h11} * x_{\text{etanol};h11} \text{PCI}_{\text{etanol}}$
E_{h13-14}	Energia de aquecimento no refeedor da coluna B	$E_{h13-14} = m_{h13} * (h_{v;h13} - h_{c;h14})$
E_{h16-15}	Energia trocada no resfriamento do etanol	$E_{h16-15} = m_{h16} * (h_{h16} - h_{h15})$
E_{h17}	Etanol hidratado	$E_{h17} = m_{h17} * x_{\text{etanol};h17} \text{PCI}_{\text{etanol}}$
E_{h19}	Energia elétrica	$E_{h9} = W_{h9}$

Subsistema J – Cogeração

Na Figura 36 é apresentado o esquema indicando os insumos e produtos energéticos no volume de controle J – Cogeração, enquanto na Tabela 49 é apresentada a descrição de cada fluxo assim como a sua equação de cálculo.

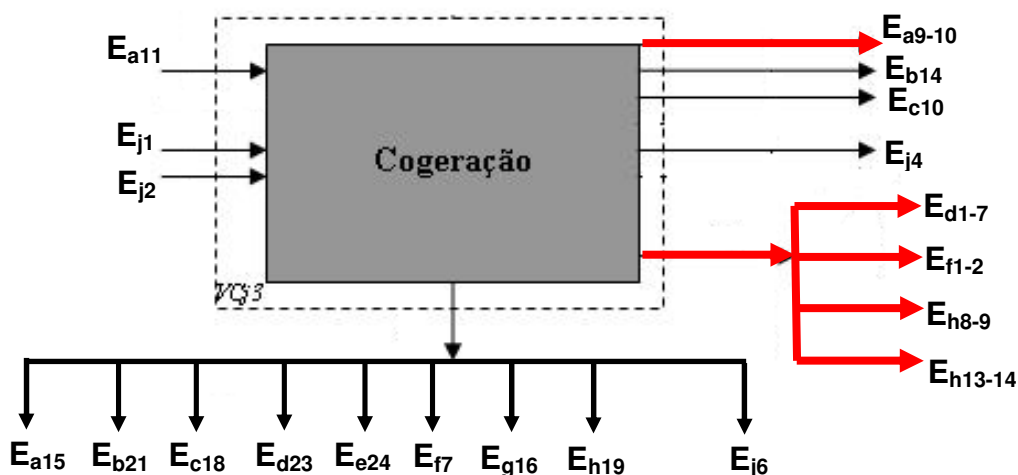


Figura 36: Volume de controle – J – Sistema de cogeração

Uma vez que a água de reposição para o gerador de vapor (j1) e a água de reposição para o lavador de gases (j2) estão entrando neste volume de controle às condições de referência T_0 e P_0 a energia destes fluxos é zero:

$$E_{j1} = E_{j2} = 0$$

Tabela 49: Fluxos energéticos no volume de controle – J

Variável	Descrição	Equação
E_{j1}	Energia na água de reposição para gerador de vapor	0
E_{j2}	Energia na água de reposição para lavador de gases	0
E_{j4}	Energia no bagaço excedente	$E_{j4} = m_{j4} * PCI_{\text{bagaço}50\%}$
E_{j6}	Energia elétrica excedente	$E_{j6} = W_{j6}$

O bagaço excedente (E_{j4}) assim como os fluxos energéticos de bagacilho (E_{b4} e E_{c10}) são considerados como subprodutos deste subsistema, assim estes fluxos têm o mesmo custo energético unitário que o insumo principal que é o fluxo de bagaço (E_{a11}):

$$k_{a11} = k_{b14} = k_{c10}$$

Os fluxos energéticos de vapor, tanto de escape da turbina (E_{d1-7} , E_{f1-2} , E_{h8-9} , E_{h13-14}) como de vapor vivo (E_{a9-10}) têm o mesmo custo energético unitário:

$$k_{d1-7} = k_{f1-2} = k_{h8-9} = k_{h13-14} = k_{a9-10}$$

Também todos os fluxos de eletricidade têm o mesmo custo energético unitário:

$$k_{a15} = k_{b21} = k_{c18} = k_{d23} = k_{e24} = k_{f7} = k_{g6} = k_{h8} = k_{j6}$$

Caldeira

Com a finalidade de fechar o sistema de equações é realizado também o balanço de custos na caldeira do sistema de cogeração:



$$E_{\text{bagaço}} \cdot k_{\text{bagaço}} = E_{\text{vapor}} \cdot k_{\text{vapor}}$$

Onde o custo energético unitário do bagaço que ingressa na caldeira é igual ao custo energético do bagaço na saída do sistema de extração

$$k_{\text{bagaço}} = k_{a11},$$

e o custo energético unitário do vapor produzido na caldeira é igual ao custo energético unitário do vapor utilizado para o acionamento das moendas:

$$k_{\text{vapor}} = k_{a9-10}$$

Subsistema I – Sistema de refrigeração de água

Este último subsistema tem a finalidade de resfriar os fluxos de água (condensados) destinados ao sistema de resfriamento da planta consumindo para isto energia elétrica.

Dentre as utilidades frias que requer a planta estão: os fluxos de água para o sistema de vácuo do tratamento de caldo para açúcar e etanol, para o sistema de evaporação, para o sistema de cozimento e para a dissipação de calor no sistema de destilação e retificação.

Neste estudo o consumo de energia elétrica do sistema de resfriamento de água E_{i3} foi distribuído entre os subsistemas que precisam estas utilidades frias (B, C, D, E+F e J) em função do calor trocado em cada um destes subsistemas.

2.3.2 Resultados e Discussão

Na Tabela 50 são apresentados os resultados da análise de custo energético para a planta de produção de açúcar e etanol. A tabela mostra os fluxos nos volumes de controle referentes ao processo, nesta tabela os fluxos energéticos (E) são iguais tanto para o Caso 1 quanto para o Caso 2, sendo diferentes só os Custos Energéticos (E^*) e os Custos energéticos unitários (k).

Tabela 50: Resultados da análise de custo energético para os fluxos de processo da planta de produção de açúcar e etanol

FLUXO	DESCRIÇÃO	Caso 1			Caso 2	
		E kW	E* kW	k	E* kW	K
	SUBSISTEMA A - LAVAGEM PREPARO E EXTRAÇÃO					
a1	Cana-de-açúcar	64111 1	641111	1	641111	1
a4	Água de embebição	4375	5744	1,313	5066,25	1,158
a9-10	Energia para acionamento das moendas	8000	10504	1,313	9264	1,158
a15	Energia elétrica	1200	3880	3,233	2154	1,795
a11	Bagaçõ	28964 4	289644	1	289644	1
a13	Caldo misto para açúcar	20203 3	259006	1,282	256581,9 1	1,27
a14	Caldo misto para etanol	87771	112522	1,282	111469,1 7	1,27
	SUBSISTEMA B - TRATAMENTO DE CALDO AÇÚCAR					
b5	Água de diluição da leite de cal	771	1012	1,313	892,818	1,158
b8-9	Energia para aquecimento do caldo	30676	40278	1,313	35522,80 8	1,158
b12	Água para lavagem da torta	2341	3074	1,313	2710,878	1,158
b14	Bagacilho	3606	3606	1	3606	1
b21	Energia elétrica	627,4	2028	3,233	1126,183	1,795
b20	Caldo tratado	22634 3	308958	1,365	300357,1 6	1,327
	SUBSISTEMA C - TRATAMENTO DE CALDO ETANOL					
c2	Água de diluição da leite de cal	334,9	439,7237	1,313	387,8142	1,158
c5-6	Energia para o aquecimento do caldo	13336	17510,16 8	1,313	15443,08 8	1,158
c9	Água para lavagem da torta	1017	1335,321	1,313	1177,686	1,158
c10	Bagacilho	1566	1566	1	1566	1
c18	Energia elétrica	272,6	881,3158	3,233	489,317	1,795
c17	Caldo tratado	98404	134321,4 6	1,365	130483,7	1,326

Tabela 51: (continuação) Resultados da análise de custo energético para os fluxos de processo da planta de produção de açúcar e etanol

FLUXO	DESCRIÇÃO	Caso 1			Caso 2	
		E kW	E* kW	k	E* kW	k
	SUBSISTEMA D - SISTEMA DE EVAPORAÇÃO					
d1	Energia para evaporação	10230 0	134319,9	1,313	118463,4	1,158
d23	Energia elétrica	900	2909,7	3,233	1615,5	1,795
d20	Xarope para preparação do mosto	21873	36637,27 5	1,675	35237,40 3	1,611
d21	Xarope para fabricação de açúcar	17781 2	297835,1	1,675	286455,1 3	1,611
	SUBSISTEMA E+F - COZIMENTO + SECAGEM DE AÇÚCAR					
e21	Água para cozedores	1438	1888,094	1,313	1665,204	1,158
e24	Energia elétrica	1800	5819,4	3,233	3231	1,795
e1-16-17	Energia para aquecimento cozedores	31078	40805,41 4	1,313	35988,32 4	1,158
e22	Melaço	34878	58420,65	1,675	56188,45 8	1,611
f1-2	Energia para secagem	337,4	443,0062	1,313	390,7092	1,158
f7	Energia elétrica	150	484,95	3,233	269,25	1,795
f6	Açúcar	13571 1	288928,7 2	2,129	271964,8 4	2,004
	SUBSISTEMA G - PREPARAÇÃO DO MOSTO E FERMENTAÇÃO					
g16	Energia elétrica	600	1939,8	3,233	1077	1,795
g13	Vinho centrifugado	12683 4	231218,3 8	1,823	222974,1 7	1,758
	SUBSISTEMA H - DESTILAÇÃO E RETIFICAÇÃO					
h19	Energia elétrica	300	969,9	3,233	538,5	1,795
h8-9	Aquecimento refeedor coluna A	22021	28913,57 3	1,313	25500,31 8	1,158
h13-14	Aquecimento refeedor coluna B	13604	17862,05 2	1,313	15753,43 2	1,158
h5	Etanol de segunda	6233	11362,75 9	1,823	10957,61 4	1,758
h17	Etanol hidratado	11666 9	267638,6 9	2,294	253871,7 4	2,176

Tabela 52: Resultados da análise de custo energético para os fluxos do sistema de cogeração

FLUXO	DESCRIÇÃO	Caso 1		Caso 2	
		E	k	E	K
		kW		kW	
j4	Bagaço excedente	64864	1	66923	1
j6	Energia elétrica excedente	2537	3,233	20816	1,795

Por outro lado, a tabela 2.1.12 apresenta os resultados para o volume de controle do sistema de cogeração. Nesta tabela pode ser observado que os fluxos energéticos de bagaço excedente e de energia elétrica excedente são diferentes sendo maiores para o caso 2. Isto como consequência de uma maior eficiência na caldeira e nos turbogeradores do caso 2 o que se reflete em um menor custo energético do vapor e da eletricidade produzida no sistema de cogeração.

Assim, no caso 2 o bagaço excedente é 3% maior em comparação ao caso 1 enquanto a energia elétrica excedente é 8 vezes a do caso 1.

Dos resultados dos custos energéticos unitários para o açúcar e para o etanol podem ser feitas algumas reflexões:

- Do custo energético do açúcar para o Caso 1: $k_{\text{açúcar}} = k_{f6} = 2,129$ significa que foram consumidas **2,129kJ** para produzir **1kJ** do açúcar. Este valor energético do açúcar pode ser entendido como a energia devida a seu conteúdo da sacarose.

Considerando que o conteúdo energético da sacarose no açúcar é o mesmo que foi fornecido pela cana-de-açúcar pode ser concluído que o custo adicional para produzir uma unidade energética de açúcar foi:

$$k_{\text{energia;adicional}} = k_{f6} - 1 = 1,129 \text{ kJ/kJ de açúcar.}$$

Nesta energia adicional esta contida a energia fornecida pelo bagaço assim como as perdas de sacarose ao longo do processo. Assim, considerando a densidade energética do açúcar produzido na planta:

$$p_{e;f6} = 15033 \text{ kJ/kg de açúcar}$$

A quantidade de energia adicional para a produção de 1 kg de açúcar pode ser calculado:

$$E_{\text{adicional}} \Rightarrow \text{açúcar, caso1} = 16979 \text{ kJ/kg de açúcar}$$

Fazendo os mesmos cálculos para o Caso 2, a energia do bagaço que foi utilizada para a produção de 1kg de açúcar foi:

$$E_{\text{adicional}} \Rightarrow \text{açúcar, caso2} = 15092 \text{ kJ/kg de açúcar}$$

- Para o caso do etanol o custo energético unitário no caso 1 foi $k_{\text{etanol}} = k_{h17} = 2,294$. Isto significa que foram utilizados 2,294kJ para produzir 1kJ de

etanol. Este caso é um pouco diferente uma vez que na cana não se tem etanol originalmente.

Observando a fermentação e contabilizando a energia que carrega a sacarose que ingressa neste volume (141918 kW) e a energia que o etanol carrega na saída (124917 kW), pode ser obtida uma relação entre a energia no etanol produzido e a energia na sacarose originária: $R_{\text{sacarose/etanol}}=1,136$.

Conseqüentemente 1kJ de etanol produzido seria equivalente a 1,136kJ de sacarose da cana. Assim o conteúdo energético de sacarose que originalmente estava na cana ($E_{\text{sacarose,na,cana}}$) pode ser relacionado com o conteúdo energético do etanol produzido (E_{etanol}):

$$E_{\text{sacarose,na,cana}} = R_{\text{sacarose/etanol}} \cdot E_{\text{etanol}}$$

Também pode ser afirmado que o Custo Energético do etanol produzido tem duas componentes, uma devido ao conteúdo energético da sacarose, que transformou-se em etanol e outra devido à energia adicional do processo:

$$E^*_{\text{etanol}} = E_{\text{sacarose,na,cana}} + E_{\text{ad}} = R_{\text{sacarose/etanol}} \cdot E_{\text{etanol}} + E_{\text{ad}}$$

Dividindo ambos membros pelo conteúdo energético do etanol produzido tem-se:

$$E^*_{\text{etanol}}/E_{\text{etanol}} = R_{\text{sacarose/etanol}} + E_{\text{ad}}/E_{\text{etanol}}$$

Definindo o coeficiente $k_{\text{ad}} = E_{\text{ad}}/E_{\text{etanol}}$ e substituindo valores tem-se:

$$k_{\text{ad}} = 1,136 + 0,022 = 1,158 \text{ kJ/kJ de etanol}$$

Calculando a densidade energética do etanol ($\rho_{\text{e}} = 20777 \text{ kJ/l de etanol}$) e multiplicando pelo valor de k_{ad} pode ser obtida a quantidade de energia adicional destinada para a produção de etanol:

$$E_{\text{ad}} = 24066 \text{ kJ/l de etanol}$$

Realizando o mesmo cálculo para o caso 2 tem-se:

$$E_{\text{ad}} = 21612 \text{ kJ/l de etanol}$$

Tabela 53: Resumo dos indicadores obtidos – “custo” energético

Descrição	Caso 1	Caso 2
Energia térmica	1,31	1,16
Energia Elétrica	3,23	1,80
Açúcar	2,13	2,00
Etanol hidratado	2,29	2,18

Apêndice

Cálculo dos custos energéticos - Método da matriz de incidência

Para o cálculo dos custos energéticos dos fluxos energéticos nos diferentes subsistemas analisados será utilizada a metodologia da matriz de incidência.

A matriz de incidência tem por objetivo fazer um mapeamento dos fluxos e subsistemas da planta, na forma:

$$\begin{bmatrix} \text{"n" subsistemas /} & \text{"m" fluxos} & \rightarrow & . & . \\ & \downarrow & & . & . & . & . \\ & . & & . & . & . & . \\ & . & & . & . & . & . \\ & . & & . & . & . & . \end{bmatrix}$$

Onde cada elemento da matriz representa:

$A_{x,y}$ = fluxo "y" entrando e saindo no subsistema "x".

Os fluxos e os subsistemas que foram considerados na análise da planta estão indicados na Tabela A.1, a seguir.

Tabela A.1 Planta de produção de açúcar e etanol simplificada

	VOLUMES DE CONTROLE		FLUXOS
A	Lavagem, preparo e extração	E_{a1}	Energia da cana-de-açúcar
B	Tratamento do caldo - açúcar	E_{a4}	Energia fornecida na água de embebição
C	Tratamento do caldo etanol	E_{a9}	Energia fornecida para o acionamento de moendas
D	Sistema de evaporação	E_{a11}	Energia do bagaço
E+F	Cozimento + secagem de açúcar	E_{a13}	Energia contida no caldo misto para açúcar
G	Preparação do mosto e fermentação	E_{a14}	Energia contida no caldo misto para etanol
H	Destilação e retificação	E_{a15}	Energia elétrica
J	Cogeração	E_{b5}	Energia fornecida na água de diluição do leite de cal
		E_{b8-9}	Energia fornecida para o aquecimento do caldo
		E_{b12}	Energia fornecida na água para lavagem da torta
		E_{b14}	Energia fornecida no bagacilho
		E_{b20}	Energia contida no caldo tratado
	VOLUMES DE CONTROLE		FLUXOS
		E_{b21}	Energia elétrica
		E_{c2}	Energia fornecida na água de diluição do leite de cal
		E_{c5-6}	Energia fornecida para o aquecimento do caldo
		E_{c9}	Energia fornecida na água para lavagem da torta
		E_{c10}	Energia fornecida no bagacilho
		E_{c17}	Energia contida no caldo tratado
		E_{c18}	Energia elétrica
		Ed1-7	Energia de aquecimento para a evaporação
		Ed20	Energia contida no xarope para preparação do mosto
		Ed21	Energia contida no xarope para preparação de açúcar
		Ed23	Energia elétrica
		Ee1-16-17	Energia de aquecimento para o cozimento
		Ee21	Energia fornecida na água adicionada no cozimento
		Ee22	Energia contida no melaço
		Ee24	Energia elétrica
		Ef1-2	Energia de aquecimento para o secador de açúcar
		Ef6	Energia contida no açúcar
		Ef7	Energia elétrica
		Eg13	Energia contida no vinho centrifugado
		Eg16	Energia elétrica
		Eh5	Etanol de segunda
		Eh8-9	Energia de aquecimento no refulvador da coluna A
		Eh13-14	Energia de aquecimento no refulvador da coluna B
		Eh17	Etanol hidratado
		Eh19	Energia elétrica
		Ej4	Energia elétrica excedente

A incidência de cada fluxo é representada apenas pelos números:

- +1: no caso em que o fluxo em questão entre no sistema
- 1: quando o fluxo sai do sistema
- 0: quando o fluxo não corresponde a esse subsistema.

A continuação faz-se uma classificação dos fluxos em insumos e produtos:

Tabela A.2 Classificação dos fluxos em insumos e produtos

Volume de controle	Insumos	Produtos
A	Ea1+ Ea4+ Ea9-10+ Ea15	Ea11+ Ea13+ Ea14
B	Ea13+Eb5+ Eb8-9+ Eb12+ Eb14+ Eb21	Eb20
C	Ea14+Ec2+ Ec5-6+ Ec9 +Ec10+ Ec18	Ec17
D	Eb20+Ed1-7+ Ed23	Ed20+Ed21+Eb8-9+Ec5-6+Ee1- 16-17+.. +Ea4+Eb5+Eb12+Ec2+Ec9+Ee21
E+F	Ee1-16-17+ Ed21+ Ee21+ Ee24+ Ef1-2+ Ef7	Ef6+ Ee22
G	Ee22+ Ed20+ Ec17+ Eg16	Eg13
H	Eg13+ Eh19+ Eh8-9+ Eh13-14	Eh5+ Eh17
J	Ea11	Ea9-10+ Ed1-7+ Ef1-2+ Eh8-9+ Eh13-14+ Eb14+ Ec10+Ej4+ Ea15+ Eb21+ Ec18+ Ed23+ Ee24+ Ef7+ Eg16+Ej6

É útil definir o vetor de custos energéticos:

$$\vec{E}^*$$

de dimensão igual ao número de fluxos no sistema, cujos elementos são os custos energéticos (unidades kW) de cada um dos portadores de energia.

O custo energético unitário de cada um dos portadores de energia é definido como:

$$k_y = E_y^* / E_y$$

E considerando que o custo energético dos insumos será carregado pelos produtos de cada subsistema, pode-se aplicar esta proposição a cada um dos subsistemas do sistema global. Utilizando a matriz de incidência (A) anteriormente definida, o cálculo de custos pode ser expresso vetorialmente como: pode ser feita a seguinte operação:

$$\vec{A} \cdot \vec{E}^* = \vec{0}$$

Desdobrando:

$$\begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} & \dots & \dots & \dots & A_{1m} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} & \dots & \dots & \dots & A_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_{n1} & A_{n2} & A_{n3} & \dots & \dots & \dots & A_{nm} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_1^* \\ E_2^* \\ E_3^* \\ \dots \\ \dots \\ \dots \\ E_m^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \dots \\ \dots \\ \dots \\ 0 \end{bmatrix}$$

Como em geral é $m > n$, tem-se mais incógnitas que equações é necessário arbitrar outros critérios para chegar as m equações necessárias para resolver o sistema. Estas $(m-n)$ equações são arbitradas das proposições que atribuem valores aos custos dos portadores de energia que entram no sistema, das perdas e das bifurcações.

No caso dos portadores de energia que entram no sistema (fluxos externos), seu custo energético é considerado como sendo igual à energia que estes carregam $E^* = E$.

Quando mais de um fluxo pode ser considerado produto do sistema (bifurcações), seus custos energéticos são considerados iguais, como foi feito no caso do subsistema A:

$$k_{a13} = k_{a14},$$

o que também pode ser escrito como:

$$E_{a13}^*/E_{a13} = E_{a14}^*/E_{a14}$$

Quando um fluxo é considerado "subproduto" o seu custo energético é igualado a algum dos insumos que entram no sistema. Como foi feito com o custo energético do bagaço e da cana:

$$k_{a11} = k_{cana} = 1$$

Assim estas equações arbitradas podem ser expressas em forma simbólica como:

$$\vec{a}_e \cdot \vec{E}^* = \vec{w}_e; \quad \text{para os portadores de energia que entram no sistema, e}$$

$$\vec{a}_b \cdot \vec{E}^* = 0; \quad \text{para as bifurcações}$$

As novas equações, obtidas na base destas proposições, permitem fechar o sistema chegando ao mesmo número de equações que de incógnitas. O sistema ampliado seria:

$$\begin{bmatrix} \bar{A} \\ \bar{\alpha}_e \\ \bar{\alpha}_b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{E}^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{0} \\ \bar{w}_e \\ \bar{0} \end{bmatrix}$$

Onde a matriz ampliada da esquerda, inclui a matriz de incidência, a de entradas e saídas e a de bifurcações. O vetor da direita inclui o vetor da energias dos fluxos de entrada e dois vetores nulos.

Resolvendo o sistema podem ser calculados os custos energéticos de cada fluxo em consideração.

2.4 Mapeamento das trajetórias de indicadores críticos selecionados – tecnológicos, econômicos, sociais e ambientais – da produção e uso do bioetanol ao longo dos últimos 30 anos²²

Os indicadores tecnológicos, econômicos, sociais e ambientais da produção e uso do bioetanol são valores que podem auxiliar especialistas e poder público a analisar de forma mais abrangente o todo do processo e indicar as melhores atitudes e decisões que devem ser tomadas visando o desenvolvimento e sustentabilidade da atividade em questão.

2.4.1 Indicadores tecnológicos

Através de dados coletados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) pode-se analisar a evolução da área de cana-de-açúcar no Brasil, verifica-se que tanto a área plantada quanto a área colhida apresentaram crescimento significativo nos últimos anos. No período de 1975 a 2008, a área colhida de cana-de-açúcar ficou 4,3 vezes maior, enquanto que a área plantada teve um crescimento de 4,7 vezes.

²² Pesquisador Responsável: André Tosi Furtado (NIPE/UNICAMP)

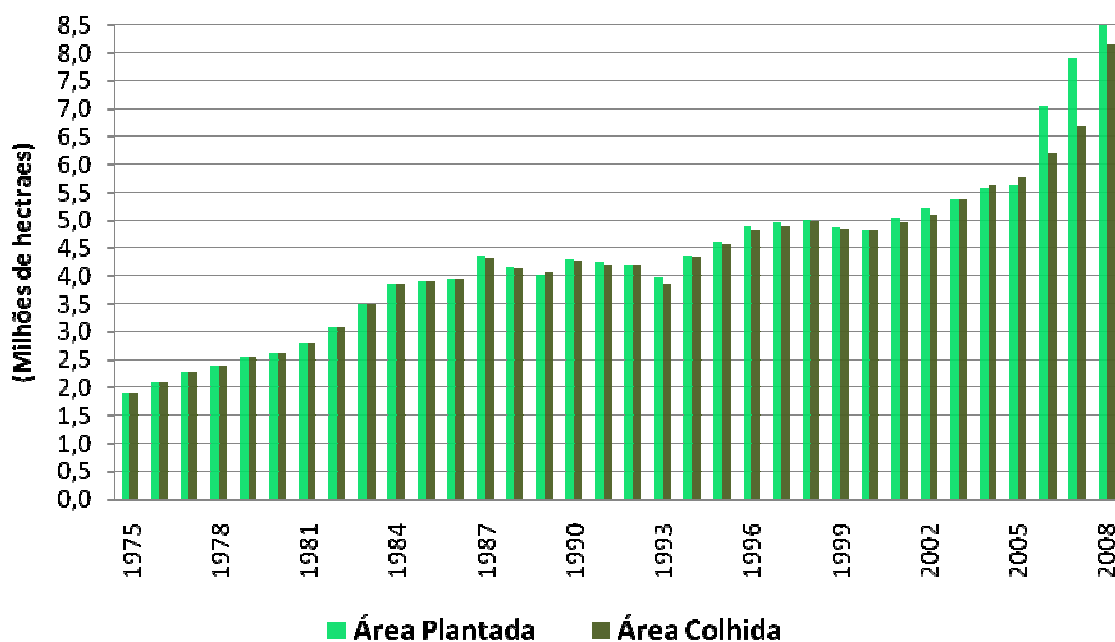


Figura 37: Evolução da área de cana-de-açúcar no Brasil

Fonte: Anuário Estatístico da Agroenergia – MAPA (2009), dados IBGE

A produção de toneladas cana-de-açúcar (cana colhida) teve um aumento de 7,3 vezes no período (Figura 38), em virtude do aumento de 65% na produtividade (tonelada por hectare) nesse período (Figura 39).

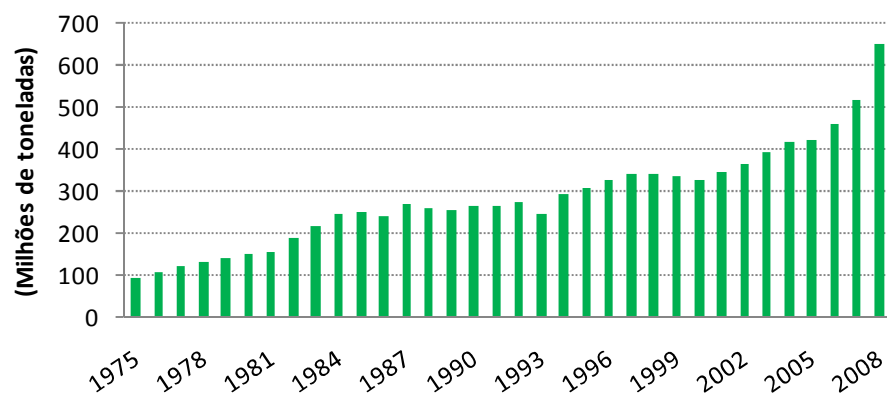


Figura 38: Evolução da produção brasileira de cana-de-açúcar

Fonte: Anuário Estatístico da Agroenergia – MAPA (2009), dados IBGE

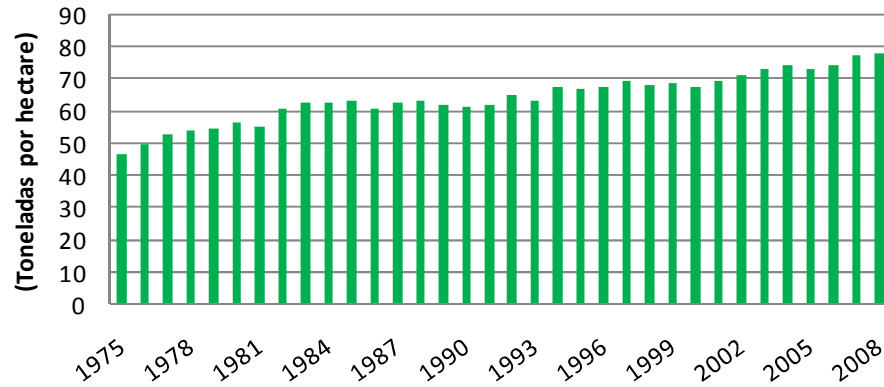


Figura 39: Evolução da produtividade brasileira de cana-de-açúcar

Fonte: Anuário Estatístico da Agroenergia – MAPA (2009), dados IBGE

O Centro de Tecnologia Canaveira (CTC) é uma associação civil de direito privado, sem fins lucrativos, voltada ao desenvolvimento tecnológico dos setores de cana-de-açúcar, açúcar, álcool e bioenergia e atua no desenvolvimento de pesquisas para toda a cadeia produtiva da cana-de-açúcar, do campo à agroindústria. Possui unidades associadas (usinas de açúcar e álcool, destilarias, companhias energéticas e associações de fornecedores de cana-de-açúcar) nos estados de Alagoas, Pernambuco, Minas Gerais, São Paulo, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Espírito Santo e Paraná.

De acordo com pesquisas realizadas pelo CTC, a tecnologia empregada na produção de cana-de-açúcar foi responsável por poupar cerca de 3 milhões de hectares de terra (Figura 40).

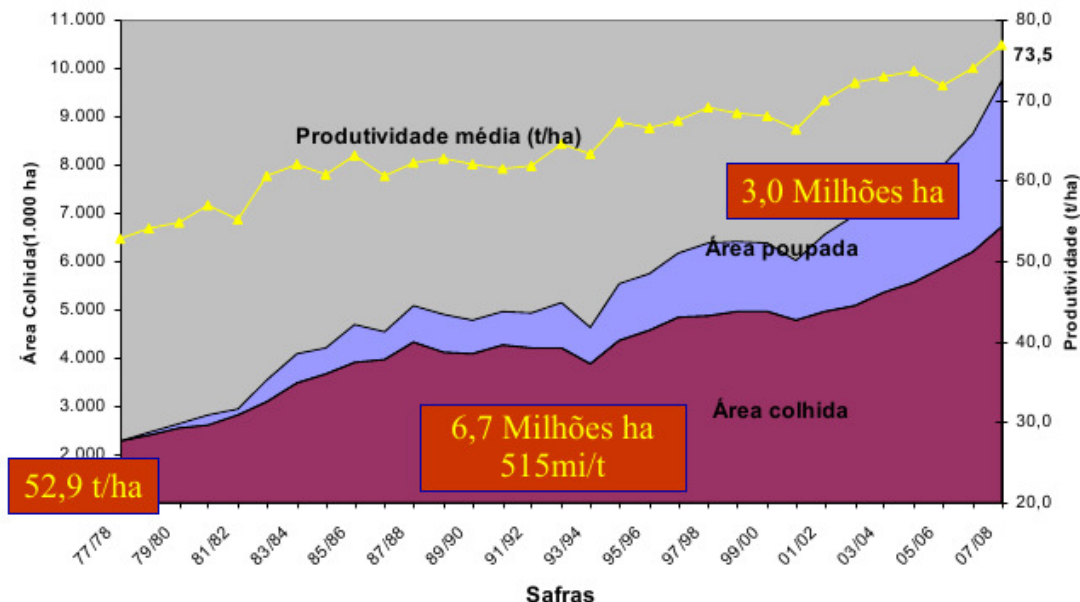


Figura 40: Área poupada pela introdução de tecnologia

Fonte: Donzelli – CTC (2008)

2.4.2 Indicadores sociais

2.4.2.1 Indicadores sociais agregados por Unidades Territoriais

Além dos indicadores de apontados no item 2.2, existe um conjunto muito importante de indicadores sócio-econômicos que pode dar sustentação a um acompanhamento do impacto da cultura da cana-de-açúcar na sustentabilidade de regiões brasileiras. Esses indicadores são usados para calcular o IDH-Municipal publicado pelo PNUD. A grande vantagem desses indicadores é que eles estão disponíveis em nível Municipal. No entanto, esses dados, assim como os anteriores somente estão disponíveis com uma frequência decenal que acompanha a dos Censos Demográficos do IBGE.

Selecionamos entre um grande número de indicadores publicados pelo PNUD, um conjunto de 7 indicadores que são úteis para medir o nível de bem-estar sócio-econômico de uma unidade territorial. Esses indicadores são apresentados no quadro abaixo.

Quadro 2: Indicadores para mensuração do impacto sócio-econômico

Categoria	Indicador
Educação	1) Percentual de pessoas de 15 anos ou mais analfabetas
	2) Percentual de pessoas de 18 a 24 com acesso ao curso superior
Renda	3) Renda per Capita
	4) Índice de Gini
Social	5) Intensidade da pobreza
	6) Mortalidade até cinco anos de idade
Sintético	7) Índice de Desenvolvimento Humano Municipal

Fonte: PNUD, Atlas de Desenvolvimento Humano

Os indicadores 1) , 2), 5) e 6) são menos sensíveis a pequenas melhoras das condições de vida da população pobre em países de nível intermediário de desenvolvimento como o Brasil. Eles descrevem melhor os diferenciais de condições de vida das populações de renda baixa. Uma melhora nesses indicadores revela uma substancial evolução das condições de vida dessa população. No caso dos indicadores de educação, a redução do percentual de analfabetismo é mais difícil como atestam os números da última PNAD. O mesmo pode ser dito da parcela da população com acesso ao ensino superior que costuma ser muito baixa no Brasil, mas é criticamente reduzida em regiões periféricas e distantes de grandes centros urbanos. Nos indicadores sociais, o índice de pobreza mede a parcela da população que não tem atendida o conjunto de necessidades básicas e não apenas as de alimentação. A mortalidade até cinco anos é mais amplo do que apenas a mortalidade infantil que se limita até um ano de idade. Os dois outros indicadores índice de Gini e índice de IDH sintetizam um conjunto de elementos, o primeiro sobre a distribuição de renda e o segundo sobre o nível de desenvolvimento da população.

Apresentamos a título de exemplo esses indicadores para os Municípios da Micro-Região de Ribeirão Preto nos anos de 1991 e de 2000, que era nessa última data a principal micro-região produtora de cana do Estado de São Paulo nessa última data. A análise desses dados é extremamente reveladora do tipo de desenvolvimento que vem ocorrendo nesses Municípios onde a atividade sucro-alcooleira está concentrada. Em primeiro lugar, nota-se uma melhora bastante sensível dos indicadores sócio-educacionais e de renda da grande maioria dos municípios, tanto dos mais básicos como taxa de analfabetismo, mortalidade infantil, como os mais avançados como taxa de enrolamento no ensino superior. A renda per capita subiu em quase todos os municípios, embora dois deles apresentem queda. Essa evolução se reflete em uma melhora de todos os IDHs no período.

No entanto, dois elementos pesam contra esse diagnóstico em geral bastante positivo. De um lado, um aumento do índice Gini em 9 dos 16 municípios da micro-região. Esse índice mede a distribuição de renda entre os residentes de cada município. A desigualdade de renda não é apenas perceptível no índice Gini, mas expressa-se em um maior desnível entre as rendas per capita médias dos municípios mais ricos e mais pobres.

Por outro lado, constata-se um agravamento generalizado do nível de pobreza nesses municípios. Tal evolução pode estar relacionada a fatores macro-econômicos, como a queda da renda dos trabalhadores verificada nesse período no país. Mesmo assim, essa evolução é preocupante, uma vez que esse indicador mede qual é a parcela da população que não tem condições de acesso a condições de vida básicas, medidas através da longevidade, nível educacional e renda suficiente para atender às necessidades básicas.

Tais evoluções se reproduzem nos mais importantes municípios do Estado de São Paulo onde a produção de cana ocupa uma parcela expressiva da atividade agrícola. Elas nos alertam para um acompanhamento sistemático dos desdobramentos dessa atividade econômica em nível micro-regional e municipal, para subsidiar políticas sociais e econômicas que busquem mitigar os efeitos concentradores indesejáveis.

Tabela 54: Indicadores de Desenvolvimento Humano em Municípios da Micro-Região de Ribeirão Preto por Município 1991 e 2000

Município	Percentual de pessoas de 15 anos ou mais analfabetas, 1991	Percentual de pessoas de 15 anos ou mais analfabetas, 2000	Percentual de pessoas de 18 a 24 com acesso ao curso superior, 1991	Percentual de pessoas de 18 a 24 com acesso ao curso superior, 2000	Renda per Capita, 1991	Renda per Capita, 2000	Índice de Gini, 1991	Índice de Gini, 2000	Intensidade da pobreza, 1991	Intensidade da pobreza, 2000	Mortalidade até cinco anos de idade, 1991	Mortalidade até cinco anos de idade, 2000	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal, 1991	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal, 2000
Barrinha (SP)	18,4	12,24	1,63	2,08	232,91	216,39	0,43	0,47	26,56	44,57	23,95	17,36	0,725	0,766
Brodósqui (SP)	12,09	7,6	4,79	7,93	274,37	315,9	0,45	0,43	26,59	34,16	26,25	13,49	0,753	0,805
Cravinhos (SP)	13,34	9,05	5,98	8,17	319,13	351,41	0,55	0,51	26,76	38,62	26,08	12,08	0,755	0,815
Dumont (SP)	14,81	9,56	2,1	3,97	316,99	332,75	0,47	0,49	32,79	39,51	26,25	15,19	0,752	0,802
Guatapar (SP)	15,34	12,48	3,88	1,76	318,87	234,81	0,53	0,51	36	48,83	26,16	15,46	0,752	0,776
Jardinópolis (SP)	12,63	7,58	5,11	6,34	278,03	323,88	0,51	0,51	32,01	34,54	26,25	13,64	0,747	0,808
Luís Antônio (SP)	10,45	8,58	0,65	2,02	223,93	286,33	0,43	0,52	36,68	45,63	37,85	17,36	0,717	0,795
Pontal (SP)	18,01	12,32	3,38	2,28	249,64	355	0,45	0,63	37,37	40,24	24,51	17,36	0,732	0,792
Pradópolis (SP)	15,62	11,5	2,03	5,1	277,43	280,04	0,42	0,44	33,51	42,53	18,22	13,64	0,765	0,798
Ribeirão Preto (SP)	6,64	4,44	10,74	16,5	465,2	539,84	0,53	0,56	36,56	46,67	18,22	11,99	0,822	0,855
Santa Rita do Passa Quatro (SP)	14,56	8,43	6,65	13,01	259,36	471,37	0,48	0,57	33,07	36,29	19,44	11,99	0,764	0,832
Santa Rosa de Viterbo (SP)	10,39	7,31	6,11	6,6	267,13	298	0,48	0,54	32,27	37,8	24,47	15,87	0,762	0,804
São Simão (SP)	10,3	6,38	5,61	6,39	287,24	312,81	0,55	0,53	35,55	41,35	26,16	17,36	0,764	0,801
Serra Azul (SP)	18,88	12,85	0,35	1,45	201,69	214,25	0,41	0,49	30,9	36,24	38,03	25,39	0,691	0,742
Serrana (SP)	13,88	9,19	0,01	3,06	256,23	237,34	0,44	0,45	32,52	38,67	26,16	17,36	0,75	0,775
Sertãozinho (SP)	11,77	8,39	5,29	11,77	339,68	397,11	0,51	0,52	29,43	40,56	21,85	11,99	0,776	0,833

Fonte: PNUD, Atlas de Desenvolvimento Humano

2.4.2.2 Indicadores de Nível e Qualificação do Emprego

A implantação da mecanização, principalmente na colheita de cana-de-açúcar, possibilita o aumento da produção utilizando um menor número de trabalhadores envolvidos nas atividades do setor agrícola sucroalcooleiro, conforme mostra a Figura 41. Verifica-se que o número de empregados, apesar de ter aumentado nos últimos anos, apresenta tendência de queda quando analisamos os últimos 30 anos da cultura, principalmente se considerarmos o aumento significativo da produção de cana-de-açúcar, houve um aumento de 120% na produção e uma redução de 38,7% no número de empregados, como se observa na Figura 41.

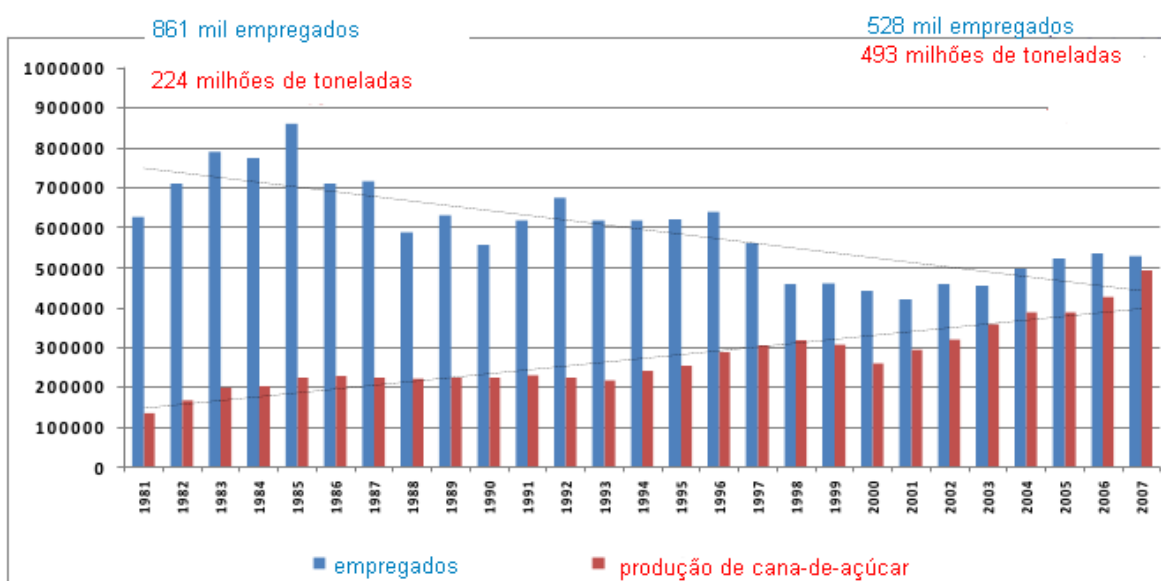


Figura 41: Evolução do número de empregados agrícolas e da produção de cana-de-açúcar

Fonte: elaborado Por Moraes (2009) a partir de PNAD (vários anos)

A partir desses dados, verifica-se que a produtividade por trabalhador em 1981 era de 260 toneladas por safra, passou a ser de 933 toneladas em 2007. Esse aumento expressivo (258%) da produtividade do trabalhador por safra se deu em virtude da implantação da mecanização e, também, das demais tecnologias tais como novas variedades de cana e fertilizantes.

Os dados utilizados por Moraes (2007, 2009) foram obtidos a partir da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD), vários anos, CD ROM, considerando o número de empregados (formais), e não de trabalhadores (informais), da atividade de cana-de-açúcar (código de atividade 01105). É ressaltado no trabalho de Moraes (2007) que a PNAD fornece um panorama de ocupação formal e informal e que possui caráter amostral, permitindo expansão dos resultados para todas as áreas do país, sendo elaborada desde 1967, porém de forma descontínua. Outras fontes de dados utilizadas por Moraes (2007, 2009) foram o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, vários anos, e Registros Administrativos do Ministério do Trabalho e Emprego (RAIS) – Ministério do Trabalho. RAIS possui informações de caráter sociodemográfico e profissional, podendo ser

agregada/desagregada ao longo dos eixos temporais (1986 a 2000) espaciais (nacional, regional, estadual, municipal), econômico, natureza jurídica dos estabelecimentos empregadores e portes dos estabelecimentos, utilizando as classes 01139 (cultivo de cana-de-açúcar), 15610 (usinas de açúcar), 15628 (refino e moagem de açúcar) e 23400 (produção de álcool), conforme nota de Moraes (2007).

A evolução da colheita mecânica é bastante observada na região Centro-Sul, principalmente no estado de São Paulo, onde o Protocolo Agroambiental firmado pelas usinas antecipa o fim das queimadas nos canaviais.

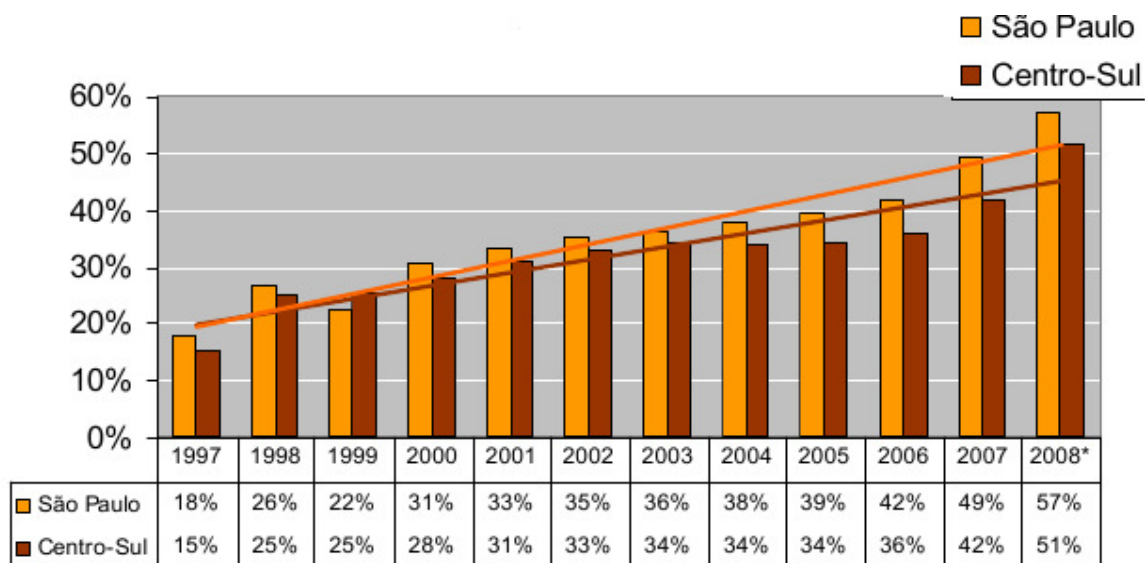


Figura 42: Evolução da colheita mecânica

Fonte: CTC (2008) * dados até maio de 2008

Na região Nordeste o índice de mecanização ainda é bastante pequeno em virtude das limitações das máquinas existentes em operar em terrenos declivosos (acima de 12% de inclinação).

Com a mecanização a faixa etária dos trabalhadores concentra-se entre 20 e 50 anos, com maior ênfase na faixa de 20 a 30 anos. Este aumento na faixa etária também indica uma redução no trabalho infantil (OLIVEIRA, 2009).

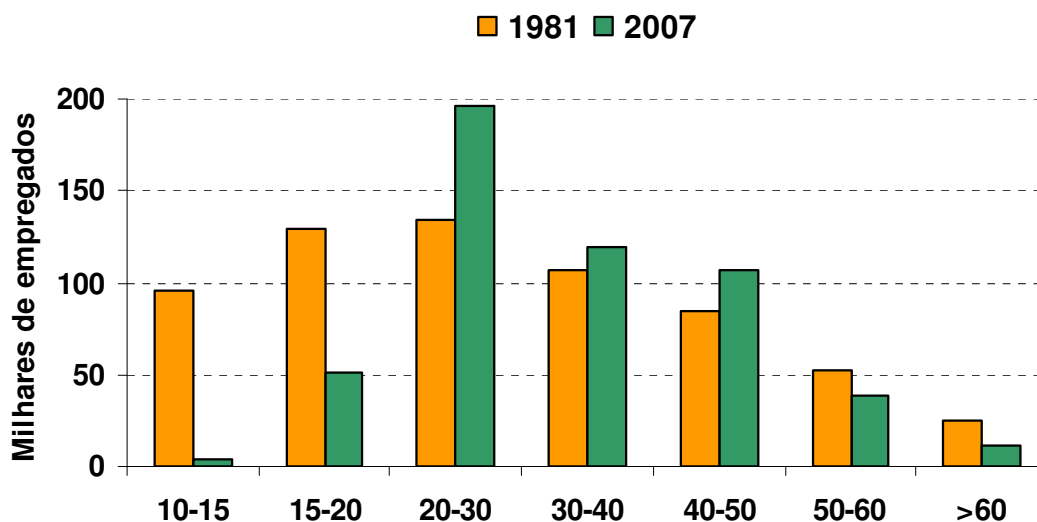


Figura 43: Número de empregados por faixa etária na cana-de-açúcar

Fonte: Adaptado de Moraes (2009) elaborado a partir de PNAD (vários anos)

Com a introdução da tecnologia o nível de escolaridade dos trabalhadores exigido é maior, o que acarreta no aumento de anos de estudo dos funcionários envolvidos na cultura de cana-de-açúcar, como pode ser observado na Figura 2.4.8.

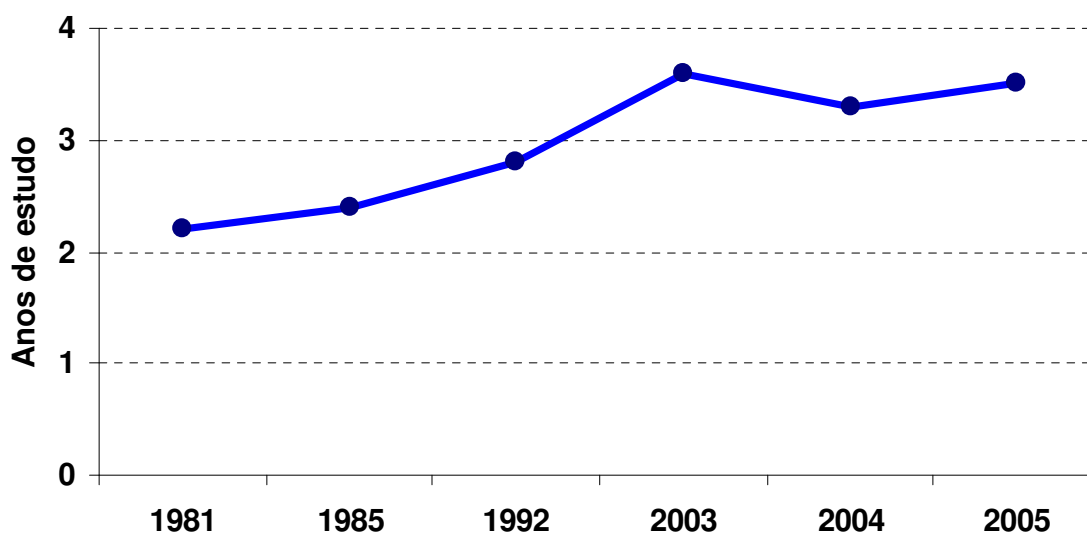


Figura 44: Evolução dos anos de estudo dos trabalhadores da cana-de-açúcar no Brasil

Fonte: Adaptado de Moraes (2007) elaborado a partir de PNAD (vários anos)

No período de 1992 a 2007, a Figura 45 mostra expressivo aumento do número de empregados com qualificação na cana-de-açúcar. Em Oliveira (2009) foram analisados dois grupos: não especializado (bóia-fria, colhedor,

trabalhador braçal e volante) e especializado (supervisor, administrador, tratorista, técnico e demais funções).

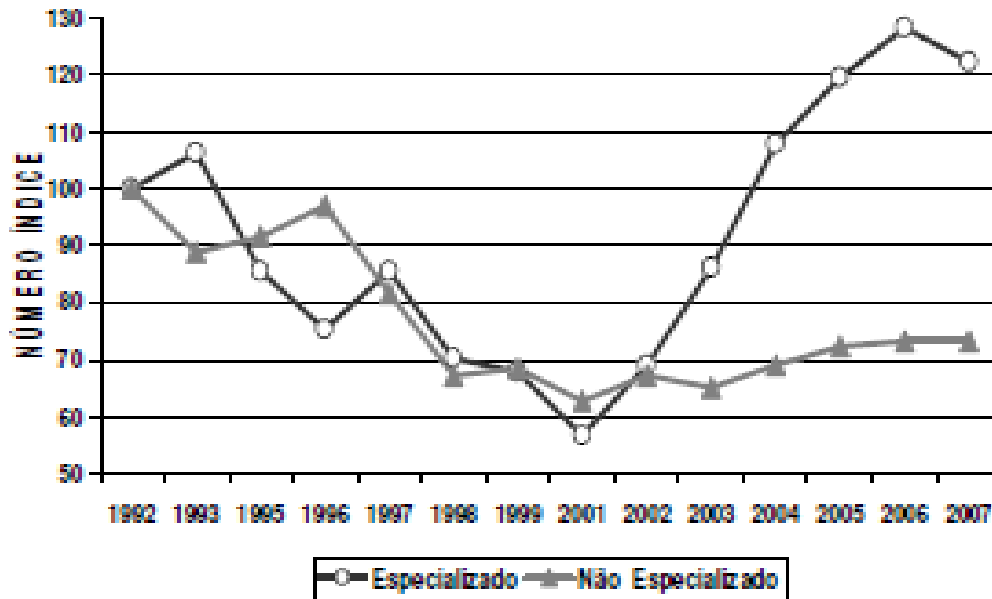


Figura 45: Empregados na cana-de-açúcar de acordo com especialização, Brasil

Fonte: IBGE (1992-2007) apud Oliveira (2009)

As pessoas que estão empregadas na mecanização da cana-de-açúcar (operadores de máquinas) e as que possuem especialização apresentam remuneração superior àquelas que não possuem especialização, como mostra a Figura 46.

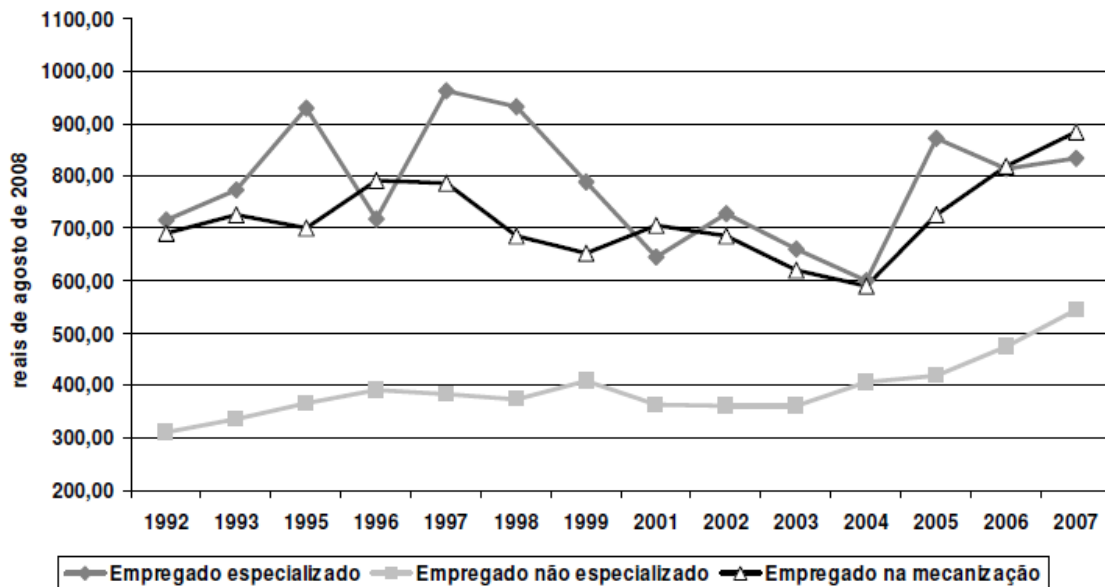


Figura 46: Remuneração média do trabalho principal das pessoas empregadas na cana-de-açúcar segundo a ocupação, Brasil

Fonte: IBGE (1992-2007) apud Oliveira (2009)

Verifica-se que ao longo dos anos o setor tem exigido trabalhadores mais bem preparados e, em contrapartida, tem oferecido melhores condições de trabalho. O índice de trabalhadores com registro em carteira (formais) apresenta significativo aumento.

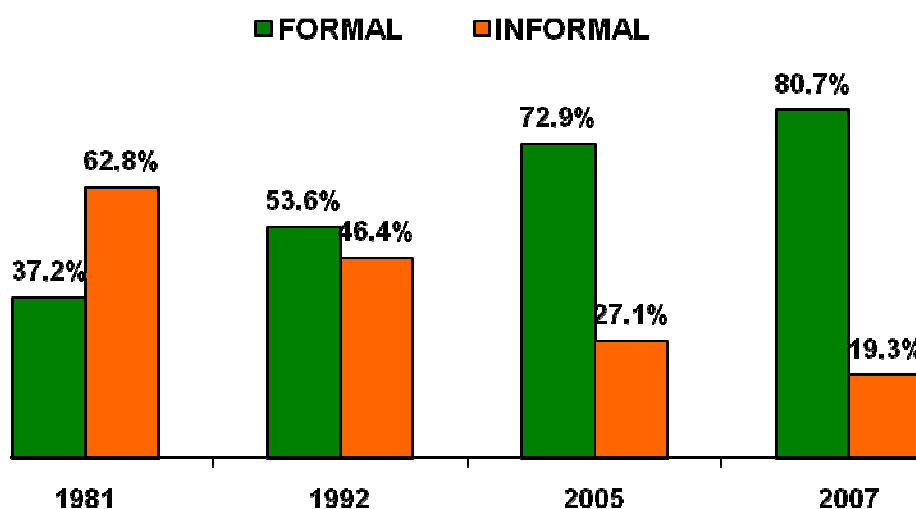


Figura 47: Evolução da formalização dos trabalhadores da cana-de-açúcar no Brasil

Fonte: adaptado de Moraes (2007, 2009) elaborado a partir de PNAD (vários anos)

Quando se analisa o estado de São Paulo, o índice de trabalhadores formais apresenta um crescimento ainda mais expressivo, como pode ser observado na Figura 2.4.12.

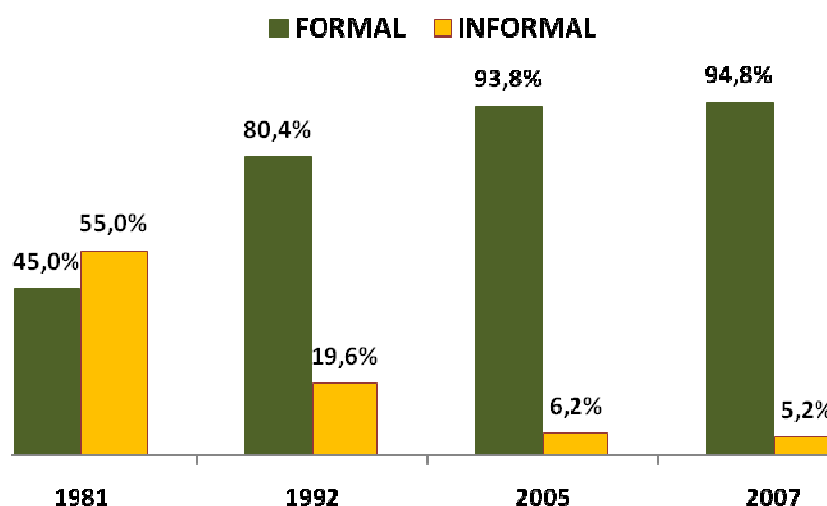


Figura 48: Evolução da formalização dos trabalhadores da cana-de-açúcar no estado de São Paulo

Fonte: adaptado de Moraes (2007, 2009) elaborado a partir de PNAD (vários anos)

2.4.3 Indicadores ambientais

Na colheita mecânica, a cana é colhida picada, o que inviabiliza a lavagem da cana, já que a perda de açúcar é grande. A não lavagem da cana tem aumentado as impurezas minerais, no entanto a taxa de água captada tem apresentado um decréscimo, como podemos observar na Figura 49 e Figura 50, respectivamente.

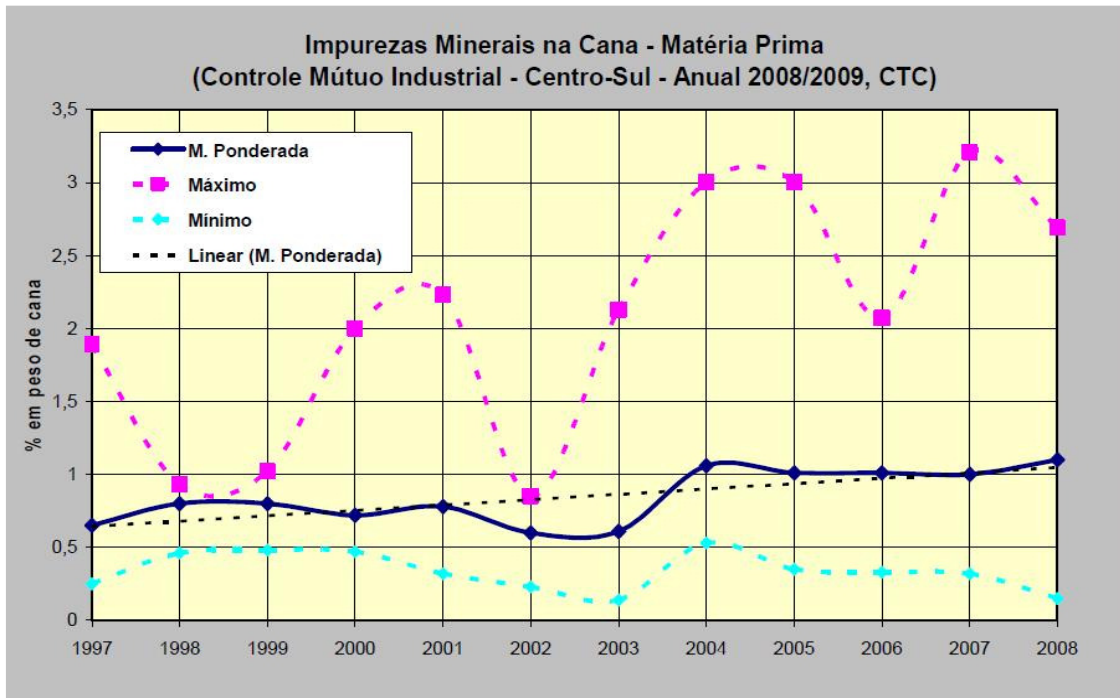


Figura 49: Impurezas minerais na cana – matéria-prima

Fonte: Elia Neto - CTC (2009)

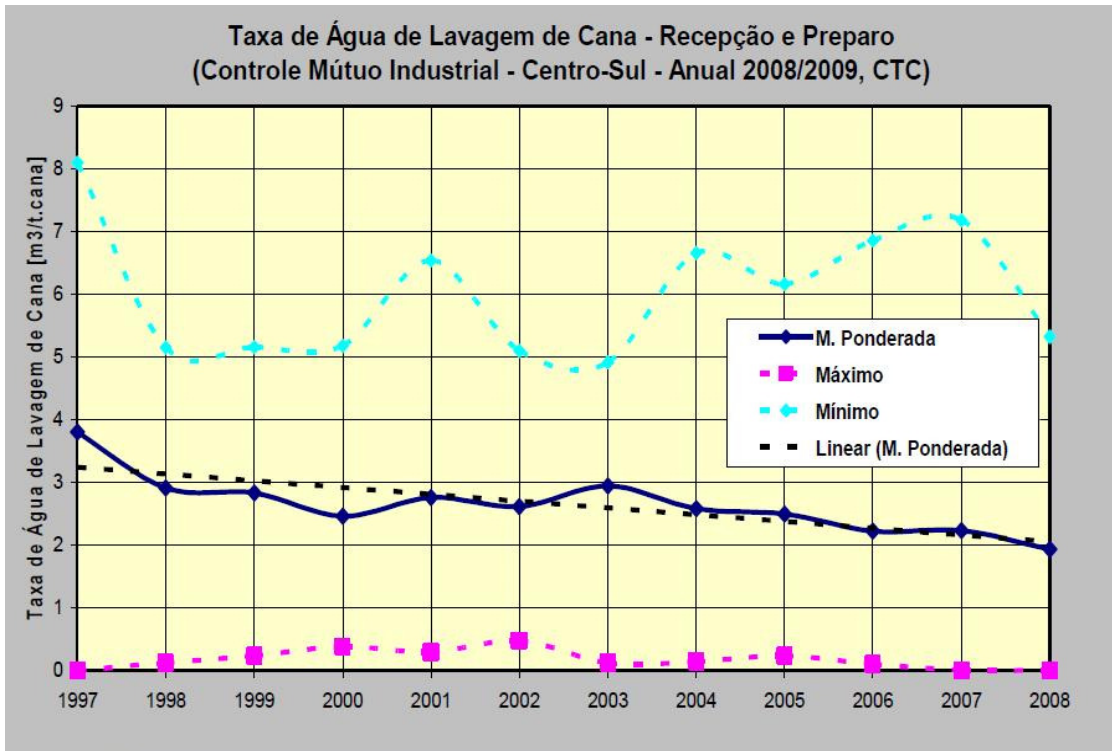


Figura 50: Taxa de água de lavagem de cana – recepção e preparo

Fonte: Elia Neto - CTC (2009)

Nos últimos anos verifica-se racionalização de consumo de água e maior preocupação com a reutilização, possibilitando atingir a média de captação de água de 1m³ por tonelada de cana em médio prazo (Elia Neto, 2005).

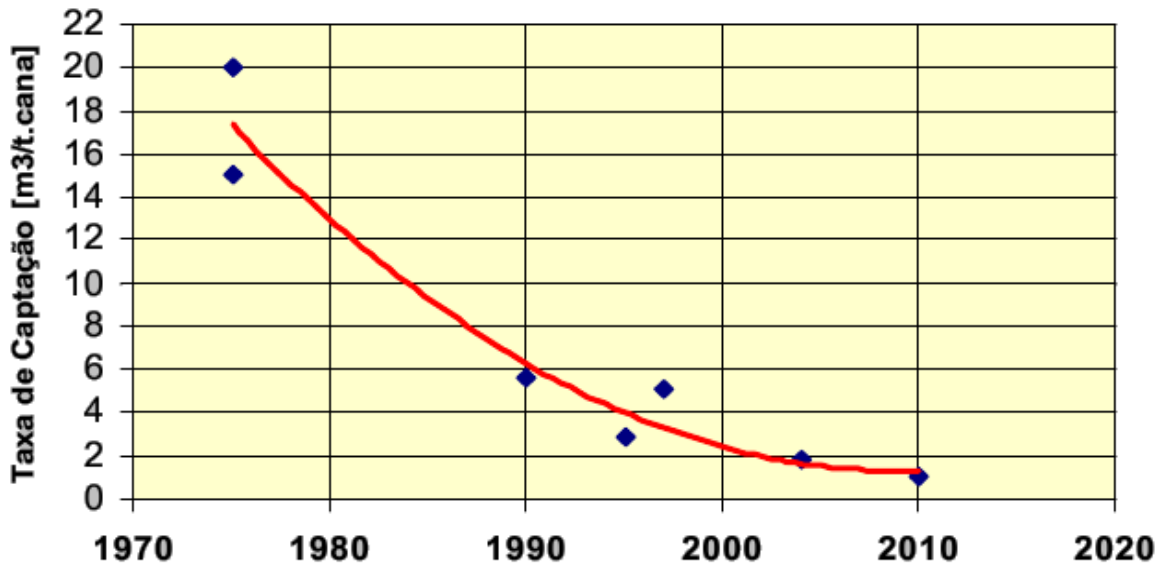


Figura 51: Curva de tendência da taxa de captação de água na indústria canieira

Fonte: Elia Neto - CTC (2009)

2.4.4 Síntese dos Indicadores de Sustentabilidade

Em decorrência do esforço realizado neste capítulo apresentamos um conjunto de indicadores que seriam importantes para acompanhar a sustentabilidade da atividade da agro-indústria em suas diferentes dimensões. Esses indicadores foram divididos de acordo com seu nível de cobertura em agregados, quando dizem respeito a unidades geográficas como o País, a Macro-Região, Estado, Micro-Região ou Município, micro, quando sua unidade de análise consiste na unidade de produção.

Quadro 3: Indicadores Agregados de Sustentabilidade

Nome	Fórmula	Fonte de Informação	Unidade Territorial
Impacto Econômico Direto e Indireto	PIB/MJ de Etanol	Matriz Insumo-Produto do IBGE e BEN	Brasil
Impacto Social Direto e Indireto	Emprego Direto e Indireto/MJ de Etanol	Matriz Insumo-Produto do IBGE, PNAD e BEN	Brasil
Energia Líquida/Energia Bruta	MJ de Etanol/(MJ de Etanol + Custo Direto e Indireto)	Matriz Insumo-Produto do IBGE e BEN	Brasil
Razão Custo Energético/Energia Líquida	Custo de Energia Direta e Indireta/MJ de Etanol	Matriz Insumo-Produto do IBGE e BEN	Brasil
Renovabilidade dos Custos Energéticos	Proporção de Energia Renovável nos Custos Energéticos Diretos e Indiretos	Matriz Insumo-Produto do IBGE e BEN	Brasil
Razão Custo Fóssil/Energia Líquida	Custos Energéticos Diretos e Indiretos Fósseis/Etanol	Matriz Insumo-Produto do IBGE e BEN	Brasil
Taxa de Emissão de Gases de CO ₂	CO ₂ Direto e Indireto/MJ de Etanol	Matriz Insumo-Produto do IBGE e BEN	Brasil
Taxa de Ocupação da Cana	Área Plantada com Cana/Área Plantada com Culturas Temporárias	PAM-IBGE	Brasil Estados Micro-regiões Municípios
Taxa de Ocupação Total da Cana	Área Plantada com Cana/Área de Estabelecimentos Agrícolas	PAM-IBGE Censo Agropecuário IBGE	Brasil Estados Micro-regiões Municípios
Substituição de Áreas	Variação de Área com Cana/Variação de Área Agrícola e Pecuária	PAM-IBGE Censo Agropecuário IBGE	Brasil Estados Micro-regiões Municípios

Quadro 4: Indicadores Agregados de Sustentabilidade

Nome	Fórmula	Fonte de Informação	Unidade Territorial
Nível de Emprego	No de Trabalhadores	PNAD	Brasil
Nível de Escolaridade	No de Trabalhadores por faixa de ano de estudo	PNAD	Brasil
Nível de renda dos Trabalhadores	No de Trabalhadores por faixa de ano de estudo	PNAD	Brasil
Taxa de Analfabetismo Adulto	Percentual de Analfabetos com mais de 15 anos	Atlas de Desenvolvimento Humano	Brasil Estados Micro-regiões Municípios
Taxa de Enrolamento no Curso Superior	Percentual de população em Curso Superior sobre faixa de 18 a 24 anos	Atlas de Desenvolvimento Humano	Brasil Estados Micro-regiões Municípios
Mortalidade Infantil	N. de Mortes até 5 anos/População até 5 anos	Atlas de Desenvolvimento Humano	Brasil Estados Micro-regiões Municípios
Renda per Capita	Rendimentos/N. de Habitantes	Atlas de Desenvolvimento Humano	Brasil Estados Micro-regiões Municípios
Índice de Gini	Mede a Disparidade da Distribuição de Renda por faixa da População	Atlas de Desenvolvimento Humano	Brasil Estados Micro-regiões Municípios
Índice de Pobreza	Percentual da População vivendo abaixo do nível de pobreza	Atlas de Desenvolvimento Humano	Brasil Estados Micro-regiões Municípios
IDH	Indicador Sintético (Esperança de Vida ao nascer, taxa de alfabetização de adultos, taxa de escolarização bruta, PIB per capita)	Atlas de Desenvolvimento Humano	Brasil Estados Micro-regiões Municípios

Quadro 5: Indicadores Micro para a Sustentabilidade

Nome	Fórmula	Fonte de Informação	Unidade Territorial
Custo de Produção da Cana	Custos Totais de Capital e Operacionais/Produção Total	Unidades Agrícolas ou Consecana	
Custo de Produção do Etanol	Custos Totais de Capital e Operacionais/Produção Total	Usinas ou Consecana	
Rendimento Agrícola	Tonelada/hectare plantada	PAM-IBGE MAPA	Município Micro-Região Estado Brasil
Teor de sacarose da cana	ATR/tonelada de cana	Anuário Estatístico MAPA	Usina Estado Brasil
Taxa de Mecanização da Colheita	Área de colheita mecanizada/área total colhida	UNICA	São Paulo
Impureza da Cana	Peso das Impurezas/peso da cana na usina	CTC	Usina/São Paulo
Taxa de Água de Lavagem	M ³ de Água de Lavagem/tonelada de cana na usina	CTC	Usina/São Paulo
Taxa de Captação de Água	M ³ de Água captada/tonelada de cana na usina	CTC	Usina/São Paulo
Conteúdo energético da cana em pé	Energia contida na cana em pé (caldo+bagaço+palha)		
Conteúdo energético da Cana na Usina	Energia contida na cana na esteira (caldo+bagaço+palha aproveitada)		
Custo energético total	Total da energia da cana utilizada no processo industrial/conteúdo energético da cana		
Custo energético unitário	Energia da Cana usada para produzir uma unidade de álcool, açúcar, eletricidade de exportação		

OE3. Subsídios para a agenda nacional e internacional de certificação de produtos e de processos produtivos do bioetanol²³

3.1 Levantamento das iniciativas atuais, nacionais e internacionais, de certificação

3.1.1 Introdução

No Mundo, há várias iniciativas destinadas a assegurar a sustentabilidade na produção, comercialização e uso de biocombustíveis. Essas iniciativas não implicam, necessariamente, a certificação da produção, embora essa seja a consequência natural do processo, tendo em vista a necessidade, na prática, de comprovação da observância de procedimentos e do cumprimento de critérios. Há de ser fazer a distinção entre o cumprimento de *standards*, que são relativos aos produtos (e.g., teor máximo de água, pH, teor de iodo, etc., no caso de biocombustíveis) e a certificação da cadeia produtiva, o que requer conhecimento específico de como a produção ocorre e como se dá a comercialização e o uso final.

Há várias iniciativas voltadas a definição de critérios de sustentabilidade de biocombustíveis (i.e., etanol e biodiesel) mas, até agora, poucas iniciativas de certificação, até porque enquanto os critérios e os indicadores não estiverem definidos, haverá muitas incertezas e riscos.

Algumas das iniciativas de definição de princípios, critérios e indicadores de sustentabilidade são conduzidas com a antevissão de como poderá ser feita a certificação, e por quem a mesma será feita. Algumas dessas iniciativas, como a Roundtable on Sustainable Biofuels (RSB), visam sobretudo homogeneizar os critérios e identificar processos de certificação já existentes.

Neste relatório são apresentadas e analisadas as iniciativas atuais, nacionais e internacionais, que visam assegurar a sustentabilidade dos biocombustíveis. Algumas dessas iniciativas envolvem também a certificação.

O levantamento das iniciativas foi feito a partir de revisão da literatura e de informações obtidas em contato com grupos no Brasil e no exterior, que acompanham a discussão e que participam das decisões que estão sendo tomadas.

3.1.2 Visões sobre a Sustentabilidade dos Biocombustíveis

Sustentabilidade é um termo de amplo significado e de definição complexa (face a abrangência do conceito), que tem sido aplicado a quase todos os sistemas naturais ou atividades humanas. Há diferentes visões sobre a sustentabilidade, uma vez que, em sendo um conceito normativo, está

²³ Pesquisadores responsáveis: Arnaldo Cesar da Silva Walter (NIPE/UNICAMP) e Manoel Regis Lima Verde Leal (CENEA – Centro de Energias Alternativas e Meio Ambiente).

associada a diferentes valores, percepções e preferências. Em particular, no caso dos biocombustíveis não há consenso sobre os princípios básicos da sustentabilidade (RSB, 2008), princípios esses que indicam as diferentes visões a respeito.

Entende-se que a sustentabilidade tem três dimensões, ou seja, uma atividade econômica precisa ser economicamente viável, socialmente desejável e ambientalmente adequada (Nações Unidas, 2005). Em relação aos biocombustíveis, a viabilidade econômica está associada não apenas à necessária competitividade em relação aos combustíveis fósseis que são/serão substituídos (i.e., gasolina e diesel), mas também enquanto alternativa de mitigação das emissões de GEE. Em outras palavras, é preciso que a produção de biocombustíveis seja economicamente viável em relação aos combustíveis tradicionais, sem a necessidade de contínuos subsídios, mas que também os custos das emissões evitadas, expressos por exemplo em $\$/tCO_2$ evitado, sejam moderados em relação aos das demais alternativas de mitigação. Atualmente, entre os biocombustíveis apenas o etanol produzido a partir da cana-de-açúcar, no Brasil, tem custos de produção abaixo dos da gasolina, desde que os preços internacionais do petróleo não sejam inferiores a 45-50 US\$/barril²⁴. Uma vez que o balanço de emissões de GEE do etanol brasileiro é o mais favorável entre os biocombustíveis existentes, os custos das emissões evitadas são também os menores (IEA, 2004). Tal fato é reconhecido internacionalmente e, conseqüentemente, a dimensão econômica da sustentabilidade da produção de etanol no Brasil não tem sido questionada. Já o mesmo não ocorre com relação ao etanol produzido a partir de milho e trigo, bem como com relação ao biodiesel produzido a partir de qualquer oleaginosa.

No que diz respeito à dimensão social, e como não poderia ser diferente, a expectativa é que a produção de biocombustíveis possibilite a melhoria das condições de vida dos trabalhadores e das comunidades diretamente envolvidas (e.g., RSB, 2008). Aspectos que são considerados importantes são a geração de empregos, as condições de trabalho, o respeito dos direitos dos trabalhadores e a não indução a conflitos pela posse de terra. Nesse caso, o princípio básico é o cumprimento das Convenções da Organização Internacional do Trabalho, bem como o respeito aos Direitos Humanos.

Um segundo aspecto está associado ao risco potencial de que a produção de biocombustíveis impacte negativamente a oferta de alimentos, em função da competição pela terra e pela maior demanda de biomassa que é tradicionalmente consumida como alimento ou ração. Este aspecto é uma das principais razões para o desenvolvimento das rotas tecnológicas que poderão levar aos chamados biocombustíveis de segunda geração, produzidos a partir de biomassa celulósica, que não tem uso alimentar, e que pode ser produzida em regiões menos aptas à agricultura (e.g., em solos de menor fertilidade). Em 2007 e 2008, a escalada na produção de

²⁴ Supondo custos de produção do etanol entre 590 e 660 R\$/m³, relação de equivalência 1 litro de etanol = 0,85 litro de gasolina, câmbio 1 US\$ = 2,2 R\$, e que o custo de um barril de gasolina seja 12% superior ao preço de um barril de petróleo.

biocombustíveis foi apontada como a principal causa da elevação dos preços dos alimentos. Ainda há questionamentos a respeito, apesar da posterior redução de seus preços, e mesmo tendo a produção de biocombustíveis continuado a crescer.

Já a dimensão ambiental da sustentabilidade dos biocombustíveis é bem mais ampla, pois múltiplos aspectos são considerados. Cabe observar que os questionamentos mais freqüentes não estão associados aos potenciais impactos devido ao uso final dos biocombustíveis, uma vez que aceita-se que as desvantagens, se existentes, seriam poucas e de menor importância. Por exemplo, pode haver problemas associados ao aumento da emissão de aldeídos, no caso do uso de etanol e, eventualmente, maiores emissões de óxidos de nitrogênio no caso do uso de biodiesel. Por outro lado, são recorrentes os questionamentos sobre impactos ambientais ao longo da cadeia produtiva de biocombustíveis.

A crítica mais freqüente está associada à hipótese de que a produção de biocombustíveis possa causar, direta ou indiretamente, desmatamento. É fato que o crescimento da produção de biodiesel a partir de dendê, na Malásia e na Indonésia, tem ocorrido às custas da destruição de florestas tropicais (nesse caso, são impactos diretos) (Friends of Earth, 2005; WWF, 2002) e, de uma certa forma, a mesma hipótese tem sido levantada a respeito dos efeitos indiretos da expansão de cana-de-açúcar no Brasil, sobre o avanço do desmatamento no Cerrado e na Amazônia (no caso, impactos indiretos).

A respeito, os princípios básicos são de que a produção de biomassa não ponha em risco biomas sensíveis e que devem ser preservados (RSB, 2008), e que a produção de biomassa não ocorra em florestas primárias, em pântanos e em regiões que têm alta biodiversidade (European Parliament, 2008)²⁵.

Por outro lado, o principal princípio relacionado à sustentabilidade dos biocombustíveis é a necessidade de que as emissões evitadas de GEE atinjam valores mínimos, isso em relação aos combustíveis fósseis substituídos. A avaliação deve ser feita tendo por base o ciclo de vida do biocombustível e da gasolina (ou diesel). Há quase que um consenso de que as emissões de GEE associadas aos impactos diretos da mudança do uso da terra devem ser consideradas na análise, mas há divergências quanto à consideração dos impactos indiretos. Por exemplo, no caso da Diretiva da União Européia²⁶, considerados os impactos diretos da mudança do uso da terra, a redução mínima deve ser de 35% em relação aos ciclos de vida da gasolina e do diesel, a partir de 2010, e esse patamar será elevado a 50% a partir de 2017 (60% no caso de novas unidades produtoras). Os impactos indiretos da mudança do uso da terra não serão considerados inicialmente, mas há pressão para que isso ocorra a partir de 2010-2011. A não consideração inicial deve-se ao entendimento de que não há base científica

²⁵ As Diretivas da Comissão Européia definem áreas em que a produção da biomassa não pode ocorrer – as chamadas "no-go areas".

²⁶ Renewable Energy Directive, que tem uma Fuel Quality Directive.

minimamente sólida para essa avaliação. Algumas organizações apresentam outro argumento, o de que o produtor só pode ser responsabilizado por seus atos, e que o mesmo não tem controle sobre impactos indiretos.

Outros aspectos ambientais considerados prioritários estão associados aos princípios de que a produção de biocombustíveis não pode impactar negativamente os recursos hídricos, a qualidade do ar e o solo. Os critérios correspondentes estão associados ao uso mínimo de fertilizantes e agrotóxicos, à não contaminação de corpos d'água, à minimização da produção de resíduos e à sua disposição adequada, ao emprego de técnicas que evitam a erosão, etc.

3.1.3 Iniciativas Voltadas a Sustentabilidade dos Biocombustíveis

3.1.3.1 Iniciativas Internacionais

A seguir são apresentadas iniciativas internacionais voltadas à maior sustentabilidade da produção de biocombustíveis. Como há múltiplas iniciativas, foram destacadas aquelas consideradas mais importantes, em função de sua repercussão, abrangência, ou pioneirismo. A ordem de apresentação não indica entendimento de maior ou menor relevância, por parte dos autores deste relatório.

União Européia

Os critérios de sustentabilidade de biocombustíveis na União Européia (UE) foram definidos pelo Parlamento Europeu em Dezembro de 2008. A publicação da legislação correspondente estava prevista para Maio de 2009.

No que diz respeito à promoção de fontes renováveis de energia, a Diretiva define metas para seu uso em transportes, e critérios de sustentabilidade para os biocombustíveis. Os supridores de energia para sistemas de transportes devem assegurar a redução das emissões de GEE associadas a seu suprimento em 6% no período 2011-2020, isso em relação às emissões de combustíveis fósseis em 2010. Esses agentes devem também apresentar avaliações das emissões de GEE no ciclo de vida dos energéticos a partir de 2011.

Em todos os Estados Membros da UE, ao menos 10% da demanda energética em transportes, em 2020, deve ser atendida por fontes renováveis, biocombustíveis entre elas. Biocombustíveis produzidos a partir de materiais lignocelulósicos e resíduos terão suas emissões evitadas contabilizadas em dobro. As emissões de GEE devem ser reduzidas no mínimo em 35% em relação àquelas do ciclo de vida de gasolina e diesel já a partir de 2010, chegando esse limite a 60% em 2017 (com a ressalva de que as emissões evitadas poderão ser 50% no caso das unidades já existentes naquele ano).

Na avaliação, as emissões associadas aos impactos diretos da mudança do uso da terra devem ser consideradas, mas não aquelas associadas aos impactos indiretos, pois entendeu-se que o estágio atual do conhecimento não permite sua inclusão. A prudência deve-se ao risco de que poderiam

haver questionamentos junto a Organização Mundial do Comércio (OMC). Entretanto, em 2010 a Comissão Europeia irá propor procedimentos que poderão resultar na consideração dos impactos indiretos (Hodson, 2009). Organizações Não Governamentais – ONGs – têm criticado a decisão Europeia porque iniciativas posteriores nos EUA (ver a seguir) incluem os impactos indiretos da mudança do uso da terra na avaliação das emissões de GEE.

A Diretiva Europeia também tem foco na preservação da biodiversidade e de biomas sensíveis, uma vez que biocombustíveis derivados de biomassa produzida em áreas antes ocupadas por florestas, áreas protegidas, pântanos, etc., não serão elegíveis. A Diretiva não impede a comercialização e o uso de biocombustíveis produzidos nessas áreas, mas os mesmos não poderão ser contabilizados para o cumprimento de metas.

Em adição, aspectos sociais da produção de biocombustíveis deverão ser reportados nos relatórios periódicos (que serão feitos a cada dois anos) que serão apresentados pelos Estados Membros e, nesse sentido, a referência são as convenções da Organização Mundial do Trabalho (OIT) (De Dominicis, 2009). Os Estados Membros terão a responsabilidade formal pela apresentação das informações e por sua veracidade. Os mesmos deverão exigir dos respectivos agentes econômicos comprovação de auditoria independente. A produção de biocombustíveis que for reconhecida em conformidade com as Diretrizes por um Estado Membro terá de ser reconhecida como tal pelos demais Estados Membros.

Governo da Califórnia

A iniciativa do estado da Califórnia é conhecida como Low Fuel Carbon Standard (LFCS) e tem como objetivo a redução das emissões de GEE em transportes em 10%, até 2020, isso em relação às de 1990. Além da redução das emissões de GEE, são também objetivos a redução da dependência de petróleo e a criação de mercado para tecnologias energéticas limpas no setor de transportes. A redução da dependência de petróleo é, provavelmente, a principal razão. Valores de referência para as emissões de GEE estão sendo propostos para gasolina e os energéticos que poderão substituí-la, bem como para diesel e seus sucedâneos (CARB, 2009). A metodologia de avaliação desses valores de referência ainda está em discussão; no caso do etanol produzido a partir de cana, no Brasil, há questionamentos sobre hipóteses consideradas na avaliação das emissões associadas à produção e sobre a metodologia e a base de dados empregadas na avaliação das emissões associadas aos impactos indiretos da mudança do uso da terra.

Na Califórnia, o cronograma estabelece metas que são mais ambiciosas nos últimos cinco anos do período 2011-2020, o que é justificado pela expectativa de se ter mais alternativas de redução das emissões de GEE em transportes no fim da próxima década (e.g., veículos híbridos, elétricos, movidos a células a combustível, biocombustíveis de segunda geração, etc.). Portanto, os biocombustíveis são identificados apenas como uma solução de mitigação das emissões de GEE. Os combustíveis de referência em 2020 seriam gasolina reformulada com 10% de etanol produzido a

partir de milho (base volumétrica) e diesel mineral com baixo teor de enxofre.

No final do período 2011-2020 os agentes econômicos responsáveis pelo suprimento de energéticos ao sistema de transporte farão um balanço de resultados, quantificando créditos e débitos em relação às metas previstas. Os agentes que tiverem créditos poderão comercializá-los com aqueles que não conseguirem cumprir suas metas.

O LFCS na Califórnia é focado apenas na redução das emissões de GEE. Por outro lado, o Air Resources Board (ARB) da Califórnia está comprometido em propor critérios de sustentabilidade para energéticos no setor de transportes até 2013. Dessa forma, outros aspectos da sustentabilidade serão considerados. No momento, a análise de impactos ambientais feita pelo ARB avaliará os impactos do programa LFCS sobre a qualidade dos recursos hídricos, sobre os recursos biológicos, os solos, geração e disposição de resíduos, etc. (CARB, 2009).

Environmental Protection Agency – EUA

A Environmental Protection Agency – EPA, do Governo dos Estados Unidos, está propondo revisões ao programa National Renewable Fuel Standard (RFS), de 2005. Segundo a EPA, as alterações são necessárias devido ao Energy Independence and Security Act (EISA) de 2007. Além da definição de novas metas para produção e consumo de biocombustíveis avançados, e biocombustíveis produzidos a partir de materiais celulósicos, são propostas novas metas de redução das emissões de GEE (EPA, 2009a).

A produção e o consumo de biocombustíveis avançados e produzidos a partir de materiais celulósicos será crescente ao longo dos anos, e a parcela que será reservada aos combustíveis renováveis poderá ser atendida pela produção de etanol a partir de milho (15 bilhões de galões a partir de 2015), sem maiores dificuldades. Os percentuais de redução das emissões de GEE quando do uso biocombustíveis, em relação ao uso de combustíveis fósseis tradicionais, em 2005, foram definidos pelo EISA como indicados abaixo (EPA, 2009a):

- combustíveis renováveis, para unidades construídas após Dezembro de 2007, redução de 20% das emissões de GEE em relação à linha de base de 2005;
- biocombustíveis avançados e diesel produzido a partir de biomassa, redução de 50% das emissões de GEE;
- biocombustíveis produzidos de materiais celulósicos, 60% de redução das emissões de GEE.

Uma questão importante é que as emissões evitadas que estão sendo atribuídas como passíveis de serem alcançadas pelo etanol brasileiro quando consumido nos EUA, são apenas 44% (EPA, 2009b) (mesmo assim em um horizonte de avaliação de 100 anos, empregando-se taxa de

desconto de 2% ao ano para as emissões futuras). A avaliação inclui as emissões associadas à mudança do uso da terra e não está claro, até o momento, qual a base de avaliação empregada pela EPA. Assim, o etanol brasileiro não seria classificado como biocombustível avançado, e teria de concorrer com a produção doméstica de etanol a partir de milho em um mercado bastante restrito.

O relatório mais detalhado da EPA (ainda em versão *draft*) tem mais de 800 páginas e foi divulgado a menos de um mês (EPA, 2009c). Será analisado com detalhes nas próximas semanas, pois é preciso mais tempo para tanto. No documento há capítulos específicos sobre a análise de emissões de GEE no ciclo de vida dos combustíveis, sobre o impacto de outros poluentes atmosféricos que não os GEE, impactos sobre os recursos hídricos, impactos e benefícios econômicos do RFS em sua nova versão.

Renewable Transport Fuels Obligation

No Reino Unido, o programa Renewable Transport Fuels Obligation (RTFO) define que 5% do consumo energético em transportes, em 2010, sejam atendidos por fontes renováveis sustentáveis (biocombustíveis entre elas). O RTFO entrou em vigor em Abril de 2008 e será implementado por um sistema de certificação, controlado pela Renewable Fuels Agency (RFA). Os certificados que atestam a participação de fontes renováveis poderão ser comercializados no mercado. O principal objetivo do RTFO é reduzir as emissões de GEE em transportes. No Reino Unido, o setor de transportes é responsável por 25% das emissões totais de GEE (Departamento de Transportes, 2008a).

A RFA exigirá que os fornecedores de biocombustíveis apresentem anualmente relatórios independentes de avaliação, atestando as reduções de GEE e a sustentabilidade dos biocombustíveis ofertados (Departamento de Transportes, 2008b). O programa ainda está em fase de testes e a partir de Abril de 2010 o controle será feito considerando apenas as reduções de emissões de GEE, enquanto a partir de Abril de 2011 outros critérios de sustentabilidade serão observados. A redução das emissões de GEE devido ao uso de biocombustíveis deve ser de ao menos 50% em relação àquelas dos combustíveis fósseis, considerados seus respectivos ciclos de vida. Os efeitos da mudança do uso do solo devem ser considerados, sempre que possível.

Os princípios sociais e ambientais que devem ser observados no processo de certificação incluem os pontos abaixo listados (Departamento de Transportes, 2008b):

- a produção de biocombustíveis não deve causar redução de estoques de carbono do solo, acima e abaixo do nível do solo;
- a produção de biocombustíveis não deve ocorrer em áreas de elevada biodiversidade;
- a produção de biocombustíveis não deve causar degradação do solo;

- a produção de biocombustíveis não deve causar qualquer comprometimento dos recursos hídricos;
- a produção e o uso de biocombustíveis devem ocorrer sem causar significativa poluição atmosférica;
- os direitos dos trabalhadores e as convenções do trabalho devem ser respeitadas;
- os direitos à posse da terra devem ser observados e a produção de biocombustíveis não deve causar conflito com a comunidade local.

O próprio governo do Reino Unido reconhece que alguns aspectos da sustentabilidade dos biocombustíveis serão de difícil monitoramento, como os impactos sobre a mudança do uso da terra e os impactos sobre a oferta de alimentos (Departamento de Transportes, 2008a). Entretanto, a recomendação é de que todos os aspectos relevantes sejam monitorados para que a RFA possa relatar ao Parlamento os potenciais efeitos. Nesse sentido, o processo previsto pelo RTFO possibilitará a ampliação do conhecimento para que decisões possam ser tomadas no futuro, com base em informações mais precisas. É clara também a preocupação do governo Britânico de demonstrar seu comprometimento com o tema, e que medidas têm sido tomadas para monitoramento da produção de biocombustíveis.

Roundtable on Sustainable Biofuels

A Roundtable on Sustainable Biofuels (RSB) é uma iniciativa da EPFL (Ecole Polytechnique Federale de Lausanne, Suíça). Em Agosto de 2008 foi lançada a chamada "Versão Zero" dos Princípios e Critérios Globais para a Produção Sustentável de Biocombustíveis²⁷, que resultou da consulta a múltiplos agentes sociais e econômicos de diferentes países. A "Versão Zero" foi submetida a um processo de consulta pública e vários encontros para esclarecimentos e discussões foram realizados em todo o mundo. A chamada "Versão Um" deverá ser divulgada em meados de 2009 (RSB, 2008).

Princípios e critérios da sustentabilidade dos biocombustíveis foram propostos e discutidos, mas até agora indicadores não foram considerados de forma específica. A proposta do Roundtable on Sustainable Biofuels é que doze aspectos, listados a seguir, sejam observados na avaliação da sustentabilidade dos biocombustíveis (RSB, 2008):

- A produção de biocombustíveis deve estar de acordo com todas as leis vigentes no país produtor, bem como deve estar de acordo com todos os tratados internacionais aos quais o país produtor é signatário;
- Todas as partes interessadas devem estar envolvidas no processo de decisão sobre a produção de biocombustíveis;

²⁷ Disponível em <http://EnergyCenter.epfl.ch/Biofuels>.

- O uso de biocombustíveis deve viabilizar significativa redução das emissões de GEE e, para tanto, os impactos diretos e indiretos da mudança do uso do solo devem ser considerados;
- Não pode haver violação dos direitos humanos e dos direitos dos trabalhadores quando da produção de biocombustíveis; as condições de trabalho devem ser dignas;
- A produção de biocombustíveis deve contribuir para o desenvolvimento social e econômico das populações locais, rurais, dos povos indígenas e das comunidades afetadas;
- A produção de biocombustíveis não deve impactar negativamente a segurança alimentar;
- A produção de biocombustíveis não deve causar impactos negativos sobre a biodiversidade, ecossistemas e áreas que têm elevado valor de conservação;
- A produção de biocombustíveis deve ocorrer com a adoção de práticas que minimizem a degradação do solo;
- A produção de biocombustíveis não deve causar impactos significativos sobre os recursos hídricos;
- A cadeia de produção e utilização de biocombustíveis não deve causar significativa poluição atmosférica;
- Os resultados econômicos da produção de biocombustíveis devem ser os melhores possíveis;
- A produção de biocombustíveis não deve causar violação dos direitos fundiários e tampouco causar ou acirrar conflitos pela posse da terra.

Global Bioenergy Partnership

O Global Bioenergy Partnership (GBEP) foi criado em 2006, por decisão do G8 + 5²⁸ reunido em 2005, visando o fomento ao uso mais amplo da biomassa e dos biocombustíveis, principalmente nos países em desenvolvimento. Na reunião do G8 + 5 em 2008, foi decidido que o GBEP deve ampliar sua atuação e desenvolver referências de melhores práticas e indicadores relativos à produção e ao uso de biocombustíveis (GBEP, 2009).

Em curto prazo, o programa de atuação do GBEP inclui as seguintes ações (GBEP, 2009):

- Facilitar o desenvolvimento da bioenergia em bases sustentáveis, e colaborar na implantação de projetos. O grupo de trabalho é liderado pelo Reino Unido e visa o desenvolvimento de (i) critérios, (ii) indicadores e (iii) exemplos de melhores práticas relativas à sustentabilidade dos biocombustíveis. É também objetivo do grupo a avaliação dos impactos sobre os preços dos alimentos, consideradas especificidades do processo produtivo e dos países produtores;
- Harmonizar as metodologias de avaliação das emissões de GEE associadas aos biocombustíveis e à biomassa sólida. O grupo de trabalho é liderado pelos EUA. Em Maio de 2009 o Comitê Gestor do GBEP deve ter tomado conhecimento dos resultados do estudo feito e, a partir de então, os resultados devem ser divulgados;
- Ampliar a conscientização e facilitar a troca de informações sobre bioenergia.

Em sua versão preliminar, os critérios de sustentabilidade indicados como relevantes pelo grupo de trabalho do GBEP, acima mencionado, foram classificados em quatro categorias: ambientais, sociais, econômicas e de segurança de suprimento. Os aspectos ambientais relevantes estão associados às emissões de GEE, à capacidade de produção da terra e dos ecossistemas, à mudança do uso da terra (inclui impactos indiretos), qualidade do ar, disponibilidade e qualidade dos recursos hídricos, e à diversidade biológica.

Os aspectos sociais considerados relevantes incluem segurança de suprimento alimentar, acesso à terra, à água e aos recursos naturais, condições de trabalho, desenvolvimento rural e social, acesso a serviços energéticos, saúde humana e segurança.

Já os aspectos econômicos relevantes incluem a disponibilidade e o uso eficiente de recursos (e.g., solo, água, capital, mão de obra, energia, etc.), o desenvolvimento econômico, a viabilidade econômica e o acesso ao capital e à capacitação tecnológica (GBEP, 2009).

²⁸ Os países desenvolvidos com as mais importantes economias em todo o mundo (EUA, Alemanha, Japão, Reino Unido, França, Canadá, Itália e Rússia, o G8) e os cinco países em desenvolvimento mais importantes do ponto de vista econômico (China, Índia, Brasil, México e África do Sul, o + 5).

Cramer Report

O Relatório da chamada Comissão Cramer²⁹ é aqui destacado por seu aspecto pioneiro. Em 2006-2007 a Comissão definiu os princípios de sustentabilidade da Holanda, sugeridos pelo grupo do projeto "Produção Sustentável da Biomassa" (Cramer et al., 2007). No relatório final, os princípios, critérios e indicadores foram definidos para os principais aspectos relacionados com a sustentabilidade social e ambiental da produção de biomassa, incluindo biocombustíveis.

Seis prioridades foram destacadas pela Comissão Cramer, que são listadas abaixo:

- Emissões de GEE – a utilização de biocombustíveis deve implicar redução das emissões de GEE, e essa deve ser de pelo menos 30% em relação à dos combustíveis fósseis que são substituídos. As emissões de carbono relacionadas à mudança do uso do solo devem ser consideradas (acima e abaixo do solo). Os princípios básicos incluem: (1) a produção da biomassa não deve ocorrer em áreas nas quais o estoque da vegetação não possa ser recuperado em dez anos, e (2) a produção de biomassa não deve ocorrer em áreas de potencial redução do estoque de carbono do solo, tais como em pântanos, mangues e turfas;
- Impactos sobre o suprimento de alimentos – a produção de biomassa não pode por em risco o suprimento de alimentos e outros usos da biomassa;
- Biodiversidade – A produção de biomassa não pode impactar negativamente sistemas naturais protegidos ou vulneráveis;
- Impactos ambientais locais – Os princípios incluem (a) o solo e a qualidade do solo, (b) o abastecimento de águas superficiais e subterrâneas, e (c) a qualidade do ar;
- Impactos econômicos locais – A produção de biomassa deve contribuir para a prosperidade local;
- Bem-estar social – A produção de biomassa deve contribuir para o bem-estar dos trabalhadores e da população local.

Better Sugarcane Initiative

O Better Sugarcane Initiative (BSI) é uma iniciativa de certificação criada por grupos empresariais e Organizações Não Governamentais (ONGs). A informação disponível é que o BSI foi criado em 2005, pelo World Wildlife Fund (WWF) e pelo World Bank's International Finance Corporation (IFC) (CEO, 2009). Na página eletrônica do BSI são apresentados como membros

²⁹ Comissão liderada por Jacqueline Cramer, Ministra do Meio Ambiente da Holanda.

o IFC, empresas de bebidas (e.g., Coca-Cola, Bacardi, Cadbury Schweppes), empresas de alimentos (e.g., Cargill e Tate & Lile), a BP e a Shell, e ONGs como Solidaridad e WWF-US; a Unica também faz parte do BSI (BSI, 2009).

Na mesma página eletrônica o BSI declara que seus objetivos são (BSI, 2009):

- definir princípios, critérios, indicadores e padrões que sejam aplicáveis globalmente e que assegurem a produção sustentável de cana-de-açúcar;
- promover melhorias mensuráveis nos mais importantes impactos econômicos, sociais e ambientais da produção de cana-de-açúcar e em seus processos de conversão;
- desenvolver um sistema de certificação que assegure a todos os agentes envolvidos na cadeia produtiva da cana-de-açúcar, e de seus produtos, que a produção se dá de acordo com critérios aceitos, críveis, transparentes e mensuráveis;
- apoiar a transição do BSI para uma plataforma internacionalmente aceita e que tenha como metas o aumento da eficiência de produção e sua sustentabilidade.

Os cinco princípios declarados pelo BSI são:

- a observância das leis;
- o respeito aos Direitos Humanos e às Convenções do Trabalho;
- o gerenciamento dos recursos, bem como eficiências de produção e de processamento que assegurem a sustentabilidade;
- o comprometimento com a melhoria contínua nas áreas chave de suas atividades;
- a gestão ativa dos serviços da biodiversidade e dos ecossistemas.

O BSI dá destaque especial nas informações disponíveis em seu sítio eletrônico ao etanol entre seus produtos. Acredita-se que na larga gama de iniciativas de certificação ora existentes, o setor canavieiro tenderá a reforçar a posição do sistema que lhe está mais próximo. É atribuída à Geraldine Kutas, da Unica, a afirmação de que o BSI terá critérios bastante mais ambiciosos do que aqueles da União Européia (CEO, 2009).

A Corporate Europe Observatory (CEO, 2009), uma organização voltada à análise da posição de lobbies corporativos na UE, faz críticas ao BSI pelo fato de não ser uma plataforma com participação de pequenos produtores, das comunidades afetadas e de organizações de trabalhadores. Ainda segundo o CEO, não há indícios de que o BSI esteja realmente contribuindo para produção sustentável de cana-de-açúcar e seus produtos, já que não há publicações com suas contribuições.

3.1.3.2 Iniciativas Nacionais

São a seguir apresentadas algumas iniciativas nacionais que visam garantir a sustentabilidade da produção e uso dos biocombustíveis.

Zoneamento Agroecológico Nacional

A Embrapa assumiu a coordenação do Zoneamento Agroecológico Nacional da cana-de-açúcar. O estudo foi solicitado pelo governo federal e foi desenvolvido por um grupo de instituições públicas. O objetivo é subsidiar o licenciamento ambiental e a concessão de créditos com recursos públicos, de sorte a minimizar os riscos da expansão do cultivo da cana em áreas consideradas sensíveis (e.g., na Amazônia, no Pantanal, em áreas de reservas) e em áreas já ocupadas com outras culturas.

O Zoneamento em si consiste na definição das áreas adequadas a partir da exclusão das áreas onde a produção é inaceitável (e.g., a Amazônia) e das áreas inadequadas por diferentes razões (e.g., em função da topografia e das condições endoclimáticas). Os seguintes aspectos foram considerados no estudo: a) solo e clima adequados; b) topografia³⁰; c) disponibilidade de água e demandas por água³¹; d) a existência de ecossistemas sensíveis; e) áreas onde outras culturas têm sido produzidas.

O estudo foi finalizado em meados de 2008, mas sua divulgação tem sido sistematicamente adiada. Sabe-se que há divergências políticas quanto aos resultados, uma vez que regiões onde já há algumas unidades seriam excluídas das áreas adequadas. As informações mais recentes dão conta de que a restrição tem sido imposta pelo governo do Mato Grosso, descontente com a exclusão de uma área já ocupada com a cana. Informações não oficiais indicam que até 45 Mha foram identificados como adequados para o plantio da cana-de-açúcar, sendo que, do total, 40 Mha são áreas de pastagens e pouco mais de 4 Mha são ocupados com agropecuária. Em um cenário mais restritivo, cerca de 35 Mha podem ser declarados como adequados para o plantio da cana-de-açúcar. As áreas adequadas estão concentradas nos estados onde grande parte da produção já ocorre.

Iniciativa de certificação do INMETRO

Em 2007-2008 o INMETRO tomou a iniciativa de conduzir o chamado Programa Brasileiro de Certificação em Biocombustíveis. De acordo com as premissas iniciais, a certificação seria voluntária e o procedimento deveria ter como foco o fomento das exportações de biocombustíveis e a redução de barreiras comerciais. Uma primeira versão dos princípios e critérios propostos foi disponibilizada para consulta pública em meados de 2008. A decisão final quanto à implantação ou não do Programa deveria ser tomada

³⁰ A declividade máxima de 12% deve-se aos limites atuais da mecanização. Segundo a Embrapa, é possível considerar uma declividade máxima de 18%, mas a tecnologia requerida ainda não está disponível.

³¹ Um nível mínimo de irrigação foi considerado (por exemplo, a chamada irrigação de salvamento).

pelo governo brasileiro no primeiro semestre de 2009, mas até agora pouco se sabe a respeito; é provável que a iniciativa seja simplesmente cancelada.

O INMETRO possui um programa similar de certificação florestal (CERFLOR – Programa Brasileiro de Certificação Florestal), o qual é reconhecido internacionalmente. O INMETRO avaliou que essa experiência era o ponto de partida adequado para o programa de certificação em biocombustíveis.

Entre outras, as condições abaixo listadas foram definidas como obrigatórias para o início do processo de certificação (INMETRO, 2008):

- A produção de cana-de-açúcar deve ocorrer em área indicada pelo Zoneamento Agroecológico;
- Todas as licenças ambientais são requeridas;
- Evidências de reciclagem da água são necessárias;
- Evidências da deposição da palha sobre o solo são necessárias;

Zoneamento Agroambiental em São Paulo

Desde 2008 está em vigor no estado de São Paulo o Zoneamento Agroambiental. Os resultados do Zoneamento serão considerados pela Secretaria de Meio Ambiente no processo de licenciamento ambiental de novas usinas, bem como na ampliação das existentes. O zoneamento foi definido considerando os seguintes aspectos: a) restrições de solo e clima; b) topografia; c) disponibilidade de água superficial e riscos aos lençóis freáticos; d) existência de áreas protegidas; e) áreas que devem ser protegidas considerando a conservação da biodiversidade; e f) qualidade do ar.

Em 2006 a área total apta ao cultivo da cana no estado de São Paulo foi estimada em 7,9 Mha, dos quais 4,3 Mha já eram cultivados.

Protocolo Agroambiental do estado de São Paulo

O Protocolo Agroambiental do Setor Sucroalcooleiro Paulista foi assinado pelo Governo do Estado e pelo setor sucroalcooleiro em 2008. No estado, 151 das quase 190 usinas aderiram ao Protocolo; o número de fornecedores de cana-de-açúcar que aderiram ao Protocolo é estimado em 13.000 (Lucon e Viegas, 2008). O Protocolo é voluntário e tem como objetivo a promoção de melhores práticas. Dez diretrizes técnicas foram definidas, como apresentado abaixo (São Paulo, 2008a):

- Antecipação do prazo para eliminação total da queima de cana-de-açúcar em áreas com declividade até 12% (de 2021 para 2014)³²;

³² É definido em lei que a eliminação da queima da cana-de-açúcar deve ocorrer em 2021 nas áreas com declividade até 12%; 2031 é o prazo final para as áreas com declividade maior do que 12%.

- Antecipação do prazo final para eliminação da queima de cana-de-açúcar em áreas com declividade maior do que 12% (de 2031 para 2017);
- Em áreas de expansão da cana, a queima da cana não deve ocorrer;
- Os subprodutos da cana-de-açúcar não podem ser queimados na ausência de sistemas de controle;
- Proteção das matas ciliares em áreas de cultivo da cana-de-açúcar³³;
- Recuperação da vegetação natural para proteger as nascentes de água nas áreas plantadas com cana-de-açúcar;
- Implementar Plano Técnico de Conservação do Solo, incluindo o combate à erosão e a contenção de águas pluviais;
- Implementar Plano Técnico de Conservação de Recursos Hídricos, incluindo programa de controle da qualidade da água e reuso da água utilizada no processo industrial;
- Adotar boas práticas para o descarte de embalagens de agrotóxicos;
- Adotar boas práticas destinadas a minimizar a poluição atmosférica de processos industriais e otimizar a reciclagem e o reuso adequados dos resíduos gerados na produção de açúcar e etanol.

Compromisso Ambiental de Melhores Práticas

O Compromisso Nacional para Aperfeiçoar as Condições de Trabalho na Cana-de-açúcar é uma iniciativa do Governo Federal, da qual são signatárias organizações dos produtores (e.g., Unica) e dos trabalhadores (e.g., Contag e Feraesp). O acordo foi assinado no fim de Junho de 2009 e nele foram definidos o fim da terceirização, a eliminação do atravessador, transparência na aferição da cana cortada, melhores condições de saúde e de segurança no trabalho.

Se, por um lado, o acordo é um marco nas relações de trabalho no setor canavieiro, como reconhecem tanto as organizações de produtores quanto de trabalhadores, também é, por outro lado, uma clara evidência da heterogeneidade das práticas empresariais do setor, e de quanto ainda há por avançar nas relações trabalhistas. Por exemplo, é declarado que o principal objetivo do acordo é humanizar as relações de trabalho na lavoura, uma vez que são freqüentes as denúncias do Grupo de Trabalho Móvel do Ministério do Trabalho de práticas de trabalho análogo ao trabalho escravo. Se não bastasse, também chama a atenção o fato de ter sido negociada a

³³ A legislação existente já define a proteção das matas ciliares como obrigatória, mas há áreas no estado de São Paulo nas quais o cumprimento da obrigatoriedade é inexpressivo.

concessão aos trabalhadores de um recipiente térmico para transporte da alimentação, mas que não houve acordo sobre a obrigação dos empregadores fornecerem comida aos cortadores de cana durante a jornada de trabalho.

3.1.4 Comentários Finais

O material apresentado neste relatório precisa ser analisado com tempo, e muita atenção. Parte significativa da informação foi obtida nas últimas semanas, e ainda não foi devidamente analisada. Por outro lado, além de extensos, os textos têm, muitas vezes, várias nuances. Esse trabalho será feito nas próximas semanas, e no relatório final a análise – em base adequada – será apresentada.

Neste momento, em caráter preliminar, cabem alguns comentários. Primeiro, são múltiplas as iniciativas que têm como objetivo declarado assegurar a sustentabilidade na produção e no consumo dos biocombustíveis. Nas iniciativas internacionais, o ponto comum é a redução das emissões de GEE. Está claro nas duas iniciativas Norte Americanas (CARB e EPA) que a necessária redução das emissões de GEE será um fator indutor da produção de biocombustíveis de segunda geração, a partir de materiais celulósicos. Nesse sentido, pode-se concluir que a segurança de suprimento energético é a real preocupação, tal como claramente declarado pelo Governo dos EUA nos últimos meses.

Por outro lado, as iniciativas brasileiras carecem de articulação. Há iniciativas concorrentes (e.g., o Zoneamento Agroecológico em São Paulo e no Brasil) e há iniciativas que não devem redundar em qualquer resultado relevante (e.g., Certificação do INMETRO). Por outro lado, é evidente que a demora na divulgação de resultados de estudos largamente noticiados é bastante prejudicial à imagem do país e à produção de biocombustíveis, pois a sensação é de que busca-se esconder algo, e/ou que não existe convergência de propósitos. Outro aspecto claro é que parte das iniciativas está associada a acordos que prevêm o cumprimento de leis já existentes e/ou de práticas que deveriam ser tradicionais em atividades econômicas com tal significância.

OE4. Estudo das emissões de gases de efeito estufa na cadeia produtiva de bioetanol de 1ª e 2ª geração³⁴

4.1 Introduction

Bioethanol has a long history in Brazil. The production started back in 1930's, when a 5% blend with gasoline was compulsory; but only during the 1970's, with the oil crisis, the national ethanol program (Pro-álcool) was launched, and the production was boosted. In the last 30 years technology evolution in both agricultural and industrial systems led to important cost reductions (see Figure 4.1-1). Today sugarcane ethanol is cost-competitive with fossil fuels, without any need for subsidies, and further improvement is foreseen in the near future (van den Wall Bake et al., 2009).

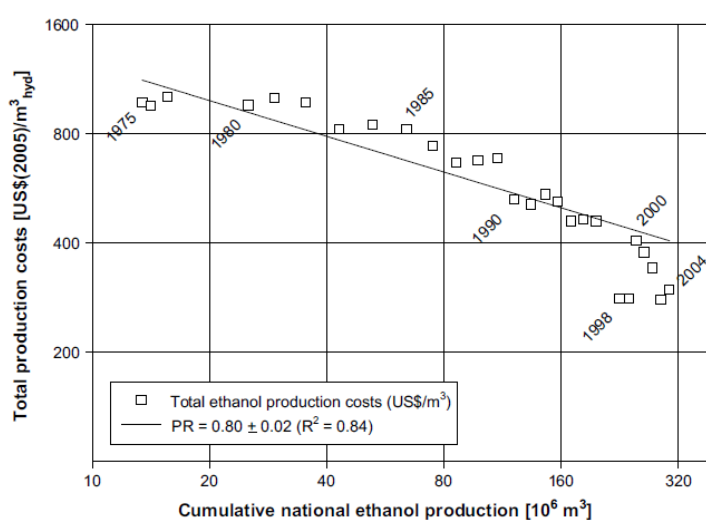


Figure 4.1-1. Experience curve for total hydrated ethanol (1975-2004) including feedstock costs.

Source: van den Wall Bake et al. (2009).

The technology advances in ethanol production have also impacted its environmental performance. Considering the current conditions, ethanol can mitigate more than 80% of gasoline GHG emissions. For the future, emission reductions can be even higher, as mills adopt, for example, more efficient technologies to produce electricity (or even more ethanol) from cane's residual biomass. In this case, co-product credits are going to play a much more important role, as they can offset the emissions related to ethanol production. However, land use change effects must also be addressed, as well as other environmental aspects, for a better evaluation of sugarcane ethanol sustainability.

These aspects are discussed in this report, which is organized in three Sections. **Section I** presents a summary of three recent studies on specific

³⁴ Pesquisadores responsáveis: Isaias de Carvalho de Macedo (NIPE/UNICAMP), Weber Antônio Neves do Amaral (ESALQ), André Meloni Nassar (ICONE).

sustainability issues of sugarcane ethanol production and use in Brazil. Data on important environmental sustainability of sugarcane production and processing are presented, including survey results about soil carbon stocks (below and above ground) for land uses involved in the recent sugarcane expansion. Land use change dynamics of sugarcane crop expansion was assessed for current and future scenarios in Brazil, as well as ethanol lifecycle GHG emissions, with a separated evaluation of LUC emissions considering initial collected data on soil carbon stocks and land use change.

The results updating the main parameters of sugarcane production and processing, considering data for 2008/2009 season, are presented in this section. This work was aimed not only at parameters updating, but also standardization of the database information, in order to facilitate future LCA analysis with different methodologies. This section also discusses methodological issues related to emission credits due to ethanol by-products production. Today different methods are applied to evaluate by-product credits, leading to different final ethanol emission results. For this reason, it is important to consolidate a consistent methodology to evaluate sugarcane ethanol by-product credits, as bioelectricity (and others, in the future) rises as important sugarcane product.

In **Section II**, a conceptual methodology to calculate ILUC is presented and discussed. In the light of this conceptual methodology, the specific approaches to measure ILUC used in the proposed legislations for biofuels were investigated and evaluated. The outcomes of these approaches are still quite fragile with respect to measure ILUC in Brazil because the models used do not capture accurately the dynamics and the reality of the Brazilian agriculture.

On the other hand, some significant improvements have been reached since the publication of Nassar et al. (2008). The Brazilian Land Use Model (BLUM) has been improved to generate results on land use change instead of land allocation. However, the need for additional improvements has been identified. A list of research priorities is presented, and the integration of socio-economic and biophysical models is recognized as one of the most promised areas to be developed.

Section III presents an assessment of the literature and other sources of information (grey literature specially) for carbon content (above and below ground) for different crops and vegetation biomes in Brazil, and for nitrogen emissions from sugar cane under different management and harvest regimes. More than 100 sources of information was compiled and organized to support complete life cycle studies of ethanol from sugar cane in Brazil.

Research gaps and research needs for the implementation of a strategy of long term monitoring key indicators of sustainability in sugar cane production systems, under different management and harvest regimes were identified, and recommendations for a transdisciplinary research program were made considering the consolidated and the new frontier of current trends of sugar cane expansion in Brazil.

SECTION I

4.2 Sugarcane ethanol sustainability: summary of the state of the art

4.2.1 “Environmental sustainability of sugarcane ethanol in Brazil”

Weber Antônio Neves do Amaral^a, João Paulo Marinhoa, Rudy Tarasantchia, Augusto Beber^b and Eduardo Giuliani^b

^a University of São Paulo, ESALQ – Escola Superior de Agricultura ‘Luiz de Queiroz’, Piracicaba (SP), Brazil.

^b Venture Partners do Brazil - São Paulo (SP), Brazil.

Introduction

Brazil’s commitment to sustainability in the agribusiness can be assessed by concrete examples such as the development and implemental of stringent legal environmental frameworks, agricultural zoning, massive investments in research and development and rural social policies, being the ethanol business a good example from which best practices could be disseminated. The long track record of Brazilian sugarcane ethanol proved its economic sustainability over time, while improving its social and environmental indicators, involving technology transfer from Europe, US and other regions and developing several innovations at national level.

Increasing internal demands and the possibility of future exports will lead to considerably higher production levels. Several steps will be necessary to achieve these production targets, including sustainable planning of the sugarcane expansion into new areas, improving the logistics, the development of global markets and continuously developing new technological innovations, while at the same time improving the environmental performance of existing brown fields and especially from new green fields.

The Brazilian environmental legal framework regulating ethanol production

The Brazilian environmental legal framework is complex and one of the most stringent and advanced in the World. As an agribusiness activity, the ethanol/sugar industry has several environmental restrictions that require appropriate legislation or general policies for its operation. Some of them are pioneers in the area which define principles in order to maintain the welfare of living beings and to provide resources for future generations: the first version of the Brazilian forest code dated from 1931, already addressed the need to combine forest cover with quality of life and livelihoods.

Brazil has wide range of federal and state laws regarding environmental protection, aiming at combining the social economic development with environmental preservation. They also involve frameworks such as the

Environmental Impact Assessment and Environmental Licensing, among others, especially for the implementation of new project.

Volunteer adherence to Environmental Protocols represents also a major breakthrough for the sugar business. For example, the “Protocolo Agroambiental do Setor Sucroalcooleiro” (Agriculture and Environmental Protocol for the ethanol/sugar industry) signed by UNICA and the Government of the State of São Paulo in June 2007 deals with issues such as: conservation of soil and water resources, protection of forests, recovery of riparian corridors and watersheds, reduction of greenhouse emissions and improve the use of agrochemicals and fertilizers. But its main focus is anticipating the legal deadlines for ending sugarcane burning by 2014 from previous deadline of 2021. In February 2008, the State Secretariat of Environment reported that 141 industries of sugar and alcohol had already signed the Protocol, receiving the “Certificado de Conformidade Agroambiental” (Agricultural and Environmental Certificate of Compliance). These adherences correspond for more than 90% of the total sugarcane production in São Paulo. A similar initiative is happening in the State of Minas Gerais with the “Protocolo de Intenções de Eliminação da Queima da Cana no Setor Sucroalcooleiro de Minas Gerais” from August 2008.

Environmental indicators

Greenhouse gases (GHG) balance

One of the goals of using biofuels is to contribute with net reduction of GHG emissions and thus not affecting carbon stock negatively in different sub-systems of production, below and above ground biomass (roots, branches and leaves) and in the soil (carbon fixed in clay, silt, sand and organic matter). Figure 1 shows that ethanol from sugarcane reduces 86% of the GHG emissions when compared to gasoline. It has also a leading performance when compared to other biofuels from other feedstocks.

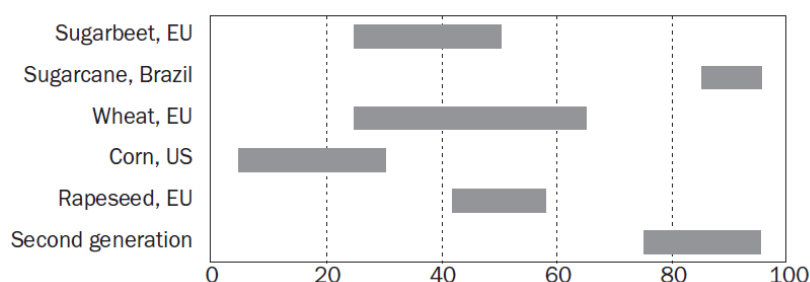


Figure 1: GHG emissions avoided with ethanol or biodiesel replacing gasoline.

Source: International Energy Agency (IEA/OECD, 2006).

Carbon stock changes in the soil due to land use change for biofuels production are now being accounted for in the GHG balance. In this case, it is necessary to know how much carbon would be fixed or released into the air under different land use regimes compared with the previous baseline of use. One limiting factor to perform an in depth analysis of these balances is the lack of long term monitoring plots assessing precisely these dynamics through time. The stock and flows of carbon for major crops like soybean,

maize, cotton and sugarcane have been extensively studied, but in general using different methodologies. There are also other factors that affect the results: crop productivity and management, soil physical and chemical properties, climate and land use history for example.

In large countries such as Brazil, there are many different soils and climatic conditions. The different characteristics of each region will influence the potential for carbon storage. The land use history is also relevant when assessing and explaining current levels of carbon, because when land use changes do occur, soil carbon stocks take several years to achieve a new carbon balance. Table 1 presents the carbon stocks in soil for some selected Brazilian crops and in the native vegetation. For carbon stored in the biomass, crop productivity is of great importance as indicator carbon stored in the above ground biomass per unit of area (Table 2), which is a measure much easier to obtain and with a larger dataset from multiple management and production systems in Brazil. From these numbers, the carbon balance resulting from land use change to sugarcane crop can be estimated for each previous use (Table 3).

Table 1: Carbon stock in soil for selected crops and native vegetation

Biomass	Carbon stocks in soil (Mg/ha)
Campo Limpo – grassland savannah (a)	72
Sub-tropical forest (b)	72
Tropical forest (c)	71
Natural pasture (d)	56
Soybean (e)	53
Cerradão – woody savannah (a)	53
Managed pasture (f)	52
Cerrado – typical savannah (a)	46
Sugarcane without burn (g)	44
Degraded pasture (h)	41
Maize (h)	40
Cotton (i)	38
Sugarcane burned (g)	35

Sources: (a) Lardy et al. (2001); (b) Cerri et al. (1986); (c) Trumbore et al. (1993); (d) Jantalia et al. (2005); (e) Campos (2006); (f) Rangel and Silva et al. (2007); (g) Estimated from Galdos (2007); (h) d'Andréa et al. (2004); (i) Neves et al. (2005).

Table 2: Carbon stocks in the above biomass of selected crops and native vegetation (fully grown crop).

Biomass	Carbon stocks in biomass (Mg/ha)
Tropical rain forest (a)	200.0
Cerradão – woody savannah (b)	33.5
Cerrado – typical savannah (b)	25.5
Sugarcane without burn (c)	17.5
Sugarcane burned (c)	17.0
Campo Limpo – grassland savannah (b)	8.4
Managed pasture (d)	6.5
Maize (e)	3.9
Cotton (f)	2.2
Soybean (g)	1.8
Degraded pasture (d)	1.3

Sources: (a) INPE; (b) Ottmar et al. (2001); (c) VPB Estimative; (d) Estimated from Szakács et al. (2003); (e) Estimated from Titon et al. (2003); (f) Adapted from Fornasieri and Domingos et al. (1978); (g) Adapted from Campos (2006).

Table 3: Carbon balance under different land uses replaced by sugarcane.

Biomass	Total carbon stocks (Mg/ha)	Carbon balance due to sugarcane replacement (Mg/ha)
Cotton (d)	40.1	21.8
Degraded pasture (b)	42.0	19.8
Maize (h)	44.1	17.7
Sugarcane burned (g)	52.1	9.7
Soybean (e)	54.9	6.9
Managed pasture (f)	58.5	3.3
Cerrado – typical savannah (a)	71.5	-9.7
Campo Limpo – grassland savannah (a)	80.4	-18.6
Cerrado – Woody savannah (a)	86.5	-24.7
Tropical forest (c)	271.0	-209.2
Total carbon stocks in sugarcane not burned = 61.8 Mg/ha		

Sources: (a) Lardy et al. (2001)/Ottmar et al. (2001); (b) d'Andréa et al. (2004)/Estimated from Szakács et al. (2003); (c) Trumbore et al. (1993)/INPE; (d) Neves et al. (2005)/Adapted from Fornasieri and Domingos et al. (1978); (e) Campos (2006)/Adapted from Campos (2006); (f) Rangel and Silva et al. (2007)/Estimated from Szakács et al. (2003); (g) Estimated from Galdos (2007) / VPB Estimative; (h) d'Andréa et al. (2004)/Estimated from Titon et al. (2003).

Water

Practically all of the sugarcane produced in São Paulo State is grown without irrigation. The levels of water withdraw and release for industrial use have substantially decreased over the past few years, from around 5 m³/ton sugarcane collected in 1990 and 1997 to 1.83 m³/ton sugarcane in

2004 (sampling in São Paulo). Mills with better water management practice replace only 500 liters in the industrial system, with a recycling rate of 96,67%. Recent developments might lead to convert sugarcane mills from water consumers to water exporters industry. Dedini, the largest Brazilian manufacturer of sugar mills and equipment supplies, has developed technologies (to be available in 2009) leading to zero water intake for the industrial mill (actually, a fraction of the 700 l water / t cane in the harvested sugar cane will be exported from the mill).

Soil and fertilizers

The sustainability of the culture improves with the protection against soil erosion, compacting and moisture losses and correct fertilization. In Brazil, there are soils that have been producing sugarcane for more than 200 years, with ever-increasing yields and soil carbon content. Soil erosion in sugarcane fields is lower than in soybean and maize and other crops. It is expected also that the growing harvesting of cane without burning will further improve this condition, with the use of the remaining trash in the soil. Recent sugarcane expansion in Brazil has happened mostly in low fertility soils (pasture lands), and thus improving their organic matter and nutrient levels from previous land use patterns. Sugarcane uses lower inputs of fertilizers: ten, six and four times lower than maize respectively for nitrogen, phosphorous and potassium.

An important characteristic of the Brazilian sugarcane ethanol is the full recycling of industrial waste to the field. Vinasse, a waste of the distillation process, rich in nutrients (mainly potassium) and organic matters is a good example, which is being used extensively as a source of fertiirrigation (nutrients associated with water). Investments in infrastructure have enabled the use water from the industrial process and the ashes from boilers. Filter cake recycling processes were also developed, thereby increasing the supply of nutrients to the field.

Management of diseases, insects and weeds

Strategies for disease control involve the development of disease resistant varieties within large genetic improvement programs. This approach kept the major disease outbreak managed by replacing susceptible varieties. The soil pest monitoring method in reform areas enabled a 70% reduction of chemical control, thereby reducing costs and risks to operators and the environment.

Insecticide consumption in sugarcane crops is lower than in citrus, maize, coffee and soybean crops; the use of insecticides is also low, and fungicides use is virtually null. Among the main sugarcane pests, the sugarcane beetle, *Migdolus fryanus* (the most important pest) and the cigarrinha, *Mahanarva fimbriolata*, are biologically controlled. The control or management of weeds encompasses specific methods or combinations of mechanical, cultural, chemical and biological methods, making up an extremely dynamic process that is often reviewed. In Brazil, sugarcane uses more herbicides than coffee and maize crops, less herbicides than citrus and the same amount as soybean.

Conservation of biodiversity

Brazil has biodiversity hotspots and contains more than 40% of all tropical rain forest of the World. Brazilian biodiversity conservation priorities were set mainly between 1995 and 2000, with the contribution of hundreds of experts; protected areas were established for the six major biomes in the National Conservation Unit System.

The percentage of forest cover represents a good indicator of conservation of biodiversity in agricultural landscapes. In São Paulo State for example the remaining forest covered is 11%, of which 8% being part of the original Atlantic Forest. Data from São Paulo State show that while the sugarcane area increased from 7 to 19% of the State territory, native forests also increased from 5 to 11%, demonstrating that it is possible to recover biodiversity in intense agricultural systems.

Air quality

Burning sugarcane for harvesting is one of the most criticized issue of sugarcane production system, causing local air pollution and affecting air quality, despite of the benefits of using 100% ethanol running engines instead of gasoline, which decreases air pollution from 14 to 49%. In order to eliminate gradually sugarcane burning, several attempts are being made. The São Paulo Green Protocol is being considered the most important one, setting an example for other regions and states in Brazil. Voluntarily 141 of the total of 170 sugar mills from the state of São Paulo signed this Protocol, and recently 13 thousand sugarcane independent suppliers, members of the Organization of Sugarcane Farmers of the Center-South Region (Orplana), signed also this protocol.

Initiatives towards ethanol certification and compliance

Several initiatives are being developed in Europe and in the United States related to certification, traceability and definition of criteria and indicators for sustainable production of biofuels, mainly due to different supporting policies. Governmental and multiple stakeholder initiatives are supporting different assessment studies. The main environmental issues addressed in such studies are related to greenhouse gas reduction compared with fossil fuels, competition with other land uses (especially food competition), impacts on the biodiversity and on the environment. In all cases, we can say that Brazilian sugarcane ethanol do comply with the targets for GHG emissions reduction and present outstanding performance for the other criteria.

While the above concerns are well-justified, some criticism of biofuels and their impacts are motivated by protectionism and interest in agricultural subsidies and agribusiness production chains in several developing countries, especially from EU countries. Certification schemes suggested may become non-tariff barriers, rather than environmentally and socially sound schemes.

Scientific and technological assessments comparing different kinds of biofuels are needed to reduce the play of such interests and to establish the

strengths of best potential of biofuels along with their dangers and limitations. The last OECD report (OECD, 2007) stated that sugarcane ethanol in Brazil (and some other biofuels) can substantially reduce greenhouse gases compared with gasoline and mineral diesel. But the report also recognized that while still trade barriers would persist to the international market, it will be difficult for the world to take advantage of the environmental qualities of the use of some biofuels, mainly the ethanol from sugarcane and so forth, as international markets are not yet fully created for biofuels.

4.2.2 “Prospects of the sugarcane expansion in Brazil: impacts on direct and indirect land use changes”

André Meloni Nassar^a, Bernardo F.T. Rudorff^b, Laura Barcellos Antoniazzi^a, Daniel Alves de Aguiar^b, Miriam Rumenos Piedade Bacchi^c and Marcos Adami^b

^a ICONE - Instituto de Estudos do Comércio e Negociações, São Paulo (SP), Brazil.

^b INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos (SP), Brazil.

^c CEPEA - Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada, University of São Paulo, ESALQ - Escola Superior de Agricultura ‘Luiz de Queiroz’, Piracicaba (SP), Brazil.

Introduction

The complexity associated to measure land use change in the context of assessing biofuel’s carbon life cycle is largely related to the extension of the concept. Two approaches are considered: direct land use change (LUC) emissions; and the inclusion of indirect land use change (ILUC) emissions. In this section, the measurement and evaluation of direct changes of land use caused by the sugarcane expansion over the last years as well as the consequences of future expected expansion are presented. Land use changes were measured in terms of crops and pasture directly displaced by the sugarcane expansion. This paper was supported by different methodologies to understand this process: (1) when measuring the past land use change, primary data based on remote sensing images and environmental licensing reports as well as secondary data based on planted and harvested area were used; (2) with respect of projections of land allocated to sugarcane, a partial equilibrium model based on profitability and demand/supply responses to price variations was developed.

The dynamics of sugarcane expansion in Brazil

Based on data from the Canasat Project and IBGE, it is estimated that in 2008 the cultivated area in the South-Central region was 7.4 million ha (85.0%) and in the Northeast region was 1.3 million ha (14.7%). Figure 1 presents the evolution of sugarcane area for three regions: South-Central (comprising its six most important states), Northeast and all the other states. São Paulo is the most important state for sugarcane, representing

55.7% of the total sugarcane area in Brazil in 2008. The four states with the largest sugarcane area are São Paulo, Paraná, Minas Gerais and Goiás; they are responsible for 75.2% of total sugarcane area in Brazil. Coincidentally, these states plus Mato Grosso and Mato Grosso do Sul have experienced the greatest sugarcane expansion area over the last years. A new and promising region for sugarcane is located in the states of Maranhão, Piauí and Tocantins, in the Cerrado biome, commonly known in Brazil as the MAPITO region; however, in 2008 these states were responsible for only 0.25% of the cultivated sugarcane area in Brazil. South-Central, including MAPITO region, is here called Expanded South-Central and is considered to be a relevant region for sugarcane expansion analysis. The sugarcane area in the Expanded South-Central in 2008 was 7.5 million hectares (84% of total area) and represents 97% of the total sugarcane expansion.

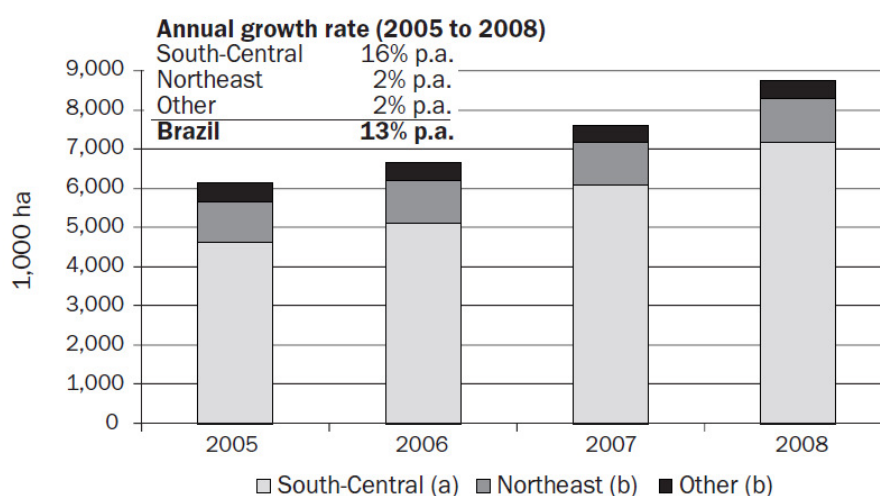


Figure 2: Sugarcane area cultivated in Brazil according to production regions (2005 to 2008).

Sources: (a) Canasat/INPE, comprising São Paulo, Minas Gerais, Paraná, Goiás, Mato Grosso and Mato Grosso do Sul; (b) PAM/IBGE (2005 and 2006) and LSPA/IBGE (2007 and 2008).

Methodology

This study divided the analysis of land use changes (LUC) caused by sugarcane expansion basically in observed LUC (past trend) and projected LUC (future trend). Three different methods were used to estimate past land use dynamics, and another one to project future trend. For observed LUC and sugarcane expansion, the authors used the information extracted from remote sensing images, secondary data by IBGE, and field research through environmental licensing studies. The satellite image analysis was carried out for São Paulo, Minas Gerais, Paraná, Goiás, Mato Grosso and Mato Grosso do Sul. Using IBGE data, all these states plus Tocantins, Maranhão, Piauí and Bahia were analyzed due to their potentiality for future expansion of agricultural area in Brazil. For the field research, the analyzed states were São Paulo, Minas Gerais, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás and Tocantins, capturing both past and near future trends.

The approach used for projecting land allocation for sugarcane is based on a partial equilibrium model that is under development by the Institute for International Trade Negotiations (ICONE). The model is based on demand

response to price changes and supply response to market returns (profitability) changes. National and regional prices are calculated according to a basic assumption of microeconomics: they are achieved when supply and demand prices for each coincide, leading to market equilibrium.

Results

A summary of the results obtained from the three different methodologies used in the study is presented in Table 4.1-4.

Table 4: Land use classes converted to sugarcane: comparative results in the South-Central region (1000 ha).

	Period/measurement method		
	2002-2006 (harvested area) ¹	2007-2008 (planted area) ²	2008-2018 (harvested area) ³
Sugarcane expansion	1,030	2,184	3,848
Agriculture	122 (12%)	1,152 (53%)	1,455 (38%)
Pasture	793 (77%)	991 (45%)	2,369 (62%)
Other	114 (11%)	42 (2%)	24 (1%)

Sources: ¹ secondary data from IBGE; ² satellite images; ³ projection model.

Sugarcane expansion is taking place in anthropized areas. Although no evidence regarding deforestation in Brazil is presented, it is well known that deforestation is observed in the agricultural frontier. Brazil has two most important frontiers: the Amazon Biome region, where the Amazon Forest is located, and the North-northeast Cerrados region (also called MAPITO region), where the larger stock of savannah land is located. Both past data and projections of the study have shown that sugarcane is not significantly expanding in these regions.

Projections developed for this study are indicating that harvested sugarcane area in Brazil will reach 11.7 million ha in 2018, departing from 7.8 million ha in 2008. Area allocated for crops (soybean, maize, cotton, rice and dry beans) is expected to grow from 37.8 million ha to 43.8 million ha. Pasture area will move to the opposite direction, being reduced from 165 to 162 million ha. Results for the South-Centre region show that the expansion of grains (3.2 million ha) and sugarcane (3.3 million ha) are fully compensated by the reduction on pasture area (6.1 million ha). Projections also confirm that cattle production is improving in terms of productivity given that the herd is increasing despite of the reduction on pasture area.

Regarding to the indirect land use change (ILUC), the study raises some important arguments. In the states where sugarcane area increased from 2002 to 2006, area for other crops has also increased (exception for São Paulo), which means there is no clear reason to state that sugarcane has displaced crops which in turn could occupy natural vegetation. A similar

rational can be made for pasture land, but now including yield improvement. The states that have lost pasture land have also increased cattle herd (exception for São Paulo and Paraná), meaning there was an improvement in the cattle sector. Moreover, the expansion of pastures and grains area in the Amazon Biome region, which one would argue that it is happening due to the indirect effect, are lower than the area displaced by sugarcane in the South-Central region.

Yield improvements in crops can be considered as area's release; they provide area for other purposes. Sugarcane cultivated over these areas does not compete with land and has no indirect effects. For a total of about 1,390 thousand ha of agricultural area displaced for sugarcane verified by satellite images in the six states analyzed, 572 thousand ha were released by crop yield improvements.

The study concludes that the expansion of other crops (except sugarcane) and pasture land is taking place despite of the sugarcane expansion. This is important because it reinforces that, even recognizing that sugarcane expansion contributes to the displacement of other crops and pasture, there is no evidence that deforestation caused by indirect land use effect is a consequence of sugarcane expansion. Results on past data and projections show that increasing cattle herd stocking rate is able to offset pasture land reduction in regions where competition for land is taking place. Increasing productivity on cattle production, therefore, also reinforces that the expansion of pasture land on the Amazon Biome is not directly promoted by the expansion of crops and sugarcane in the non-frontier regions.

The authors strongly recommend that the analysis presented in the study continues on a regular base in order to guarantee that sugarcane activity continues to respect natural landscapes. As any other agricultural product, sugarcane also contributes to land use changes. However, as discussed here, these changes do not undermine sugarcane's environmental benefits as a renewable agricultural-based biofuel.

4.2.3 "Mitigation of GHG emissions using sugarcane bioethanol"

Isaias C. Macedo^a and Joaquim E.A. Seabra^a

^a NIPE – Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas (SP), Brazil.

Introduction

The implementation of the Brazilian sugarcane ethanol program always included a continuous assessment of its sustainability. The possibilities for increasing production in the next years must consider the exciting promises of new technologies (that may lead to 50% more commercial energy/ha, from sugarcane) as well as environmental restrictions. The greenhouse gases emissions associated with the expansion are analyzed in the next sections.

Ethanol production in 2006 and two Scenarios for 2020

The evaluation of the GHG emissions (and mitigation) from the sector in the last years (2002-2008) and the expected changes in the expansion from 2008 to 2020 must consider technology (the continuous evolution and selected more radical changes), both in cane production as in cane processing. Two (alternative) technology paths were selected:

- The Electricity Scenario follows the technology trends today, with commercially available technologies: the use of trash (40% recovery) and bagasse to produce surplus electricity in conventional high pressure co-generation systems.
- The Ethanol Scenario considers advanced ethanol production through the bioconversion of cane lingo-cellulosic residues; ethanol would be produced from sucrose but also in an adjacent plant with the surpluses of bagasse and of the 40% trash recovered. This condition would lead to a smaller area (29% smaller, for the same ethanol production) than the Electricity Scenario; technologies may be commercial in the next ten years.

The 2006 results are based on 2005/2006 average conditions, with the best available and comprehensive data for the Brazilian Center-South Region (Macedo et al., 2008). Note that GHG emissions/mitigation are evaluated for each Scenario specific conditions; Scenario implementation schedules are not presented (or needed) for the objective of this study. However, it must be said that the Electricity Scenario implementation is occurring now in all Greenfield operations, and already in some retrofit of existing units. The Ethanol Scenario as proposed still depends on technological development of the biomass hydrolysis/fermentation processes, and it would take longer to be implemented to a significant level in the context of the Brazilian ethanol production.

The data used for 2006 is for a sample of 44 mills (100 M t cane/season), all in the Brazilian Center South. Data have been collected/processed for the last 15 years, for agriculture and industry, for the CTC 'mutual benchmarking'. Agricultural data used for 2020 scenarios are authors' projections, based on estimations suggested by sugarcane sector specialists, while industrial yields are result from simulations, derived from information presented in literature.

Energy flows and lifecycle GHG emissions/mitigation

The systems boundaries considered for the energy flows and GHG emissions and mitigation include the sugarcane production, cane transportation to the industrial conversion unit, the industrial unit, ethanol transportation to the gas station, and the vehicle engine (performance). Methodologies use data and experimental coefficients and, in some cases, IPCC defaults. The CO₂ (and other GHG) related fluxes are:

- CO₂ absorption (photosynthesis) in sugarcane; its release in trash and bagasse burning, residues, sugar fermentation and ethanol end

use. These fluxes are not directly measured (not needed for the net GHG emissions).

- CO2 emissions from fuel use in agriculture and industry (including input materials); in ethanol transportation; and in equipment/buildings production and maintenance.
- Other GHG fluxes (N2O and methane): trash burning, N2O soil emissions from N-fertilizer and residues (including stillage, filter cake, trash).
- GHG emissions mitigation: ethanol and surplus bagasse (or surplus electricity) substitution for gasoline, fuel oil or conventional electricity.

The GHG emissions associated with direct land use change (LUC) are estimated separately in the next section, where the possible indirect impacts of land use change (ILUC) are also discussed for the specific case of the expansion of ethanol production in Brazil. The energy use/conversion for 2006 and for each 2020 Scenario is presented in Table 5, and the corresponding GHG emissions for are in Table 6.

Table 5: Energy balance in anhydrous ethanol production (MJ/t cane).

	2006	2020 electricity	2020 ethanol
Energy input	235	262	268
Agriculture	211	238	238
Industry	24	24	31
Energy output	2,198	3,171	3,248
Ethanol ^a	1,926	2,060	2,880
Electricity	96	1,111	368
surplus ^b			
Bagasse	176	0	0
surplus ^a			
Energy ratio	9.4	12.1	12.1

^a Based on LHV (Low Heating Value).

^b Considering the substitution of biomass-electricity for natural gas-electricity, generated with 40% (2006) and 50% (2020) efficiencies (LHV).

Table 6: Total emission in ethanol life cycle (kg CO2 eq/m3 anhydrous).^a

	2006	2020 electricity	2020 ethanol
Cane production	417	326	232
Ethanol production	25	24	22
Ethanol distribution	51	43	43
Credits			
Electricity surplus ^b	-74	-803	-190
Bagasse surplus ^c	-150	0	0
Total	269	-409	107

^a Emissions for hydrous ethanol/m³ are about 5% less than values verified for anhydrous ethanol.

^b Considering the substitution of biomass-electricity for natural gas-electricity, generated with 40% (2006) and 50% (2020) efficiencies (LHV).

^c Considering the substitution of biomass fuelled boilers (efficiency = 79%; LHV) for oil fuelled boilers (efficiency = 92%; LHV).

Note that the differences in total emissions are strongly dependent on the co-products credits. The large difference between 2006 and the 2020 Electricity Scenario is due to an actual increase in the system energy efficiency (much larger energy output). An analogous increase in energy output occurred between 2006 and the 2020 Ethanol Scenario, but note that the change is an increase in ethanol output (rather than in electricity) and also the emissions are presented in kg CO₂eq/m³ ethanol.

The net GHG avoided emissions, including the ethanol substitution for gasoline and considering the engines performances in Brazil (based on the experience with the fleet of 23 M vehicles, in the last 30 years, with E-24, E-100 and Flex Fuel engines) is shown in Table 4.1-7. The use of the allocation (energy) criterion for the co-products (with the whole GHG emissions associated with cane and ethanol production being distributed among ethanol, electricity and surplus bagasse according to their energy content, and with no co-product credits considered in the net emission) is compared to the use of the substitution criterion (with the mitigation derived from ethanol, electricity and surplus bagasse use being considered as well as all emissions from cane and ethanol production) in Figure 3; the substitution criterion results are detailed in Table 7.

Table 7: Avoided emissions due to ethanol use (t CO2 eq/m3 hydrous or anhydrous; substitution criterion for the co-products).

	Ethanol use ^a	Avoided emissions _b	Net emission ^c
2006	E100	-2.0	-1.7
	E25	-2.1	-1.8
2020 electricity	E100	-2.0	-2.4
	FFV	-1.8	-2.2
2020 ethanol	E25	-2.1	-2.5
	E100	-2.0	-1.9
	FFV	-1.8	-1.7
	E25	-2.1	-2.0

^a E100, or HDE: hydrous ethanol in dedicated engines; FFV: hydrous ethanol in flex-fuel engines; E25: anhydrous ethanol (25% volume) and gasoline blend.

^b Avoided emission (negative values) due to the substitution of ethanol for gasoline; fuel equivalencies verified for each application in Brazil.

^c Net emission = (avoided emission due to ethanol use) + (ethanol life cycle emission). Co-products credits are included.

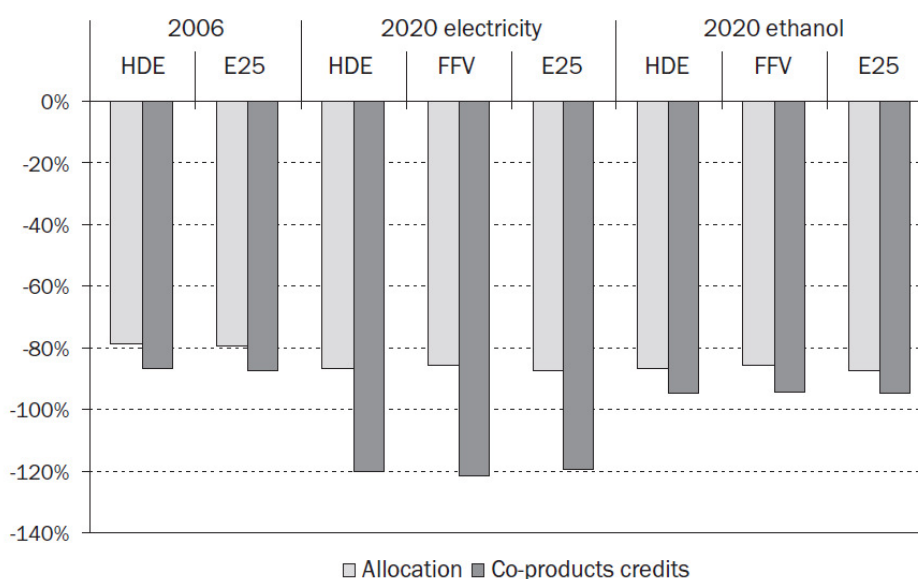


Figure 3: GHG mitigation with respect to gasoline: allocation or co-products credits.

Estimated emissions from LUC

For the changes from 2002 to 2006 (areas closer to the existing mills) soil types were frequently HAC, and some of the cane was burned; for the expansion now and in next decade, soils will be closer to LAC (and for 2020, 100% green cane harvesting is assumed). The trends for land use change until 2020 are discussed in the next sections. It is assumed that at least

70% of the pasture land used for cane is not planted pasture, with varying degrees of degradation. Using the values in presented by Amaral et al. (2008), and the areas for each type of vegetation replaced with sugarcane, the total carbon stock change was evaluated and divided by a 20 year period. For the above ground carbon stock, only the values corresponding to perennial vegetation were considered. Results are in Table 8.

Table 8: Emissions associated with LUC to unburned cane.

Reference crop	Carbon stock change ^a (t C/ha)	Emissions (kg CO ₂ eq/m ³)		
		2006	2020 electricity	2020 ethanol
Degraded pasturelands	10	-302	-259	-185
Natural pasturelands	-5	157	134	96
Cultivated pasturelands	-1	29	25	18
Soybean cropland	-2	61	52	37
Maize cropland	11	-317	-272	-195
Cotton cropland	13	-384	-329	-236
Cerrado	-21	601	515	369
Campo Limpo	-29	859	737	527
Cerradão	-36	1,040	891	638
LUC emissions ^b		-118	-109	-78

^a Based on measured values for below and above ground (only for perennials) carbon stocks.

^b Considering the following LUC distribution – 2006: 50% pasturelands (70% degraded pasturelands; 30% natural pasturelands), 50% croplands (65% soybean croplands; 35% other croplands); 2020: 60% pasturelands (70% degraded pasturelands; 30% natural pasturelands); 40% croplands (65% soybean croplands; 35% other croplands). Cerrados were always less than 1%.

Note that in all Scenarios there is a net reduction in emissions (close to 100 kg CO₂ eq/m³ ethanol); this was expected, since the expansion areas for sugarcane include a very small fraction of native lands with high carbon stocks, and some degraded land. The specific situation for land availability, the environmental restrictions and local economic conditions (relative crop values and implementation costs), discussed below, indicate that LUC motivated GHG emissions will not impact ethanol production growth in Brazil in the time frame considered (2020).

It must be noted that the above ground carbon in the sugarcane plant is relatively high, and even with its annual harvesting the change from any of the other crop, or even a campo limpo, to sugarcane will produce an additional carbon capture (corresponding to differences in the 'average' above ground carbon in the plants). This was not included here, since it has not been considered in the IPCC methodology.

Indirect land use change effects on GHG emissions

For most land use changes anywhere some impacts (including in GHG emissions) may happen; and in our increasingly globalized economy indirect LUC impacts may occur. However, some of the hypotheses and tools leading to the initial quantification of the impacts of biofuels production (Gnansounou et al., 2008), as presented today, are clearly not suitable due to the lack of data and oversimplified methodologies. Furthermore, we should not simply take as “unchangeable” the huge context of today’s agriculture. Higher agricultural productivities, energy end-use efficiencies and the use of other energy renewable resources in the next decades may be expected, changing energy demand and required areas for energy production, and they can entirely change the “future” ILUC impacts of biofuels.

In the Brazilian context, most scenarios (based on Internal Demand plus some hypotheses for Exports) indicate a total of ~ 60 M m³ ethanol in 2020, or 36 M m³ more than in 2008. Such expansion corresponds to a relatively small requirement for new cane areas (~5 M ha), which must be considered combined with probable release of areas due to the progressive increase of pasture productivities. Within Brazilian soil and climate limitations, the strict application of the environmental legislation for the new units, and the relatively small areas needed, the expansion of sugarcane until 2020 is not expected to contribute to ILUC GHG emissions.

4.3 LCA database update

A comprehensive countrywide database for Brazilian sugarcane sector has not been fully established yet. Recent survey efforts (CONAB, 2008) cover most part of the mills in Brazil, but do not present information about important parameters, such as fertilizers use and diesel consumption in sugarcane production. For this reason, the last comprehensive studies (Macedo 1996; Macedo et al., 2004; Macedo et al., 2008) have used CTC’s database, which is recognized for information reliability and traceability, even though a relatively small number of mills is covered.

This section presents the results updating the main parameters related to sugarcane production and processing, considering (essentially) the data for 2008/2009 season. This work was aimed at parameters updating and standardization of database information, in order to facilitate future LCA studies using different methodologies. Once again, CTC’s database has been used, but now involving a considerably larger sample of mills. For some parameters, the sample consisted of 167 mills. CTC has increased the number of mills participating in its survey since 2005.

We have processed the data (with CTC participation) for some important parameters. For diesel consumption and fertilizer utilization in sugarcane production, comprehensive analyses were performed to verify information consistency. For diesel consumption, CTC has calculated individual values for each associate as the quotient of mill’s total diesel consumption by the total cane crop area of that particular mill. In 2007, the overall weighed average calculated by CTC was 274 L/ha, with values ranging from 176 to

492 L/ha. Such wide range is mainly due to the different contribution levels of third party machinery and trucks on sugarcane production, for which the diesel consumption is not accounted for. In other cases, some mills also perform agricultural activities to other units, which results in higher diesel consumption, even though part of the consumption is related to cane production of other mills.

To verify the consistency of the final overall average, CTC experts performed a separate analysis based on six selected mills, characterized by the low contribution of third party machinery. For this specific sample, the overall diesel consumption average was 269 L/ha, with specific values ranging from 197 to 348 L/ha. Considering the consistency between these two overall averages, we adopted the CTC's overall weighted average (274 L/ha) as the reference data.

For fertilizers, the analysis was based on detailed information about fertilizers utilization and their types (mainly for nitrogen and phosphorus), provided by eighteen CTC associates, among mills and cane producer associations. This sample amounted to approximately 330,000 ha (total planted area), for a harvested area of more than 240,000 ha. From this survey, a refined sample was selected, excluding all units with harvested area less than 72.44% of the total area, which represents the overall average of CTC's Mutual Control. Such refined sample was equivalent to a total planted area of 240,000 ha, for a harvested area of almost 200,000 ha. The final averages of this sample were compared to a simulated scenario, considering Mutual Control averages for fertilizers utilization in specific areas (e.g., ratoon w/ and w/o stillage application) and a typical distribution of areas. Once the final averages of both cases were similar, we adopted the averages related to the refined sample as the reference values for fertilizers utilization in sugarcane production.

Table 4.3-1 compiles the final parameters considered for sugarcane production, while sugarcane processing parameters are presented in table 4.3-2. As for ethanol fuel utilization, the potential emissions mitigation can be addressed through the average emission factors shown in table 4.3-3, verified for São Paulo State.

Table 4.3-1. Updated parameters for sugarcane production, harvesting and transportation: 2008 season.

Parameter	Value		Source
Total cane – all uses (Brazil)	648.85	M t	MAPA (2009)
Total planted area (Brazil)	8.92	M ha	MAPA (2009)
Total harvested area (Brazil)	8.14	M ha	MAPA (2009)
Total cane ^(a) (Brazil)	563.6	M t	MAPA (2009)
Total sugar (Brazil)	31.3	M t	MAPA (2009)
Total hydrous ethanol (Brazil)	18.0	M m3	MAPA (2009)
Total anhydrous ethanol (Brazil)	9.6	M m3	MAPA (2009)
Harvested area % total area	72.44%		CTC
Cane productivity	86.7	t/ha	CTC (168 mills)
Total diesel consumption ^(b)	274	L/ha	CTC (27 mills)
Transportation distance ^(b)	21.2	km	CTC (32 mills)
Truck's energy efficiency ^(b)	55.2	t.km/L	CTC (24 mills)
Unburned cane harvesting	35.3%		CTC (167 mills)
Mechanical harvesting	47.5%		CTC (167 mills)
Agr. inputs			
N	777	g/tc	CTC (13 associates)
P2O5	249	g/tc	CTC (13 associates)
K2O	980	g/tc	CTC (13 associates)
CaCO3	5183	g/tc	CTC (13 associates)
Herbicides	2.79	kg/ha	Calculated ^(c)
Insecticides	0.20	kg/ha	Calculated ^(c)
Acaricides	<0.01	kg/ha	Calculated ^(c)
Fungicides	<0.01	kg/ha	Calculated ^(c)
Other defensives	0.06	kg/ha	Calculated ^(c)
Shares of N fertilizers			
Ammonia	14%		CTC (13 associates)
Urea	48%		CTC (13 associates)
Ammonium nitrate	37%		CTC (13 associates)
MAP	<1%		CTC (13 associates)
Shares of P2O5 fertilizers			
Acid	91%		CTC (13 associates)
Phosphate rock	<1%		CTC (13 associates)
MAP	9%		CTC (13 associates)

Only for sugar and ethanol.

Values for 2007 season.

Specific defensive uses are derived from SINDAG data on total defensive demands in 2008 for sugarcane crop. Total sugarcane demands for defensives (active ingredient) in 2008 were – herbicides: 24,857 t; insecticides: 1,808 t, acaricides: 9 t; fungicides: 1 t; others: 538 t. To yield the uses per area, these values were divided by total planted area in Brazil (8.92 M ha).

Table 4.3-2. Updated parameters for sugarcane processing: 2008 season (CTC, 2009).

Parameter	Value		Number of Mills
Pol%cane	14.0509%		166
Fiber%cane	12.80%		166
Vegetal impurities	5.10%		102
Mineral impurities	1.17%		147
Sugar losses			
Cane washing	0.48%		64
Juice extraction	4.17%		102
Filtercake	0.52%		99
Fermentation	5.95%		92
Distillation (due to vinasse)	0.26%		88
Undetermined	3.36%		99
Industrial efficiency	86.20%		103
Ratio ethanol / total production	0.53		105
Chemicals & lubricants use			
Lubricants	10.27	g/tc	65
Weld - crushers	4.48	g/tc	71
Sulfur	155.96	g/bag	45
Lime	880.09	g/tc	93
Polymer	6.59	g/tc	94
Sulfuric acid - fermentation	7.37	g/L	94
Antifoam - fermentation	0.403	g/L	91
Dispersants - fermentation	0.2	g/L	85
Biocide - crushers	6.91	g/tc	49
Soda - evaporators	65.3	g/tc	52
Neutralization soda	2.12	g/L	53
Antibiotic - fermentation	9.285	g/m3	88
Soda - boiler	9.93	g/m3	63
		water	
Cyclohexane	1.65	kg/m3	46
Bagasse % cane	26.4%		74
Electricity surplus	10.5	kWh/tc	Unica (124 associates)
Bagasse sold / total produced	3.3%		74
Residues			
Vinasse	11.31	L/L	85
Filtercake	31.43	kg/tc	99
Boiler ashes	2.06	kg/tc	Copersucar (1995)
Soot	11.76	kg/tc	Copersucar (1995)

Table 4.3-3 Average emission factors for new light vehicles (CETESB, 2009)

Model	Fuel ^(a)	CO	HC	NOx	RCHO	Fuel Mileage	Fuel evap. emission
Year		(g/km)	(g/km)	(g/km)	(g/km)	(km/L)	(g/test)
2000	Gasoline C	0.73	0.13	0.21	0.004	nd ^(b)	0.73
	Ethanol	0.63	0.18	0.21	0.014	nd	1.35
2001	Gasoline C	0.48	0.11	0.14	0.004	nd	0.68
	Ethanol	0.66	0.15	0.08	0.017	nd	1.31
2002	Gasoline C	0.43	0.11	0.12	0.004	10.9	0.61
	Ethanol	0.74	0.16	0.08	0.017	7.2	nd
2003	Gasoline C	0.40	0.11	0.12	0.004	11.2	0.75
	Ethanol	0.77	0.16	0.09	0.019	7.5	nd
	Flex-Gas. C	0.50	0.05	0.04	0.004	10.3	nd
	Flex-Ethanol	0.51	0.15	0.14	0.020	6.9	nd
2004	Gasoline C	0.35	0.11	0.09	0.004	11.4	0.69
	Ethanol	0.82	0.17	0.08	0.016	8.6	nd
	Flex-Gas. C	0.39	0.08	0.05	0.003	10.8	nd
	Flex-Ethanol	0.46	0.14	0.14	0.014	7.3	nd
2005	Gasoline C	0.34	0.10	0.09	0.004	11.3	0.90
	Ethanol	0.82	0.17	0.08	0.016	8.6	nd
	Flex-Gas. C	0.45	0.11	0.05	0.003	11.5	nd
	Flex-Ethanol	0.39	0.14	0.10	0.014	7.7	nd
2006	Gasoline C	0.33	0.08	0.08	0.002	11.3	0.46
	Ethanol	0.67	0.12	0.05	0.014	6.9	nd
	Flex-Gas. C	0.48	0.10	0.05	0.003	11.7	0.62
	Flex-Ethanol	0.47	0.11	0.07	0.014	7.8	1.27
2007	Gasoline C	0.33	0.08	0.08	0.002	11.3	0.46
	Ethanol	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	Flex-Gas. C	0.48	0.10	0.05	0.003	11.7	0.62
	Flex-Ethanol	0.47	0.11	0.07	0.014	7.8	1.27
2008	Gasoline C	0.37	0.042	0.039	0.0014	9.74	0.66
	Ethanol	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	Flex-Gas. C	0.51	0.069	0.041	0.0020	11.7	0.42
	Flex-Ethanol	0.71	0.052	0.048	0.01524	7.38	1.10
	Diesel	0.30	0.06	0.75	nd	nd	nd

(a) Gasoline C: 78% gasoline, 22% anhydrous ethanol (volume basis). Ethanol is hydrous ethanol, used in dedicated engines. Flex-Gas. C represents flex-fuel vehicles fueled with gasoline C, and Flex-Ethanol, flex-fuel vehicles fueled with hydrous ethanol.

(b) Not determined.

4.4 By-product credits

The main by-products of ethanol and sugar production are bagasse and electricity. Nowadays, energy generation in sugarcane mills is based on “pure” steam cogeneration cycles (at pressures of 22 bar), which are able to meet the whole energy demand and still produce small bagasse and electricity surpluses. Even though there is not an established bagasse market in Brazil, many industries acquire surplus bagasse to use it as fuel, avoiding, thus, the use of fuel oil. Such practice, however, has been progressively reduced, as the interest for using bagasse in cane mills to produce more electricity grows.

At the end of the 1990s, with the deregulation of Brazilian power sector, the directive of mills’ power section changed, and they begun to produce surplus electricity for commercialization. A strong modernization process started, involving the acquisition of high pressure boilers, combined with process improvements to reduce energy demand (Macedo e Leal, 2004; Seabra, 2008). As consequence, the electricity surplus commercialized by the mills has increased, with potential to reach levels ten times greater than the current level in the near future, considering the use of trash as supplementary fuel to bagasse (NAE, 2005; Seabra, 2008).

In terms of GHG emission credits, they may be assigned to by-products and main products in many ways. The more suitable way depends on the specific by-product in each case. The emission assignment may consider the use of different methodologies: the displacement method, the energy content, the mass balance, the market value, or a specific reference scenario for the biomass/processes under consideration.

When bioenergy is the main product, the displacement method is usually selected. Basically, it takes into account the service offered by the by-product and how (the net emissions) that service would have been delivered in the absence of the by-product. These net emissions are credited to the biomass product chain for providing the by-product. Essentially, the reference system boundaries are expanded so that it too provides this same by-product output.

In the sugarcane industry, sugar and ethanol are the main products, with surplus electricity and bagasse as by-products, which are commercial energy, and with relatively small output today. For this reason, we may consider the displacement method as reference for by-product credits evaluation.

For bagasse, it is natural to consider the substitution of bagasse fired boilers for fuel oil fired boilers, which is the most significant application in Brazil (Macedo et al., 2004). For electricity, the criteria for substitution are more complex, and deserve further comments. In this case, the basic question is: what is the amount of additional net GHG emissions would have been produced by the Brazilian power system to provide the same energy, in the absence of the surplus electricity supplied by sugarcane processing?

To answer that, we have to consider the characteristics of the Brazilian power system.

It consists of 80% hydropower generation (in an average hydrology year), and the remaining 20% are mostly from thermal power, to complement the SIN (National Interconnected System) demand, to assist in eventual (localized) transmission restrictions, and to supply the SI (Isolated Systems). Wind energy also plays a (small) role, and distributed energy systems (renewable, co-generation) are part of the system as well.

Electricity generation in 2008 was 454 TWh, and the internal supply was 496 TWh (EPE/MME, 2009a), with the generation mix presented in Table 4.4-1. Projections for the expansion of the generation system indicate that from 2008 to 2017 the installed capacities for hydroelectricity will decrease from 81.9 to 70.9%, with substantial increase in fuel oil based power (0.9 to 5.7%) (EPE/MME, 2009b).

Table 4.4-1. Average fuel mix of Brazilian electricity generation in 2008 (EPE/MME, 2009a)

Hydro	80.0%
Natural gas	6.6%
Biomass	5.3%
Oil products	3.3%
Nuclear	3.1%
Coal and derivatives	1.6%
Wind	0.1%

This trend is in part due to environmental restrictions for the large hydro power projects. In addition, new hydroelectricity units have (relatively) much smaller power dams (Chipp, 2009). Actually the water kept in reservoirs in 1970 corresponded to 28 months of operation, and in 2008 it corresponds to only 6 months (it would be 23% less, without thermal power dispatching) (Silva, 2009). This has strongly limited the capacity for multi-annual regulation of the large reservoirs in Brazil, forcing the increasing installation and dispatch of thermal power to help the supply system throughout the dry season.

Thermal power systems have been dispatched for 3 to 4 times more time than initially planned (Silva, 2009). The new thermal based units, due to high fuel costs, are dispatched only when the hydrology requires it, as presented below.

The operational planning of the SIN looks over the next ten years, considering the following issues to determine the best policies for energy supply, within the limit of 5% for the risk of energy shortage: the projected energy demand (three levels) for each of the 4 regional sub-systems (South, North, SouthWest/CenterWest, NorthEast); the limitations of electricity exchanging between the subsystems; and hundreds of hydrology scenarios. The National Electric System Operator (ONS) is responsible, within the SIN, for dispatching the power generation units, for each of the sub-systems. It considers the specific cost and some other restrictions for each unit. It also includes, for energy security (measured by the risk of energy shortage) the anticipation of dispatching thermal power beyond specific cost considerations (POCP: Short Term Operational Procedures). This is done in order to "save" water in the reservoirs (Chipp, 2009).

The dispatch order in Brazil is: 1. Hydroelectric; 2. Wind; 3. Nuclear; 4. Importation from other sub-systems (ordered by increasing cost); 5. Thermal power (ordered by increasing cost). The bagasse based generation units are classified as "inflexible thermal based systems", in the sense that they are always dispatched. They are in the lowest range of CVU (unit variable cost) for the thermal systems: CVU < 100 R\$/MWh; while some fuel oil, diesel and LNG have CVU > 300 R\$/MWh (values for the 30 GW thermal power plants planned to be installed in 2013) (Chipp, 2009). ONS considers that the energy they supply to the grid allows for the reduction of other thermal power plants use, with higher costs, which would have been dispatched for security reasons (with the POCP).

Hence, the emission avoided by the bagasse-derived electricity today is well represented by the emission factor for the Operating Margin (OM). Some methodologies have been used for its evaluation (simple or adjusted OM; dispatch data analysis; average OM) (UNFCCC, 2004), but the use of the dispatch data is the most recommended. The emission factor may then be calculated as the weighted average of the emission factors for the power generation units supplying the 10% (of total dispatched energy) at the lowest priority dispatch (calculated each hour). Considering the predominant use of natural gas thermal plants in the Brazilian Operating Margin generation mix (see table 4.4-2), the adoption of NG emission factors for electricity credits evaluation is appropriate.

Table 4.4-2. Average fuel mix for electricity generation in Brazilian SIN Operating Margin in December 2008 ^(a)

Hydro	1.11%
Wind	0.24%
Nuclear	18.99%
Diesel	0.14%
Natural gas	60.24%
Fuel oil	3.49%
Coal	14.37%
Coke-oven gas	1.41%

(a) MCT (2009); based on ONS data.

SECTION II

4.5 Efeitos Indiretos da Mudança no uso da terra (Indirect Land Use Change)³⁵

4.5.1 Introdução

As atividades desenvolvidas relacionadas à mensuração, a partir de modelagem econômica, dos efeitos indiretos no uso da terra (ILUC) encontram-se em contínuo desenvolvimento pelo ICONE e já apresentaram avanços significativos em relação ao sumarizado na publicação "*Prospects of the sugarcane expansion in Brazil: impacts on direct and indirect land use changes*"³⁶. A interação do ICONE com outras instituições internacionais inseridas neste tema foi intensificada, principalmente com grupos de pesquisa dos EUA, mas também com instituições européias. Essa colaboração permitiu o aprofundamento da compreensão e harmonização das metodologias que se encontram na fronteira do conhecimento em análises de efeito indireto de uso da terra (ILUC). A interação internacional também foi substantiva na identificação das principais lacunas a serem preenchidas, além das melhorias já incorporadas no Modelo de Uso da Terra para a Agricultura Brasileira (*Brazilian Land Use Model - BLUM*) desenvolvido pelo ICONE em parceria com o Center for Agricultural and Rural Development e o Food and Agricultural Policy Research Institute (CARD/FAPRI, Universidade de Iowa).

Esta seção foi dividida da seguinte forma. O capítulo 4.5.2 apresenta como vem se dando a colaboração institucional do ICONE com organizações estrangeiras e governos de outros países no contexto das legislações sobre o uso de biocombustíveis, sobretudo nos Estados Unidos e na União Européia. O capítulo 4.5.3 traz uma avaliação das metodologias em uso para se mensurar as emissões associadas ao ILUC, sobretudo no contexto destas legislações. O capítulo 4.5.4 discute um modelo conceitual para se mensurar o ILUC à luz da experiência acumulada do ICONE nos últimos dois anos trabalhando no tema. O capítulo 4.5.5 descreve o desenvolvimento do BLUM e sua utilidade para mensurar ILUC no Brasil. O capítulo 4.5.6 aponta quais melhorias precisam ser implementadas e desenvolvidas em comparação com o que já foi desenvolvido e o modelo conceitual é apresentado no capítulo 4.5.4. O capítulo 4.5.7 traz as conclusões e recomendações.

³⁵ Elaborado por ICONE – Instituto de Estudos do Comércio e Negociações Internacionais.

³⁶ NASSAR et. al 2008. "*Prospects of the sugarcane expansion in Brazil: impacts on direct and indirect land use changes*". In: Sugarcane Ethanol: Contributions to climate change mitigation and the environment. Orgs. ZUURBIER, P.; VOOREN J.V.de. Wageningen: Wageningen Academic Publishers, cap. 3, p.63-93, 2008.

4.5.2 Colaboração institucional

No campo institucional, a colaboração Brasil-Estados Unidos intensifica-se pelo fortalecimento dos laços entre o ICONE e o CARD/FAPRI no contexto dos estudos de mensuração das mudanças no uso da terra em função da expansão da produção de biocombustíveis como consequência da *Renewable Fuel Standard* (RFS). Os modelos mundiais do CARD/FAPRI foram utilizados pela Environmental Protection Agency (EPA) na projeção dos cenários de expansão e alocação de terra para a produção agrícola em função de expansão da demanda por etanol³⁷. Os resultados das projeções foram utilizados e acoplados na análise desenvolvida pela organização Winrock International para cálculo do balanço das emissões de gases efeito-estufa como resultado da mudança no uso da terra³⁸. O ICONE está também em permanente contato com a equipe de sensoriamento remoto e cálculo de emissões da Winrock International buscando aprimorar, no que diz respeito à realidade brasileira, os resultados obtidos pela organização, publicados pela EPA no texto preliminar da Análise de Impactos Regulatórios (DRIA) do RFS, em maio de 2009 (EPA, 2009)³⁹. Dessa forma, a parceria entre ICONE e CARD/FAPRI constitui uma colaboração indireta entre ICONE e EPA, na medida em que a EPA tem interesses no desenvolvimento de análises mais robustas no contexto dos cálculos das emissões associadas à mudança no uso da terra no Brasil.

A colaboração entre ICONE e CARD/FAPRI concentra-se, atualmente, no desenvolvimento do Modelo de Uso da Terra para Agricultura Brasileira (Brazilian Land Use Model - BLUM) e sua integração no sistema de modelos setoriais mundiais, desenvolvido pelo centro.

Além da cooperação com o CARD/FAPRI, o ICONE participou diretamente de reuniões técnicas para a discussão dos resultados do *Draft Regulatory Impact Analysis* (DRIA) do RFS. Foram três reuniões de trabalho com a equipe do EPA responsável pelo RFS, a participação em uma audiência pública, um workshop organizado em Washington e uma reunião com o governo e setor privado brasileiro, realizada em Brasília. O ICONE também tem colaborado no debate do *Low Carbon Fuel Standard* (LCFS) do *California Air Resource Board* (CARB), além do *Renewable Energy Directive and the Fuel Quality Directive*, da União Européia (Diretiva Européia para

³⁷ O FAPRI é um projeto executado em dois centros de pesquisa nos EUA: o Center for Agricultural and Rural Development (CARD) na Universidade de Iowa e o College of Agriculture, Food and Natural Resources da Universidade de Missouri. O CARD/FAPRI Iowa é responsável pelos modelos mundiais e o FAPRI Missouri pelo modelo EUA. O CARD/FAPRI possui modelos mundiais para os seguintes produtos: trigo, arroz, milho, oleaginosas, algodão, açúcar, biocombustíveis, carnes e lácteos.

³⁸ CARD. Technical Report: An Analysis of EPA Biofuel Scenarios with the CARD International Models, November 2008 (disponível em <http://www.regulations.gov/search/Regs/home.html#docketDetail?R=EPA-HQ-OAR-2005-0161>).

³⁹ Harris, N; Grimland, S; Brown, S. GHG Emission Factors for Different Land-Use Transitions in Selected Countries of the World. Report to EPA, October 2008 (disponível em <http://www.regulations.gov/search/Regs/home.html#docketDetail?R=EPA-HQ-OAR-2005-0161>).

Biocombustíveis). Além disto, o ICONE participou pessoalmente de duas reuniões com a equipe técnica do CARB, e duas reuniões com a equipe do Joint Research Centre of the European Commission.

A participação do ICONE nas discussões técnicas para elaboração das principais legislações para biocombustíveis no mundo tem também contribuído para a especialização do ICONE no tema ILUC. A equipe técnica aprofundou seu conhecimento, verificando as nuances dos principais modelos de metodologias atualmente empregados ou propostos.

4.5.3 Avaliação das Metodologias Utilizadas

Existe forte tendência no entendimento de que o cálculo de emissões de GEE no ciclo de vida do etanol deva considerar também o ILUC causado pela produção da matéria-prima agrícola (TILMAN et al, 2006; FARGIONE et al, 2007; SERRCHINGER et al, 2008). As principais legislações de biocombustíveis incluem referências explícitas ao tratamento do ILUC (CARB, 2009; EPA, 2009; COUCIL OF THE EUROPEAN UNION, 2008). A avaliação de ILUC global é uma proposta relativamente recente e com metodologia ainda em desenvolvimento.

Até então não foram registrados avanços significativos no desenvolvimento de metodologias inovadoras e específicas para o tratamento de questões de ILUC. Pelo contrário, os esforços de pesquisa têm sido direcionados no preenchimento das lacunas para adaptar metodologias robustas e já existentes, utilizadas em diferentes áreas da ciência. De modo geral, buscase a combinação de modelos sócio-econômicos e biofísicos.

Dos modelos socioeconômicos são extraídas as projeções e simulações de tendências de produção, consumo e mudança de uso da terra, onde as alterações do ambiente são determinadas pelas decisões do indivíduo. Esses modelos tratam geralmente de áreas geográficas extensas, como estados, países ou grupos de países.

Nos modelos biofísicos, a análise concentra-se nas características físicas e geográficas e a interferência humana é geralmente exógena⁴⁰. A principal finalidade do uso de modelos biofísicos, para o cálculo de ILUC, são (i) a utilização de imagens de satélite e mapas para a determinação da cobertura vegetal e cálculo de estoques de carbono e (ii) modelos espacialmente explícitos para alocar o resultado das projeções sócio-econômicas. Tais modelos costumam ser utilizados em áreas geográficas limitadas e o pixel é a unidade de análise.

As inúmeras combinações dos diversos modelos sócio-econômicos e biofísicos existentes geram um conjunto, de possíveis metodologias de análise de ILUC, demasiadamente grande para ser tratado no escopo do presente estudo. Dessa forma, as metodologias utilizadas (ou com grande potencial para serem utilizadas) nas principais legislações de

⁴⁰ Uma síntese dos principais trabalhos de integração de modelo econômicos e biofísicos pode ser encontrada em Veldkamp e Verburg (2004). Na data de edição dessa publicação, porém, o conceito de ILUC ainda não estava claro.

biocombustíveis, como RFS, LCFS e Diretiva Européia, serão analisadas nos próximos parágrafos.

Em todas as metodologias, o conceito e abordagem de mensuração do ILUC são tratados de maneira bastante semelhante, como segue:

- i. projeta-se um cenário de base, sem qualquer política para biocombustíveis;
- ii. projeta-se um cenário alternativo no qual considera-se uma política de expansão de consumo e produção de biocombustíveis;
- iii. compara-se as emissões de GEE por mudança de uso da terra entre os cenários;
- iv. a diferença em emissões de GEE entre os cenários é associada ao consumo de biocombustíveis estimulado pela política.

Não existe, assim, um valor único para as emissões indiretas em todos os casos, mas um valor diferente para cada política.

No LCFS, foi utilizada uma combinação do Global Trade Analysis Project (GTAP) e mapas de estoque de carbono. Os resultados gerados para as 111 regiões globais do GTAP foram distribuídos entre as 18 Agro-Ecological Zones (AEZ), sendo esta a principal adaptação do modelo para análises de uso da terra. Cada região do GTAP é inserida em pelo menos uma AEZ. A emissão de GEE é calculada pela multiplicação da mudança de uso da terra (resultado do GTAP) pelos fatores de conversão entre usos da terra em cada uma das AEZs (dados tabulares derivados dos mapas de estoque de carbono) (CARB, 2009).

O GTAP, desenvolvido pela Universidade de Purdue, foi originalmente concebido para análises de comércio internacional. Por se tratar de um modelo de equilíbrio geral computável, a oferta, a demanda e a renda são determinadas simultaneamente e diferentes equilíbrios são encontrados. No GTAP, a convergência de um equilíbrio para outro não é necessariamente intuitiva, porém não há interesse dentro do LCFS em identificar a seqüência temporal entre dois equilíbrios. Nela, a demanda por terra é determinada por funções de substituição entre fatores de produção.

A revisão da proposta de regulamentação do LCFS pelo ICONE teve como principal foco, a análise da aplicação e dos resultados gerados pelo GTAP, para o caso brasileiro⁴¹. Embora o ICONE reconheça o esforço em pró da transparência na elaboração da legislação, foi identificado o uso de diversos índices e parâmetros no GTAP que não são adequados para a realidade da dinâmica do uso do solo no Brasil (UNICA, 2009). Ademais, no GTAP o Brasil é considerado como uma única região, não sendo considerado as

⁴¹ A revisão contou com a valiosa colaboração dos professores Ângelo Gurgel, da FEA-RP e Weber do Amaral da ESALQ, ambos da Universidade de São Paulo.

diferenças locais entre as regiões, o que não é adequado, dado as especificidades das regiões brasileiras.

Na proposta de legislação do RFS, a EPA combinou a análise de uso da terra, desenvolvida pelo sistema de modelos do CARD/FAPRI e pelo modelo *Forestry Agriculture Sector Optimization Model* (FASOM), da Universidade Texas AM, com as análises de imagens de satélite e dados georeferenciados disponibilizados pela Winrock International (EPA, 2009).

O sistema de modelos FAPRI é uma combinação de modelos de equilíbrio de oferta e demanda, cujo objetivo é projetar consumo, produção e comércio internacional de produtos agrícolas (FAPRI, 2009). Embora seu objetivo inicial não fosse o de analisar o uso da terra, a competição por terra entre lavouras é explicitamente modelada nos principais mercados por meio de matrizes de competição, que respondem a rentabilidade. O FASOM é um modelo de otimização e, seu objetivo original é a realização de análises agrícolas e ambientais contidas dentro dos limites geográficos dos EUA (ADAMS et al 1996; EPA, 2009).

Assim como para o LCFS, o ICONE analisou a proposta de regulação, sob consulta pública, publicada pelo EPA em maio de 2009 (EPA, 2009). O ICONE rejeita a análise proposta no documento como adequada para a dinâmica da agricultura brasileira, devido aos seguintes elementos:

- i. análise demasiadamente agregada (o Brasil é tratado como uma única região);
- ii. as áreas de pastagens não são modeladas seguindo hipóteses econômicas;
- iii. a capacidade de intensificação da pecuária não foi devidamente considerada e;
- iv. a análise de imagens de satélite não tem a precisão adequada para diferenciar as áreas de pastagens e vegetação nativa em alguns biomas brasileiros.

No período de consulta pública referente ao DRIA para o RFS, diversas melhorias já haviam sido incorporadas no BLUM tornando possível elaborar propostas construtivas para a melhoria da metodologia proposta pela EPA. A análise de mudança de uso da terra proposta no texto original foi refeita utilizando o BLUM, desagregando o Brasil nas seis regiões e com uma análise de mudança de uso da terra substancialmente mais completa que a do texto original (NASSAR et al., 2009).

Os resultados obtidos no BLUM indicam existência de efeito indireto da expansão de consumo de produção de etanol de cana-de-açúcar, porém marginal e significativamente inferior aos resultados originalmente propostos no Draft Regulatory Impact Analysis (DRIA). Tal constatação indica a necessidade de aprimorar e adequar as resultados apresentadas no DRIA. A colaboração entre ICONE e CARD/FAPRI coloca o BLUM como

candidato natural para executar tais aprimoramentos. Dessa forma já é possível verificar resultados importantes e tangíveis na colaboração entre Brasil e EUA⁴².

Na data de redação deste relatório, a proposta de legislação referente à Diretiva Européia não foi ainda publicada. No entanto, a participação do ICONE em workshops do Joint Research Centre of the European Commission, seguida da colaboração entre ICONE e membros da comissão européia (Diretórios de Transporte, Agricultura e Meio Ambiente), dão indicações de que a metodologia para cálculo de emissões de GEE, devido ao ILUC dos biocombustíveis, será fundamentada na combinação de modelos econômicos (para projeções globais de uso da terra em diferentes cenários de política), modelos espacialmente explícitos (para a alocação dos resultados dos modelos econômicos) e mapas de estoque de carbono (para conversão de mudança de uso da terra em emissões de GEE) (JRC, 2009).

O modelo Aglink-Cosimo, desenvolvido pela OCDE e FAO deverá ser um dos modelos econômicos selecionados pela Comissão Européia para as projeções de longo prazo e seus resultados deverão ser submetidos à verificação paralela. O Aglink-Cosimo é um modelo de equilíbrio parcial, com foco em análises políticas nos mercados agrícolas no médio e logo prazo (OCDE, 2007). Assim como no FAPRI, o uso da terra é determinado principalmente pelas rentabilidades de cada atividade. Embora não tenha sido desenvolvido para análises de ILUC, a atual proposta metodológica concentra-se na adequação do modelo para análises locais e globais de políticas de ILUC (OCDE, 2009).

Alternativamente, a Comissão Européia deve considerar o modelo de MIRAGE. A utilização do MIRAGE para tal fim é um esforço conjunto do Centre D' Études Prospectives et d' Informations Internationales (CEPPI) e International Food Policy Research Institute (IFPRI). O MIRAGE é um modelo de equilíbrio geral, desenvolvido a partir do GTAP7. A melhoria da base de dados para o setor de biocombustíveis, as estimações de funções de produção adequadas ao setor agrícola, o desenvolvimento do módulo de energia e a decomposição adequada e incorporação da dinâmica de uso da terra são as principais adaptações para as análises de ILUC. As indicações iniciais são de que, por ser a primeira tentativa de utilizar o MIRAGE para análises de ILUC, ainda serão necessários significativos avanços no sentido de consolidar os fundamentos teóricos, bases de dados e parâmetros adequados.

Além das duas abordagens descritas existe também um esforço por parte de pesquisadores da Universidade de Wagenigen, na Holanda, de desenvolver uma metodologia integrada entre modelos de equilíbrio geral e modelos espacialmente explícitos, tomando como base os modelos LEITAP e IMAGE, respectivamente. Um dos principais desafios nesse caso é utilização de *feed backs* do modelo biofísico no modelo de projeção/simulação econômica.

⁴² Além da postagem formal do Docket no site do EPA, os resultados de Nassar et al foram apresentados diretamente aos membros do EPA, na visita oficial do EPA ao Brasil (NASSAR et al, 2009).

A revisão das legislações propostas identificou algumas limitações comuns em todas as metodologias propostas. Tais limitações podem ser sumarizadas como segue:

- todos os modelos consideram apenas uma parcela significativa de atividades agrícolas, sendo praticamente impossível modelar todas as atividades;
- os modelos fornecem a informação de alocação de área e não mudança de uso da terra;
- com exceção dos modelos de equilíbrio geral que, devido ao fato de possuírem elasticidades de substituição entre fatores de produção e, assim, serem capazes de assumir a intensificação de pastagens. Os modelos de equilíbrio parcial não consideram pastagens como uma classe de uso do solo e, assim, não projetam sua intensificação;
- outros vetores de conversão de vegetação nativas, tais como desmatamento ilegal, expectativa de valorização da terra, falta de direitos de propriedade não são considerados, ou são apenas parcialmente considerados.

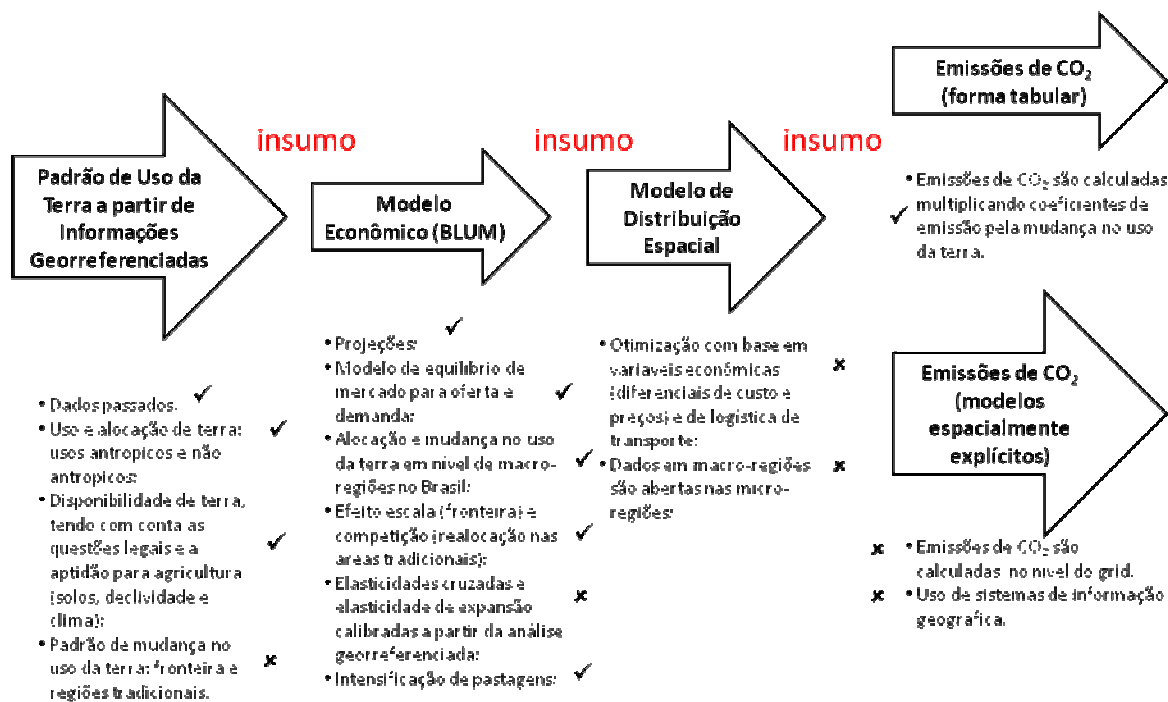
4.5.4 Modelo Conceitual para Mensurar ILUC

Embora a EPA, o CARB e, ainda que de forma inicial, a Comissão Européia, tenham estabelecido metodologias para avaliar e mensurar as emissões associadas ao ILUC, há consenso que as análises desenvolvidas estão sujeitas a um elevado grau de incerteza que coloca em dúvida sua utilização para fins de definição de legislações⁴³. No entanto, tais legislações colocaram o tema do ILUC no centro do debate sobre biocombustíveis e estimularam pesquisas e esforços adicionais no desenvolvimento de metodologias mais precisas e abrangentes para a mensuração das emissões associadas à mudança no uso da terra. O protagonismo do Brasil na produção de etanol e a condição de país com disponibilidade de terra para agricultura e, ao mesmo tempo, com destaque no tema do desmatamento da Amazônia, acabou trazendo o país para o centro do debate sobre ILUC. Ironicamente, este fato abriu uma janela de oportunidade para pesquisadores e centros de pesquisa brasileiros se destacar na condução do processo de desenvolvimento de metodologias.

Aliando a experiência do ICONE na avaliação das análises desenvolvidas pela EPA e pelo CARB, com a participação em projetos de pesquisa sobre este tema⁴⁴, pode-se definir um modelo conceitual ideal para mensuração de ILUC. A figura abaixo resume o modelo conceitual.

⁴³ Um exemplo dessa constatação é a carta da EPA para o Senador Tom Harkin. A carta pode ser encontrada no seguinte endereço eletrônico: <http://www.profarmer.com/LinkClick.aspx?fileticket=15UfmgFjbow%3D&tabid=62>.

⁴⁴ Nesse ponto é importante mencionar o “Estudo de Baixo Carbono no Brasil” coordenado pelo Banco Mundial. Esse estudo foi importante para o ICONE de duas formas: (i) estimular o desenvolvimento do BLUM, não somente com parte dos recursos financeiros necessários, mas também apontando para o ICONE que havia demanda por



Fonte: ICONE

Notas: o símbolo ✓ indica que o tópico já está conectado ao BLUM ou que já usa as informações do BLUM. O símbolo ✗ indica que o tópico ainda precisa ser desenvolvido.

Figura 4.5-1. Modelo Conceitual para Mensuração do ILUC

A mensuração do ILUC é feita a partir da combinação de dois tipos de modelagens: uma modelagem com base em técnicas de georreferenciamento e outra de base econômica. A modelagem econômica tem como papel principal projetar a alocação e a mudança no uso da terra a partir de cenários de oferta e demanda para os produtos agrícolas e florestais. O modelo econômico, no entanto, gera resultados muito agregados que, idealmente, devem ser distribuídos espacialmente antes de se proceder aos cálculos das emissões de GEE. Dessa forma, o modelo econômico de equilíbrio de mercado é complementado por um modelo de otimização que vai distribuir os cálculos de alocação e mudança no uso da terra em unidades geográficas mais desagregadas (micro-regiões do IBGE, por exemplo). Os resultados em níveis de micro-regiões podem ser trabalhados em modelos espacialmente explícitos, executados em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), para cálculo das emissões.

A modelagem econômica, no entanto, requer informações georreferenciadas como insumo. Para que um modelo econômico de alocação de terra seja capaz também de gerar resultados de mudança no uso da terra, ou seja, não apenas projetar a área a ser alocada para uma determinada lavoura no futuro, mas também os efeitos de substituição de outros usos pelo avanço

expertise em projeções econômicas de uso da terra; (ii) evidenciando a necessidade de integração de modelagens econômicas de uso da terra com modelagens de geoprocessamento, tanto na avaliação do uso corrente da terra a partir de imagens de satélite, quando na mensuração das emissões de GEE com modelos espacialmente explícitos.

da cana, idealmente é preciso definir padrões, com base em dados históricos, dos efeitos escala (expansão na fronteira) e competição (substituição entre usos). Esses padrões servirão de base para se validar as elasticidades cruzadas e de avanço na fronteira utilizadas pelo modelo econômico. A sugestão aqui é que a definição desses padrões seja feita com base em imagens de satélite. Portanto, as informações georreferenciadas são também insumos para o modelo econômico.

Além disso, considerando que terra é um recurso escasso, uma informação central, tanto para o modelo econômico, quanto para a distribuição espacial do uso da terra, é a disponibilidade de terra e aptidão das terras disponíveis para produção agrícola. Ambas as informações são calculadas com precisão a partir de geoprocessamento. A análise de sensoriamento remoto é também importante para se validar as informações de área utilizada para agropecuária, levantados a partir de dados secundários, com os cálculos de área antropizada, calculados a partir de imagens de satélite.

4.5.5 Desenvolvimentos Implementados

Após a publicação de Nassar et al (2008), diversos aperfeiçoamentos foram desenvolvidos e implementados na metodologia de cálculo de ILUC, proposta pelo ICONE. Por exemplo, as conexões e integração do BLUM com outros modelos, além de melhorias internas ao BLUM⁴⁵. As conexões e integração do BLUM proporcionaram o avanço em duas áreas distintas: com modelos sócio-econômicos globais e com modelos biofísicos; e exigiram coordenação do ICONE com as equipes especializadas. Ao mesmo tempo, as melhorias internas do BLUM contribuem para o avanço da fronteira do conhecimento internacional sobre ILUC.

Em relação aos avanços estruturais do BLUM, foi desenvolvida uma metodologia adequada para tratar explicitamente a distribuição regional da produção agropecuária e vegetação nativa dentro de um contexto de restrição de área. Para tal, foram necessários avanços em diversas frentes de pesquisa e ampla colaboração das equipes de pesquisa do ICONE e CARD/FAPRI, além da colaboração de outros pesquisadores em temas específicos. A pesquisa desenvolvida é detalhada nos parágrafos a seguir.

A fase de aperfeiçoamento do BLUM foi antecedida por uma fase preparatória de revisão e reflexão, quando verificou-se a necessidade do desenvolvimento e adequação de um modelo que tratasse a competição entre lavouras e pastagens simultaneamente à restrição da expansão destas sobre a vegetação nativa. O estudo de "*A Linear Approximate Acreage Allocation Model*" (HOLT, 1999) foi utilizado como referência inicial para tal abordagem. As adaptações deveriam ser moldadas de forma a adequar-se às especificidades das seis regiões do BLUM.

⁴⁵ Embora tal distinção seja inicialmente didática, os avanços nas conexões entre BLUM e outros modelos naturalmente dificultam a separação entre as melhorias nas conexões e as melhorias no próprio BLUM.

A principal vantagem dessa melhoria é a possibilidade de decomposição das elasticidades de área total em elasticidades individuais, sendo estas compostas pelos efeitos “escala” e “competição”. A incorporação desses dois efeitos é particularmente interessante, pois diferentemente dos demais modelos existentes, o BLUM é capaz de captar a mudança de uso da terra, e não apenas alocação de terra para as atividades. Como proposto no texto original, para isso, os parâmetros individuais devem respeitar as condições de homogeneidade, simetria e aditividade.

Outra vantagem está na incorporação de informações georreferenciadas de uso e disponibilidade de terra no Brasil. Esses dados são tratados no modelo com equações não lineares para estimação e projeção da área total utilizada pela agropecuária. Tal combinação faz com que os limites geográficos da produção agropecuária e da vegetação nativa sejam respeitados. Existe, ainda, vasta literatura econômica indicando que o uso de equações não lineares deve ser preferido em análises onde o objeto sob estudo tenha limites superiores e/ou inferiores (Wooldridge, 2002; Greene, 2000).

É importante ressaltar que, para atingir a desejada robustez e coerência dos resultados são exigidos grandes esforços na estimação dos parâmetros, além da incorporação de inputs de modelagem em SIG com alto grau de fidelidade. Os inputs de SIG necessários são a área disponível para agricultura, e a interpretação de imagens de satélite para identificação dos padrões passados de substituição entre lavouras, pastagens e vegetação nativa.

Tais melhorias metodológicas no BLUM foram incorporadas de acordo com a disponibilidade de informações. A colaboração com o professor Gerd Sparovek, da Universidade de São Paulo, possibilitou a utilização de base de dados georreferenciada como informação de área disponível para agricultura. A base de dados foi desenvolvida com base no *Agricultural Land Use and Expansion Model – Brazil (AgLUE-BR)*⁴⁶. Não existe ainda um levantamento de dados georreferenciados adequado para inferir o comportamento passado na substituição entre lavouras, pastagens e florestas nativas no Brasil.

A integração do BLUM com modelos econômicos globais avançou, principalmente, na integração com o sistema de modelos do CARD/FAPRI. Os resultados até agora alcançados no BLUM estão sendo submetidos a um rigoroso processo de verificação e validação por parte da equipe ICONE e CARD/FAPRI para que, posteriormente, os resultados gerados sejam base para novas análises pela EPA.

Além das mudanças estruturais citadas acima, foram realizadas mudanças e ajustes adicionais no BLUM, tais como a atualização de dados (para o ano de 2009) e inclusão de outras lavouras de inverno (trigo e cevada).

⁴⁶ O AgLUE-BR está em fase final de revisão e publicação. Após a publicação, a base de dados será disponibilizada ao público.

4.5.6 Compatibilidade do BLUM com Outros Modelos

Embora os aprimoramentos desenvolvidos diferenciem e ajudem a manter o BLUM no limite da fronteira do conhecimento sobre ILUC, por ser um modelo desenhado para análises do uso da terra no Brasil, ele continua dependente de um modelo internacional de uso da terra (ou hipótese adicionais) para mensurar o ILUC internacional.

A compatibilidade entre o BLUM e outros modelos globais de uso da terra foi avaliada para três modelos internacionais de uso da terra. Foram avaliados dois modelos de equilíbrio parcial (FAPRI e AgLink-Cosimo) e um modelo de equilíbrio geral (GTAP). O grau de compatibilidade entre os três modelos pode ser ranqueado como segue:

1. Modelo FAPRI
2. Modelo Aglink-Cosimo
3. Modelo GTAP.

Por se tratar de modelos de equilíbrio parcial, a maioria das hipóteses fundamentais do BLUM, tais como o conceito de competição por terra e *path dependence*, é semelhante ou idêntica aos modelos FAPRI e Aglink-Cosimo. Dessa forma, a conexão entre tais modelos pode ser considerada mais consistente.

A semelhança estrutural entre BLUM e FAPRI é, no entanto, significativamente superior a observada entre BLUM e AgLink. Os modelos FAPRI e BLUM modelam individualmente cada atividade agrícola, enquanto no AgLink algumas atividades semelhantes são agrupadas. Tal agrupamento dificulta a homogeneização de parâmetros (tais como elasticidades) entre os modelos. Outros pontos que favorecem o modelo FAPRI são: a base de dados comuns, interação e complementaridade em estágio avançado entre as equipes técnicas do FAPRI e ICONE.

Embora o conceito de competição por terra seja modelado de forma diferente nos modelos de equilíbrio parcial e geral, a conexão entre esses pode ser alcançada via volume demandado. Uma possibilidade é que o modelo de equilíbrio geral (GTAP) forneça as projeções de demanda que devem ser simuladas, enquanto o BLUM tomaria essa demanda como dada e encontraria o vetor de preços que aloque espacialmente a produção agrícola. Nesse caso, porém, os modelos não seriam integrados, de modo que o vetor de preços de equilíbrio encontrado pelo BLUM não teria efeito algum sobre o modelo de equilíbrio geral.

A maior dificuldade, no entanto, de se compatibilizar o BLUM com o GTAP, além do fato de que o primeiro é uma modelagem de equilíbrio parcial e, por isso, assume como exógenas diversas variáveis que são estimadas endogenamente nos modelos de equilíbrio geral, é a hipótese de resposta da produção às mudanças nos fatores de produção. Os modelos de equilíbrio geral modelam a produção agrícola como função dos fatores de

produção, sobretudo capital e terra. Já os modelos de equilíbrio parcial modelam a produção (ou a área alocada) como função da rentabilidade, ou seja, preços menos custos efetivos. Embora a modelagem de equilíbrio parcial possa também utilizar fatores de produção, não é o caso do BLUM, dos modelos mundiais do FAPRI e do Aglink-Cosimo.

4.5.7 Necessidade de Melhorias Identificadas

Encontra-se em fase exploratória a inclusão de receita de cogeração de eletricidade no BLUM, sendo este aspecto importante para a coerência das metodologias e resultados do OE-4. O aprofundamento e integração do setor industrial da cana-de-açúcar no BLUM é, no entanto, uma atividade que exigirá ainda esforços significativos. As prováveis rotas tecnológicas devem ser identificadas e suas probabilidades de ocorrência quantificadas. Os custos industriais devem ser mapeados, projetados e compatibilizados com as hipóteses do BLUM. Somente após a realização de tais tarefas, a decisão de investimento em capacidade produtiva poderá ser modelada adequadamente.

A inclusão de projeções endógenas de produtividade e custos de produção é um tópico a ser considerado para complementar e melhorar as projeções e simulações do BLUM e dos demais modelos de projeção. Keeney e Hertel (2009) identificam variações significativas em projeções de uso da terra considerando diferentes hipóteses sobre a produtividade. Por sua vez, as curvas de aprendizagem e conseqüente redução de custos são objeto de estudo em setores específicos da agroindústria⁴⁷. A coerência intersetorial dos modelos econômicos determina que tais melhorias somente poderão ser incorporadas se o mesmo tratamento for dado a todos os setores, simultaneamente.

Os principais desafios identificados na integração dos modelos econômicos com os modelos biofísicos são: o tratamento das hipóteses econômicas nos modelos espacialmente explícitos e as possíveis interferências/alterações do ambiente sobre as relações econômicas.

Como visto no capítulo 4.5.5, parte desse desafio está sendo superado, como no caso da integração do modelo BLUM com o AgLUE-BR. Por outro lado, a melhor metodologia para espacialização dos resultados do BLUM, e respectivo cálculo de emissões de GEE relacionados à mudança de uso do solo ainda está sendo analisada.

Embora seja possível desagregar diretamente os resultados das seis regiões do BLUM por meio de modelos espacialmente explícitos, a pesquisa até agora realizada indica a preferência pela introdução de um passo intermediário, que envolva um modelo de otimização. Tal opção coloca-se por se demonstrar mais adequada para compatibilizar decisões econômicas e as restrições/alterações do ambiente. Adicionalmente, o desenvolvimento do modelo de otimização pode ampliar as possibilidades de análises do BLUM, como simulações de melhorias de armazenagem e logística. Tais simulações poderão tornar-se ferramentas quantitativas importantes

⁴⁷ Van den Wall Bake et al (2009) é um exemplo desse tipo de estudo aplicado à produção de etanol.

também em análises de políticas públicas, como, direcionamento de investimentos em infra-estrutura e logística.

4.5.8 Conclusões e Sugestões de Pesquisa

Neste relatório foi descrita a colaboração institucional desenvolvida pelo ICONE com parcerias internacionais e nacionais, seguida pela avaliação das principais metodologias de cálculo de ILUC. Ambas serviram como pano de fundo para a elaboração de um modelo conceitual ideal para realizar cálculos de emissões de GEE relacionados ao ILUC dos biocombustíveis. Em seguida, o relatório abordou temas específicos do Modelo de Uso da Terra para a Agricultura Brasileira – BLUM. Foram reportados seus principais avanços metodológicos em relação à versão utilizada para a publicação de Nassar et al. (2008), avaliadas suas limitações e identificadas as melhorias que devem ser prioritariamente implementadas.

No campo institucional, foram observados avanços importantes na colaboração Brasil e EUA, e também com a União Européia. A colaboração foi muito além de encontros formais, tendo sido a colaboração técnica na construção e verificação de metodologias de ILUC o principal foco de trabalho. Destaca-se, nesse caso, a colaboração do ICONE com o CARD-FAPRI, tendo como pano de fundo a legislação do RFS.

Vale ressaltar que, embora não seja imediatamente relacionada à colaboração Brasil -EUA, a colaboração com membros da Comunidade Européia (e com outras instituições relevantes na esfera global) contribuiu para a consolidação do conceito metodológico adequado para cálculos de ILUC.

A luz do modelo conceitual para mensuração de ILUC, é possível verificar pela avaliação das metodologias internacionais e melhorias implementadas no BLUM, que essas melhorias o mantêm como modelo de excelência para representação e projeção da dinâmica de uso da terra no Brasil. O aperfeiçoamento mais importante nesse período foi a introdução dos conceitos de “efeito escala” e “efeito competição”, tornando possível interpretações de dinâmica de mudança no uso do solo e não apenas alocação de área.

Por outro lado, atenção especial deve ser dada à necessidade de melhorias na metodologia de análise de uso da terra, principalmente no que diz respeito às interfaces entre o BLUM e modelos biofísicos. Pode-se considerar que as principais interfaces tenham sido identificadas e algum progresso já tenha sido alcançado. Porém, ainda são necessários esforços significativos nos seguintes tópicos:

- estruturação de bases de dados passados de mudança de uso do solo com informações georreferenciadas;
- elaboração de metodologia que sirva de interface entre o BLUM e modelos biofísicos (possivelmente baseada em modelos de otimização);

- expansão de pesquisas relacionadas à inovação tecnológica e sua aplicação em todos os setores da agroindústria, e sua compatibilização ao BLUM;
- desagregação do atual setor “pecuária bovina” em pecuária extensiva, semi-intensiva e confinamento permitindo modelar a intensificação da pecuária avaliando impactos nos sistemas de produção e na necessidade de investimentos.

Não se pretende que a lista acima tenha caráter definitivo e exaustivo no que diz respeito a recomendações de pesquisa, na medida em que novos tópicos podem surgir ao longo do desenvolvimento da análise de ILUC. Porém, recomenda-se a manutenção do BLUM na fronteira do conhecimento como estratégia de cooperação de Brasil e Estados Unidos. Dois argumentos fundamentam tal recomendação.

Primeiramente, os interessados no desenvolvimento de outros modelos de ILUC e/ou na aplicação do BLUM buscarão entender a dinâmica de seu funcionamento. Com isso, eles terão que aprender sobre as características da agropecuária e uso da terra no Brasil, que muito se difere das características dos países desenvolvidos, como EUA e UE. Tal fato será muito positivo para disseminar informação qualificada no meio político e científico internacional a respeito de um país que agrega os maiores potenciais de expansão da produção agrícola no mundo.

Ademais, a busca de uma metodologia de emissões de GEE associados ao ILUC se iniciou por causa do impacto dos biocombustíveis nas mudanças climáticas. Porém, a tendência é de que o mesmo ocorra com outros produtos, especialmente os agrícolas e intensivos em terra. Assim, a consolidação do BLUM como metodologia de referência em cálculo de ILUC servirá como uma ferramenta importante para balizar adequadamente as negociações e legislações futuras.

SECTION III

4.6 Carbon and other Green House Gases (GHGs) datasets and suggestions on a long term transdisciplinary research agenda

Weber Antonio Neves do Amaral, PhD
Professor
University of São Paulo, ESALQ - USP

4.6.1 Introduction

Energy security and diversification of its sources, environmental concerns about the direct and indirect impacts of climate change due to unsustainable oil use and the development and protection of agricultural markets are important drivers of the deployment of biofuels around the world.

Brazil's ethanol program is being considered a success story of a large scale program supporting the use of renewable energy in the transportation matrix, replacing more than 22 billions of liters of gasoline annually. Sugarcane is the only feedstock supporting this program.

Several research programs and papers are being developed and written to assess the sustainability of current examples of production of biofuels (particularly ethanol and biodiesel) from different regions of the planet, using a large set of indicators. In addition several certification schemes are being proposed in Europe and in the USA, creating a demand for existing and new data on environmental indicators, which sometimes are not ready available neither was collected to address the requirements of these schemes in a straightforward manner, particularly on carbon and other green house gases.

This report is a component of specific objective 4. (OE4), contributing with information on carbon data for conventional life cycle analysis and for models of direct and indirect land use process, and then to the design of a long term research agenda (Figure 4).

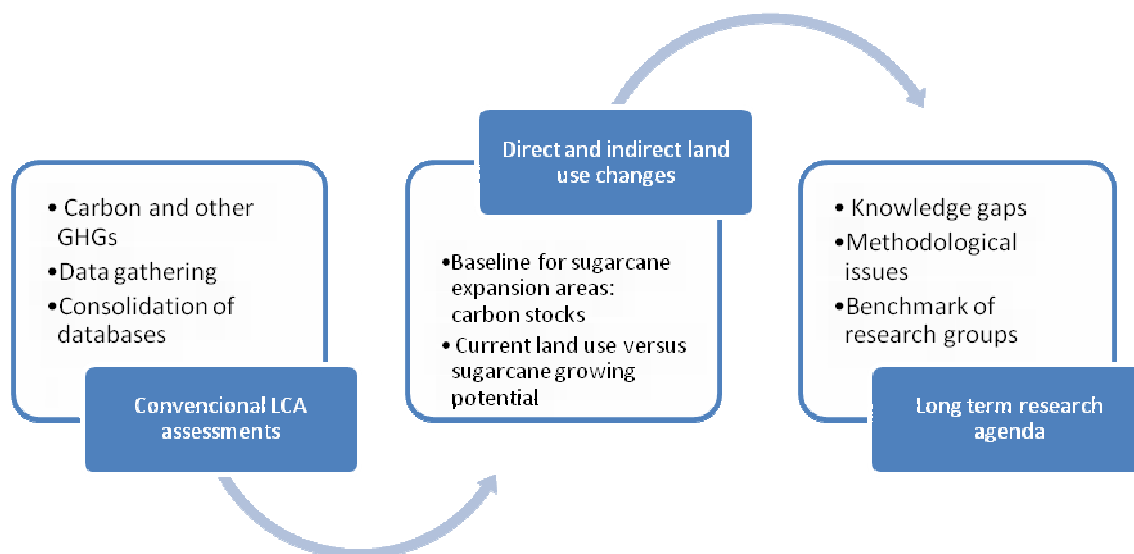


Figure 4: Schematic diagram of the report component for OE4: carbon and research agenda

An assessment of the literature and other sources of information (grey literature specially) was done for carbon content (above and below ground) for different crops and vegetation biomes in Brazil and for nitrogen emissions from sugar cane under different management and harvest regimes. More than 100 sources of information was compiled and organized to support complete life cycle studies of ethanol from sugar cane in Brazil.

Research gaps and research needs for the implementation of a strategy of long term monitoring key indicators of sustainability in sugar cane production systems, under different management and harvest regimes were identified, and recommendations for a transdisciplinary research program were made considering the consolidated and the new frontier of current trends of sugar cane expansion in Brazil.

Opportunities to implement a long term research program to assess, to quantify and to monitor the most relevant environmental indicators on sustainable production of ethanol in Brazil and in the USA, using comparative and same methodological frameworks do exist, but require collective efforts from both sides to implement a working agenda under the Memorandum of Understanding – MOU – signed between these countries on biofuels collaboration. This report is part of these efforts and can be used to support the development of the next steps on a truly joint research agenda.

4.6.2 Sustainability and research drivers for sugarcane production systems

Concerns on proper quantification of emissions reductions of green house gases due to the use of biofuels and on energy balances assessments, using life cycle analysis and other methodological frameworks are being the key drivers of research on sustainable feedstock production, particularly for the most important crops used for ethanol production, i.e. sugarcane and corn.

Land use changes and monitoring the expansion of sugarcane in Brazil are being evaluated by different government agencies (CONAB - Ministry of Agriculture, IBAMA - Ministry of Environment and local governments), NGOs (ICONE, Conservation International, The Nature Conservancy, IPAM - Instituto de Pesquisas Ambientais, ISA - Instituto Socio Ambiental, AMAZON, etc) and Universities (USP, UNICAMP, etc).

However these efforts are done in most of the cases, independently of each other, causing difficulties to compare datasets and to adopt comparable methodological frameworks and datasets. ICONE's contribution to this report addresses some of these issues, and how to adjust economic models for land use changes in Brazil to understand the direct and indirect impacts of sugarcane expansion and thus on GHGs and energy balances, using life cycle analysis (Macedo & Seabra also in this report).

The proper quantification of the potential for sugarcane expansion (area, rate and direction), and thus of ethanol production should take into account current land uses, their carbon content (above and below ground), and sugarcane productivity potential to support improved life cycle studies in Brazil.

In addition, the certification schemes being proposed and adopted are relying on secondary datasets on environmental indicators, especially for carbon and other green house gases. And therefore they can significantly profit and improve its reliability by the use of up-to-date research information, which are currently needed.

4.6.3 Benchmark of Brazilian research initiatives on ethanol

In Brazil during the last several years, several new research initiatives are being funded and carried out by different agencies at federal and state levels, as well as by the private sector.

The main ones are:

- CTBE - Technology Center for Bioethanol - sponsored by the Ministry of Science and Technology (Figure 5);
- The Bioenergy Program from FAPESP, State of Sao Paulo Research Foundation - the BIOEN Program (Figure 6);
- The CTC - Sugarcane Technology Center (CTC) in Piracicaba (Figure 7), private funded; and
- The Brazilian Oil Company - Petrobras, CENPES), private funded.

In addition, the Brazilian Research Council (CNPq - Figure 8) from the Ministry of Science and Technological are funding several projects on ethanol since 2002, and had created research networks to focus on specific issues, being the network on enzymatic hydrolysis of ethanol, the first one to be implemented.

The main characteristics of these programs are described in the Figures below.

Bioethanol Research Center – CTBE – Ministry of Science and Technology

Mission/ objectives	Beginning
<ul style="list-style-type: none"> To contribute to the Brazilian's leadership in biofuel and inputs for the chemical industry through research, development and innovation on knowledge. 	<ul style="list-style-type: none"> 2005
Partnerships	Investments
<ul style="list-style-type: none"> The CTBE belongs to the MCT. 	<ul style="list-style-type: none"> R\$ 150 MM in 5 years
Research Agenda	Characteristics
<ul style="list-style-type: none"> Pilot to development of process Mecanização de baixo impacto para o plantio direto de cana-de-açúcar Sustainability Basic Science Biorrefinaria Virtual 	<ul style="list-style-type: none"> Perform as a research, development and innovation center in sugar cane ethanol. The institution enables universities and research institutions to develop projects related with the Center mission. Provides technologies and strategic information to the industry with interests in common.

2
Source: www.bioetanol.org.br

Figure 5: Information on the Bioethanol Technology Center (CTBE)

Fapesp Bionergy Program – BIOEN Program

Mission/ objectives	Beginning
<ul style="list-style-type: none"> The BIOEN Program mission is to foster comprehensive academic and industry research on sugarcane and other biofuel sources integrated with the sugar and ethanol industry, thus assuring Brazil's position among world leaders in Bioenergy research and industry. 	<ul style="list-style-type: none"> 2008
Partnerships	Investments
<ul style="list-style-type: none"> The BIOEN Program establishes partnerships with industry for cooperative R&D activities with public laboratories at universities and research institutes co-funded by FAPESP and industry. 	<ul style="list-style-type: none"> R\$ 73 MM
Research Agenda	Characteristics
<ul style="list-style-type: none"> Biomass production and processing Biofuel production Engines and the overall impact on land Impact on socio-economics aspects 	<ul style="list-style-type: none"> Research goals are specified in accordance with the interests of private partners and FAPESP's commitment. Research agencies from federal and other state government agencies such as CNPq and FAPEMIG respectively, participate in the BIOEN Program and other agencies are expected to join.

1
Source: Fapesp

Figure 6: Information on the BIOEN Program from FAPESP

Sugarcane Technology Center - CTC - Piracicaba

<p>Mission/ objectives</p> <ul style="list-style-type: none"> • Create value to associates, disseminating technologies and innovation applied for the sugar cane chain 	<p>Beginning</p> <ul style="list-style-type: none"> • Over 30 years ago, but recently had changed its societal regime
<p>Partnerships</p> <ul style="list-style-type: none"> • The CTC has 176 associates units (business companies with different sizes – sugarcane bu, responsible for 60% of the sugar cane produced in Brazil.. 	<p>Investments</p> <ul style="list-style-type: none"> • US\$ 18,2 MM (annual budget)
<p>Research Agenda</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sugar cane varieties • Pest and disease management • Biotechnology • Agricultural practices and mechanization • Sugar Production • Ethanol Production 	<p>Characteristics</p> <ul style="list-style-type: none"> • The CTC develops research for the entire sugar cane chain. It has a wide involvement in the process, which is important to obtain a balanced development of the sector and permit to accumulate efficiency gains.

3
Source: CTCanavieira

Figure 7: Information on the Sugarcane Technology Center

Brazilian Council for Research - CNPq

<p>Mission/ objectives</p> <ul style="list-style-type: none"> • Seek to promote research and the development of technologies and to stimulate the formation of researchers in Brazil. 	<p>Beginning</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1951
<p>Partnerships</p> <ul style="list-style-type: none"> • The CNPq belongs to the MCT, Ministry of Science and Technology and it is the main research agency at federal level, and responsible for the implementation of any research MOUs with foreign countries. 	<p>Investments</p> <ul style="list-style-type: none"> • Total annual operational budget of 800 M dollars
<p>Research Agenda</p> <ul style="list-style-type: none"> • Several programmes, covering from nanotechnology to human sciences; from basic to applied research • Lately its goal is to consolidate large research programs and investment in infrastructure through supporting National Institutes, a new work of researchers and institutions focused on a common area of research, such as ethanol. 	<p>Characteristics</p> <ul style="list-style-type: none"> • Grant resources to research and researcher's capacity building • Promote the cooperation among national universities and foreign institutions allowing the development of new technologies and pf basic research in Brazil.

4
Source: CNPq

Figure 8: Information on the Brazilian Council for Research

As different research initiatives are being carried out in Brazil in biofuels and sometimes by the same research organizations, regardless of the funding sources, it is suggested that the focus of next steps to implement the MOU

between Brazil and USA should address issues on sustainable production of the two most important feedstock for these countries, sugarcane and corn respectively.

4.6.4 Regulatory and new environmental frameworks for sugarcane in Brazil

The most important regulatory and environmental frameworks for sugar cane production in Brazil are the following:

- the Forest Code (1969), which defines minimum areas with native forest cover and the obligation of keeping riparian corridors and steep slopes with forests;
- the Environmental Impact Assessment (EIA) law (1995);
- the Sugar Cane Green Protocol for the State of Sao Paulo (2007), Figure 9. and Figure 10.
- the Federal Protocol on sugarcane zoning (2009), Figure 11.

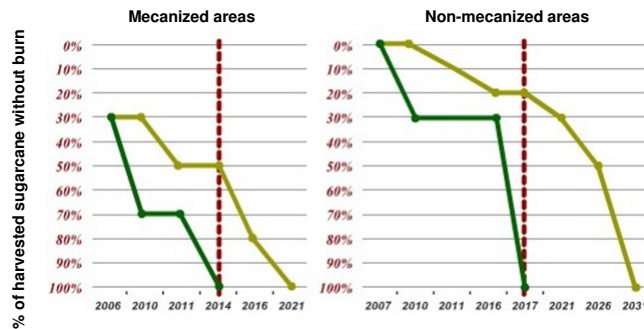
Compliance with these legal frameworks is not only important towards adopting sustainable practices, but also to reduce the transaction costs of adopting certification schemes.

These frameworks are also very relevant for generating statistics and data on sugarcane expansion into new areas, as it is required by law that environment impact assessment of sugarcane plantations should be conducted prior to their implementation, and thus requiring several procedures and measurements to grant authorization for sugarcane plantations in new frontiers. For example, Nassar et al. in this report used information presented from these impact assessment reports to verify land use changes due to sugarcane expansion in the Central-East region of Brazil.

The Green protocol, signed between sugar cane mill's association and sugarcane producers (UNICA and ORPLANA) and the Secretary of Environment of the State of Sao Paulo is a good example on how voluntary commonly agreeable commitments can affect sustainability indicators, particularly of carbon emissions, as one of the main goals of this protocol is to anticipate the goal of having 100% sugarcane mechanically harvested cane in 2014 for flat areas (Figures for additional details).

**Environmentally friendly protocol of the sugarcane industry :
the Green Protocol of the Secretary of Environment – São Paulo State - 1/2**

One of the main targets of this protocol is related with the anticipation of sugar cane burning regime from 2017 to 2014 in flat areas, and from 2031 to 2017 in slope areas*



* Are considered sloping areas, when the inclination is more than 12%
Source: Única

0

Figure 9: Green Protocol main targets for stopping sugarcane burning before harvesting

**Environmentally friendly protocol of the sugarcane industry :
the Green Protocol of the Secretary of Environment – São Paulo State - 1/2**

The protocol is divided in 6 topics, and the most relevant are shown bellow:

Commitments from the sugarcane mills:

- Antecipate the time to eliminate the sugarcane burn, putting ahead the percentual of non-burn sugarcane from 40 to 70% in non-sloping areas and from 10 to 30% in sloping areas.
- Protect riparian corridors areas in the sugarcane properties.
- Implement the “Technical Plan of Hidrical Sources Conservation”
- Implement the “Technical Plan of Soil Conservation”
- Adopt good practices to the disposal of agrochemical packaging

Commitments from the government:

- Promote the research to the energetic and economic use of the sugarcane leaves.
- Support the installation of an environmental logistic infra structure
- Grant the Eco-friendly certification to the producers that adopt to the protocol and follow your guidelines

Source: Única

1

Figure 10: Green Protocol agreeable commitments from the industry and government

Another new framework which will also affect positively sustainable production of sugarcane is the zoning protocol, launched by the Brazilian federal government in September, 2009, to define suitable areas for

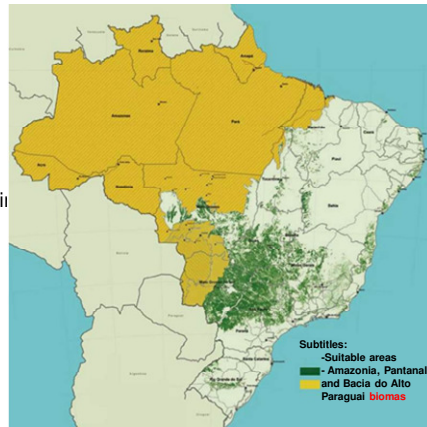
sugarcane expansion, based on edaphic conditions and constraining the expansion into the Amazon and other non-suitable areas for sugarcane growth, such as the Brazilian Pantanal, the largest wetland biome in Latin America (Figure 11).

Sugarcane zoning

The zoning protocol defined that sugarcane fields can not occupy more than 7,5% of Brazilian territory, based on assessments of brazilian climate and soil conditions, which bring several environmental, economic and social restrictions for sugarcane plantations within the country

The main resolutions and suitable areas for planting sugarcane are shown below:

- Protect the areas with original native vegetation and the prohibition of the planting in the Amazonia, Pantanal e Bacia do Alto Paraguai biomes;
- Sugarcane planting in areas where the use of water is minimum as possible (rain feed primarily);
- A draft law project to recommend the growth of the planti based in the food safety without harming food production;
- Look for new places to produce sugarcane, using pasture areas or those occupied by cattle raising.



Source: EMBRAPA

Figure 11: Sugarcane zoning protocol and main resolutions

Policies and legal environmental frameworks for sugarcane production in Brazil are constantly evolving, and being adjusted progressively to attend societal and market demands. A comparative assessment between Brazil and USA on these frameworks for the production of ethanol might be a potential area of research for lawyers and public policy scientists from both countries.

4.6.5 Carbon data and other Green House Gases (GHGs) for Brazil

Carbon data (above and below ground biomass) for different land uses in Brazil was collected, organized and assessed from published and grey literature, comprising more than 120 references, which were structured in synthesis tables below (Table 9 to Table 11).

Table 9: Synthesis of carbon soil content datasets under different vegetation and land use regimes in Brazil

Vegetation/land use	Soil carbon content (Mg/ha)	Reference	Soil depth
Cana Queimada	35,10	Estimado baseado nos dados de Galdos (2007)	0 - 20 cm
Cana Crua	44,30	Estimado baseado nos dados de Galdos (2007)	0 - 20 cm
Soja	53,08	Campos (2006)	0 - 20 cm
Milho	40,16	d'Andréa et al. (2004)	0 - 20 cm
Algodão	37,87	Neves et al. (2005)	0 - 20 cm
Pastagem Degradada	40,67	d'Andréa et al. (2004)	0 - 20 cm
Pastagem Natural	56,36	Jantalia (2005)	0 - 20 cm
Pastagem Plantada	51,99	Rangel & Silva (2007)	0 - 20 cm
Cerrado sensu stricto	46,00	Lardy et al (2001)	0 - 20 cm
Campo limpo	72,00	Lardy et al (2001)	0 - 20 cm
Cerradão	53,00	Lardy et al (2001)	0 - 20 cm
Floresta Tropical	71,00	Trumbore (1993)	0 - 20 cm
Floresta Sub-tropical	71,90	Cerri (1986)	0 - 20 cm

Table 10: Other sources of references on carbon soil carbon content in Brazil

Cerrado - Savannah like vegetation	Soil carbon content (Mg/ha)	Reference	Soil depth
Sensu strictu	200	Silva L.C.F.2007	0 - 100
Cerradão	100	Carvalho (2007)	0 - 100
Campo Limpo	117	INPE	0 - 100

Cerrado - Savannah like vegetation	Soil carbon content (Mg/ha)	Reference	Soil depth
Sensu strictu	143	Lardy et al. (2002)	0 - 100
Cerradão	148	Lardy et al. (2002)	0 - 100
Campo Limpo	209	Lardy et al. (2002)	0 - 100

Vegetation/land use	Cerrado - Savannah like vegetation	Reference	Soil depth
Cana Queimada	37,27	Estimado a partir de Canellas et al. (2007)	0 - 20 cm
Cana Crua	59,36	Estimado a partir de Canellas et al. (2007)	0 - 20 cm
Pastagem Degradada	15,80	Estimado a partir de Szakács (2003)	0 - 20 cm
Pastagem Plantada	23,51	Estimado a partir de Szakács (2003)	0 - 20 cm

Although the assessment of NO_x emissions from burning sugarcane is well-known (Oppenheimer et al. 2004; Allen et al. 2004; Lara et Al. 2005; Rocha et al. 2005; Ribeiro, 2008), data on NO_x soil emissions from sugarcane under different management and harvest regimes is missing and most

needed for proper assessment of emissions reductions scenarios (Hall and Matson, 1996).

Table 11: Synthesis of biomass carbon content

Biomass	Biomass carbon content (Mg/ha)	Reference	Observation
Cana Queimada	13,90	Adaptado a partir de Galdos (2007)	Argissolo Vermelho Amarelo
Cana Crua	9,80	Adaptado a partir de Galdos (2007)	Argissolo Vermelho Amarelo
Pastagem Degradada	1,30	Estimada a partir de Szakács (2003)	Neossolo Quartzarênico
Pastagem Plantada	6,50	Estimada a partir de Szakács (2003)	Neossolo Quartzarênico
Soja	1,81	Adaptado a partir de Campos (2006)	Latossolo Vermelho Distrófico
Algodão	2,18	Adaptado a partir de Fornasieri & Domingos (1978)	Dados generalizados
Milho	3,90	Estimado a partir de Titon et al. (2003)	Argissolo Vermelho Distrófico
Cerradão	33,53	Ottmar et al. (2001)	21 anos sem fogo
Campo Limpo	8,36	Ottmar et al. (2001)	3 anos sem fogo
Cerrado	25,53	Ottmar et al. (2001)	mais de 20 anos sem fogo
Floresta Tropical	200,00	INPE - Trabalho VPB	

A unique source of information on soil carbon content was identified recently by Macedo & Seabra (this report). It is a large dataset proprietary of the CTC comprising of more than two thousand sampling points of soils, sampled for the genotype x environmental program for recommendation of sugarcane varieties in different regions of Brazil. This dataset could be structure, if made public available, into main soil types and sugarcane management regimes, and then helping the identification of sampling gaps in current and expanded regions for sugarcane.

In addition to different methodological procedures on carbon and other GHGs measurements made from these different literature sources, there is clearly sampling gaps from different soil types and lack of measurements taking into account seasonal and diurnal variations on the GHGs emission patterns. The availability and access of data from Brazilian sources, written in Portuguese, is also another challenge to compare datasets from other parts of the world, particularly for American scientists, which are sometimes for only this reason, neglecting vast amount of information available in the scientific Brazilian literature.

4.6.6 The need of a transdisciplinary research: contributions to a research agenda

Nowadays it is imperative that any attempt to understand the complexity of interactions among different drivers related to the ethanol's future market trends and its deployment, will have to take a transdisciplinary and a system dynamics approach (Figure 12). Although it is rather easy to conceptualize what should be done, it is far more difficult to figure out how to implement such research frameworks.

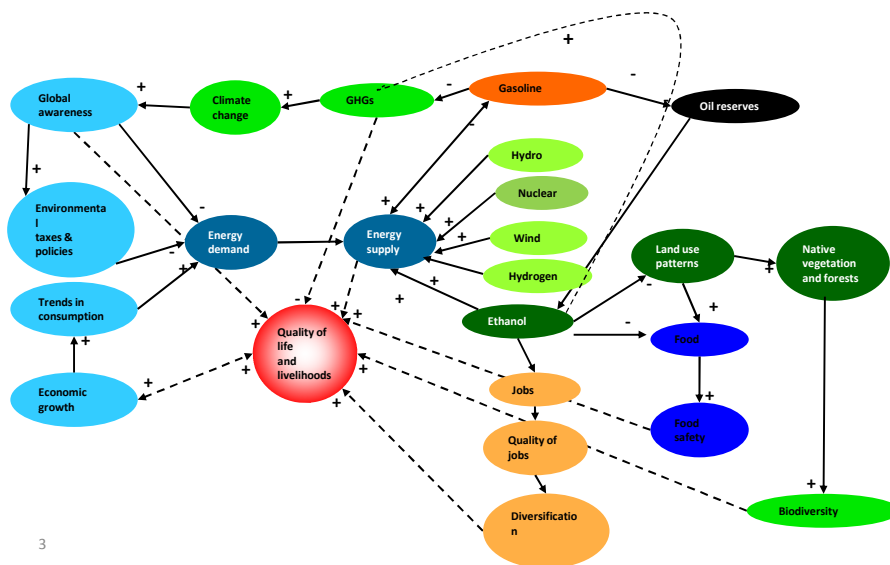
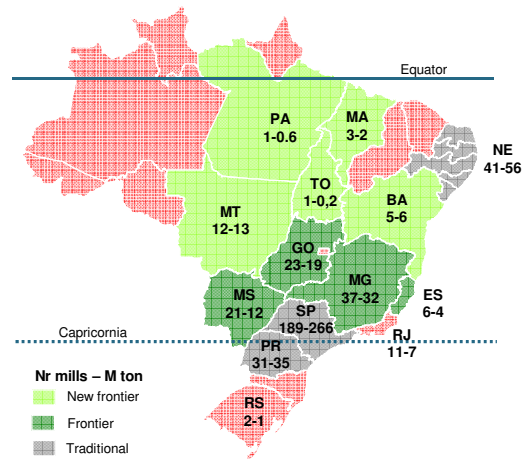


Figure 12: Ethanol system dynamics and their multiple interactions

Another issue to be considered is the wide distribution of sugar fields in different regions of the country, with different land use histories, with different productivity capacity, management practices, sugarcane varieties and harvest regimes. Figure 13 shows the distribution of mills per state and by crushing capacity.

Location of mills and sugarcane production



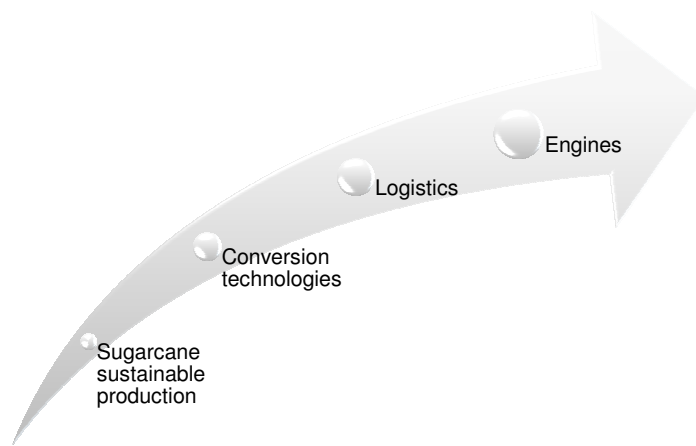
Source: AGRUANUAL / IDEA

2

Figure 13: Distribution of sugarcane mills and crushing capacity per state in Brazil.

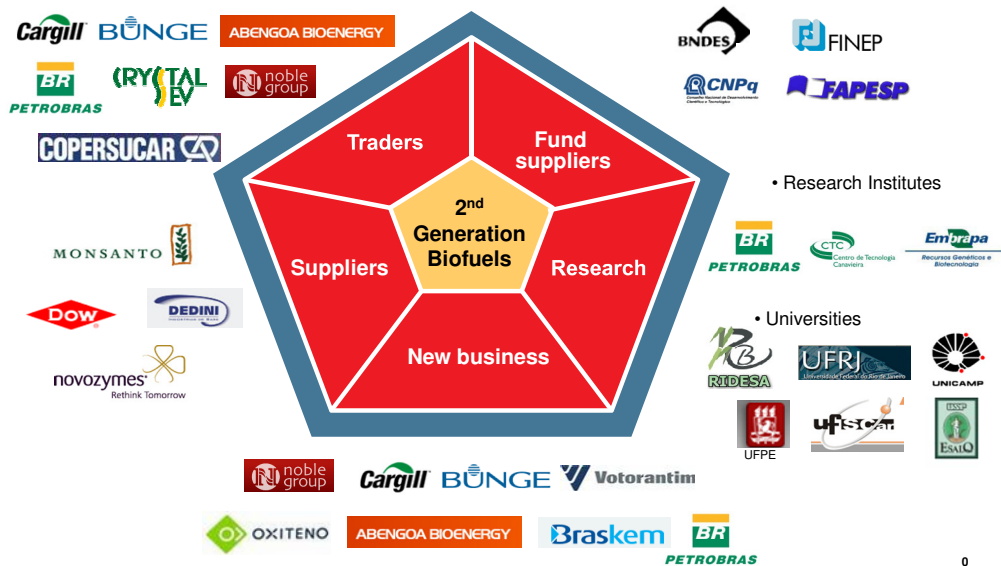
In order to implement a solid research agenda, which should evolve to encompass the entire ethanol custody chain, it is suggested that a transdisciplinary research could be launched addressing the key issues related to sustainable production of sugarcane, i.e., at agricultural levels at the first place, and then later add other elements of the ethanol chain (Figure 14), especially when addressing the challenges to fully deploy the ethanol second generation potential using sugarcane and the need to engage multiple traditional and new stakeholders (Figure 15).

Suggested steps for implementing an transdisciplinary research agenda on ethanol



4

Figure 14: Research steps and focus within the sugarcane custody chain



0

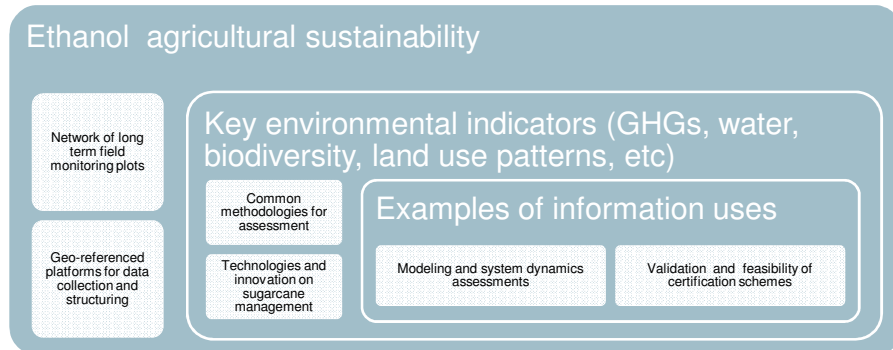
Figure 15: Multi-stakeholders of the second generation of ethanol in Brazil: suppliers, traders, funding agencies, research organizations, and new business

Several steps and issues towards the development of the agenda for sustainability of sugarcane production systems should consider the following (Figure 16):

- a) the necessity of implementing a network of long term monitoring plots in the field, considering the consolidated sugarcane and the new frontier of expansion, taking into account major soil types, sugarcane management regimes (mainly on fertilization and soil practices) and harvesting schemes;
- b) the necessity of geo-referencing all information collected and cross-checked with other variables (climate, water resources, topography, etc), making the information available by information technology platforms, capable of handling large datasets;
- c) focused on the main indicators of sustainability for agriculture (GHGs, water, biodiversity, land use history and process, etc)
- d) use the same and comparable methodological and analytical frameworks for data collection and analysis;
- e) use the data and information gathered in modeling and life cycle assessment, with updated and large sample sized datasets;
- f) and validate and improve current certification schemes being developed.

Investment on capacity building on all the above steps will be required for all project participants. In addition to these specific steps, Workshops for developing governance structure of the research program, involving different organizations and researchers, and thus of their commitments towards common goals will be essential for the success of these efforts.

Suggestion of a long term research program on sugarcane production systems



3

Figure 16: Suggestion of the long term research program on sugarcane production systems

In order also to avoid potential pitfalls while implementing a joint and transdisciplinary research program on sustainable production of ethanol, a couple of useful benchmark examples can be used to draw on their mistakes and lessons learned:

- the LBA Project (Large Scale Biosphere Atmosphere Project) carried out primarily between USA and Brazilian researchers in the Amazon, which created governance mechanisms for management complex research topics and researcher's interests, involving multiple organizations and Universities from both countries.
- The Brazilian and Dutch MOU on research: its joint calls for proposals on collaborative research involving multiple institutions, workshops, and scholarships for students and faculty.
- Multi-stakeholder (and multi-country) projects funded by the EU frameworks (specially the 6th and 7th FW).

The implementation of a transdisciplinary research on ethanol sustainability initially with a focus on the agricultural component should be based on a long term network of permanent field plots for monitoring the most relevant environmental indicators and thus to reduce the scientific uncertainties due to different methodological and analytical approaches and to create a large dataset of information made public available to scientists and other stakeholders.

4.6.7 The current and future role of biotechnology on ethanol production systems and regulatory frameworks

Biofuels such as bioethanol are becoming viable alternatives to fossil fuels due to several technological advances and management improvements. Utilizing agricultural biomass for the production of biofuels has drawn much interest in many science and engineering disciplines, including molecular biologists and plant breeders. As the major crops for biofuels, sugarcane and maize are also the two most promising crops to benefit from large research investments.

Compared to other crops with biofuel potential, sugarcane and maize can provide both sugar/starch (seed) and cellulosic (bagasse/stover) material for bioethanol production. However, the combination of food, feed and fuel in one crop, although appealing, raises concerns related to the land delineation and distribution of these crops grown for energy versus food and feed. To avoid or reduce this dilemma and criticism, the conversion of this feedstock into bioethanol must be improved.

Conventional breeding, molecular marker assisted breeding and genetic engineering have already had, and will continue to have, important roles in sugarcane and maize improvement. The rapidly expanding information from genomics and genetics combined with improved genetic engineering technologies offer a wide range of possibilities for enhanced bioethanol production from these crops.

It is now clear that multiple transgene strategies need to be developed (synthetic biology) to tackle complex traits, to engineer metabolic pathways and to combine the expression of different genes. Some studies have demonstrated the feasibility of such technologies, but more effort is needed to make them both applicable to bioethanol production and acceptable to the public. Indeed, the development of genetically engineered crops raises issues of legislation relating to how these technologies should be regulated and managed.

Each country (Brazil and the USA) has its own legislation concerning plant biotechnology. However the regulatory system often lags behind the advancement of these plant biotechnologies. An integrated agri-biotechnology system for food, feed and fuel production is likely to be a challenge from the regulatory point of view, but will most certainly be the future for sugarcane and corn if it is to be bred for ethanol production.

Therefore research programs addressing how to improve sustainable production of ethanol using environmental indicators should assess the current and future roles that biotechnology would have on productivity, and thus on environmental performance of sugarcane and corn, and how legal and policy framework might evolve to allow or not the deployment of multiple biotechnological applications which underlying these developments.

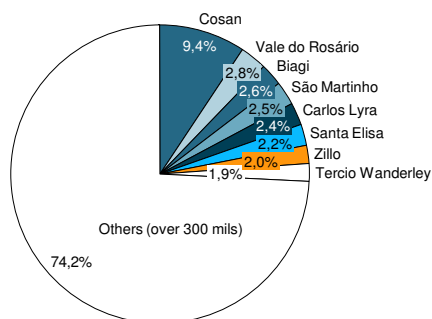
4.6.8 Other critical issues for improving ethanol productivity and sustainability

The improvement of sugarcane production systems, specially at agricultural level is a necessity as the amplitude of productivity among ca. 400 mills is very large, and jeopardize the adoption rate of best practices towards sustainability. Several technological innovations and management practices are ready available, but not always implemented or adopted by the majority of mills.

The consolidation of the industry in large players (Figure 17), and the presence of new investors in ethanol for national and foreign markets might accelerate the rate of adoption of best practices. Therefore reducing the asymmetry of technological inputs and levels of productivity among sugarcane producers in Brazil will contribute significantly towards the optimization of use of fertilizers and for the elimination of sugarcane burning prior harvesting.

The industry is highly fragmented, top 10 producers account for less than 30% of total production and the largest producer for less than 10%.

Market share in the Brazilian milling of sugar-cane



Source: Cosan

3

Figure 17: Market share of Brazilian sugarcane business

Research programs should make the necessary bridges between demands from sugarcane producers and from suppliers of equipment and service providers, in the quest for technological innovation and thus for improving ethanol productivity and sustainability. A framework for ethanol innovation and deployment of pipeline technologies is necessary and could also be discussed within the USA – Brazil MOU (Figure 18), complementing the transdisciplinary research agenda.

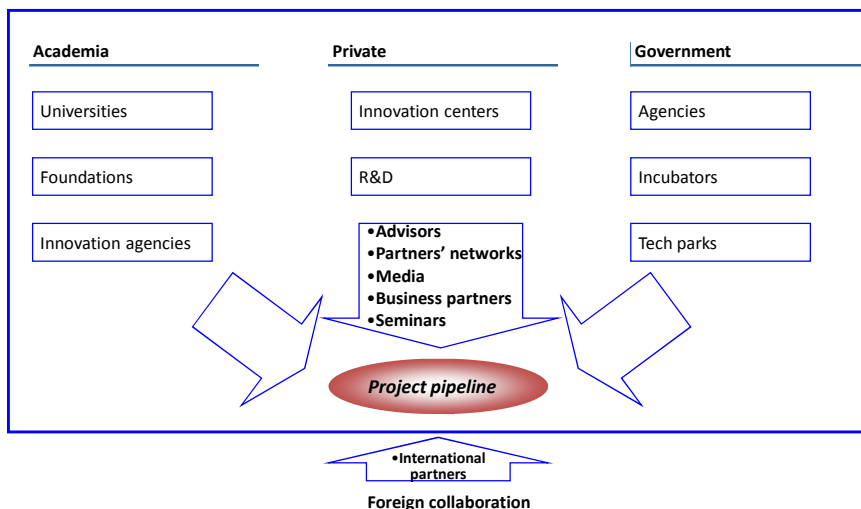


Figure 18: Brazilian ethanol framework needed for innovation and deployment

4.6.9 Concluding remarks

Opportunities to implement a long term research program to assess, to quantify and to monitor the most relevant environmental indicators on sustainable production of ethanol in Brazil and in the USA, using comparative and same methodological frameworks do exist, but require collective efforts from both sides to implement a working agenda under the Memorandum of Understanding – MOU – signed between these countries on biofuels collaboration. This report is part of these efforts and can be used to support the development of the next steps on a truly joint research platform.

The certification schemes being proposed and adopted are relying on secondary datasets on environmental indicators, especially for carbon and other green house gases. And therefore they can significantly profit and improve its reliability by the use of up-to-date research information, which are currently needed.

As different research initiatives are being carried out in Brazil in biofuels and sometimes by the same research organizations, regardless of the funding sources, it is suggested that the focus of next steps to implement the MOU between Brazil and USA should address issues on sustainable production of the two most important feedstock for these countries, sugarcane and corn respectively.

Policies and legal environmental frameworks for sugarcane production in Brazil are constantly evolving, and being adjusted progressively to attend societal and market demands. A comparative assessment between Brazil

and USA on these frameworks for the production of ethanol might be a potential area of research for lawyers and public policy scientists from both countries.

Highly divergent methodological procedures on carbon and other GHGs measurements, sampling gaps from different soil types and lack of measurements taking into account seasonal and diurnal variations on the GHGs emission patterns are issues of concern for improving estimates of GHG emissions reductions from ethanol.

The availability and access of data from Brazilian sources, written in Portuguese, is also another challenge to compare datasets from other parts of the world, particularly for American scientists, which are sometimes for only this reason, neglecting vast amount of information available in the scientific Brazilian literature.

The implementation of a transdisciplinary research on ethanol sustainability initially with a focus on the agricultural component should be based on a long term network of permanent field plots for monitoring the most relevant environmental indicators and thus to reduce the scientific uncertainties due to different methodological and analytical approaches and to create a large dataset of information made public available to scientists and other stakeholders.

Research programs addressing how to improve sustainable production of ethanol using environmental indicators should assess the current and future roles that biotechnology would have on productivity, and thus on environmental performance of sugarcane and corn, and how legal and policy framework might evolve to allow or not the deployment of multiple biotechnological applications which underlying these developments.

Research programs should also make the necessary bridges between demands from sugarcane producers and from suppliers of equipment and service providers, in the quest for technological innovation and thus for improving ethanol productivity and sustainability. A framework for ethanol innovation and deployment of pipeline technologies is necessary and could also be discussed within the USA – Brazil MOU, complementing the transdisciplinary research agenda.

5. Referências Bibliográficas

Adams D. M., Alig R J., Callaway J.M., McCarl B. Winnett A., S M.. The Forest and Agricultural Sector Optimization Model (FASOM): Model Structure and Policy Applications. Washington, DC. PNW-RP-495. September 1996

Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL (www.aneel.gov.br) agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e sua sustentabilidade. UNICA -

Agrianual 2008: Anuário da Agricultura Brasileira. São Paulo: FNP Consultoria & Agroinformativo, 2008. 502p. São Paulo.

Amaral et al., 2008. Environmental sustainability of sugarcane ethanol in Brazil. In: P. Zuurbier and J. van de Vooren (eds.) Sugarcane ethanol, Wageningen Academic Publishers, Wageningen, the Netherlands, pp. 113-138.

AMARAL, C. M. C. do; AMARAL, L. A. do; LUCAS, J. de; NASCIMENTO, A. A. do; FERREIRA, D.S.; MACHADO, M. R. F. Biodigestão Anaeróbia de Dejetos de Bovinos Leiteiros submetidos a Diferentes Tempos de Retenção Hidráulica. *Ciência Rural*, v. 34, p. 1897-1902, 2004.

Amyris, 2009, diversas informações apresentadas no em <http://www.amyrisbiotech.com/>, consultado em agosto de 2009

ANA, National Agency of Waters. 2007. "The implementation of the tariff by the hidrical resources uses and the waters agency of the rivers Piracicaba, Capivari and Jundiaí".

ANDRADE, M.C. de Área do Sistema Canavieiro. Recife: SUDENE, Serie de estudos regionais Nº 18. 1988. 686p.

ANEEL- Agência Nacional de Energia Elétrica - (www.aneel.gov.br)

ANUALPEC 2009. Anuário da Pecuária Brasileira. São Paulo: FNP Consultoria e Comércio, 2009. p. 143-167.

Anuários SINDAG, 2008. Sindicato Nacional da Indústria de produtos para a Defesa Agrícola. Information provided by Prof. Evaristo Marzabal Neves, on July 2009.

Arrigoni, Enrico De Beni & Almeida, Luiz Carlos de. 2005. In: Macedo, Isaias de Carvalho; Several Authors, 2005. Sugarcane's Energy – Twelve studies on Brazilian sugarcane agribusiness and its sustainability. São Paulo.

Bagajewicz, Miguel, 2000. "A review of recent design procedures for water networks in refineries and process plants", *Computers and Chemical Engineering* 24 (2000), pp. 2093–2113.

Bajay, S.V., 2008, Perspectivas de avanços tecnológicos na produção de álcool e de biodiesel no Brasil, Fóruns Permanente em Agronegócios, CGU/CORI, UNICAMP, disponível em <http://www.cori.unicamp.br/foruns>

- Band E., Patterson D. L., Nemani R., Running S. W. (1993) Forest ecosystem processes at the watershed scale: incorporation hillslope hydrology. *Agricultural and Forest Meteorology*, 63: 93-126.
- BARCELLOS, L. A. R. Avaliação do potencial fertilizante do esterco líquido de bovinos. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1992, 108p. (Tese de Mestrado).
- Bayer C.; Martin-Neto, L.; Mielniczuk, L.; Pavinato, A.; Dieckow, J. Carbon sequestration in two Brazilian cerrado soils under no-till. *Soil & Tillage Research* 86, 237–245, 2006.
- Bennie, A.T.P. Hensley, M. Maximizing Precipitation Utilization in Dryland Agriculture in South Africa - a Review. *Journal of Hydrology*. 241, 124-1399, 2001.
- BERC, Forest Sustainability, Biomass Energy Resource Center, Vermont, 2004.
- Bernardo Salassier, 2007. "Manejo da Irrigação na Cana-de-açúcar".
- Bertoni, J.; Pastana, F.I.; Lombardi Neto, F.; Benatti Junior, R.: 1998. "Conclusões gerais das pesquisas sobre conservação de solo no Instituto Agrônomo", Campinas, Instituto Agrônomo, 2nd print, Jan 1982, Circular 20, 57 p., in: Lombardi Neto, F.; Bellinazi JR, R.: Simpósio sobre terraceamento agrícola, Campinas, SP, Fundação Cargill, Campinas.
- Beven K. J., Kirkby M. L. (1979) A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. *Hydrological Sciences Bulletin* 24 (4): 43-69.
- BFS/FAO "Second FAO Technical Consultation on Bioenergy and Food Security". Summary Proceedings, Food and Agriculture Organization of United Nations, Rome, 2008.
- Birkett H.S; Stein J.M. (2004). "Cane washing losses". *Sugar Journal*. 67,4,17-21;5,25-28;6,16-21.
- BNDES, Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável, Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, Rio de Janeiro, 2008.
- BOLONHEZI, D. (a) Sustentabilidade no processo de produção de Bioenergia. In: Simpósio sobre Plantio Direto: Gestão Sustentável do Agronegócio, Ponta Grossa, 2007. Resumos. Ponta Grossa: Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha, 2007. p.97-104.
- BOLONHEZI, D. (b) Plantio direto da cana-de-açúcar: Perspectivas e desafios. *Revista Agrimotor*. Disponível em: <http://www.revistaagrimotor.com.br/outras_sessoes.asp? Acesso em 01/12/2007.

Bonn F., Rochon G. (1992) *Precis de Teledetection vol. 1 - Principes et Methodes*. Press de l'Universite du Quebec, 485 p.

BORIS, F. *História do Brasil*, São Paulo: Edusp, 1994. 664p.

Braunbeck, O. A. *Novas Tecnologias Mitigadoras no Uso de Água na Produção de Etanol: A Incorporação da Palha para Redução do Estresse Hídrico*. In: *Workshop Uso da água na produção de etanol de cana-de-açúcar*. 2008. Disponível em <http://www.apta.sp.gov.br/cana/anexos>, acessado em junho 2009.

Braunbeck, O.A. *Mecanização de Baixo Impacto para o Plantio Direto de Cana-de-açúcar*. In *Workshop Mecanização de baixo impacto para o plantio direto da cana-de-açúcar*. CTBE, Centro de Ciência e Biotecnologia do Etanol, 2009

Braunbeck, O.A. *Novas Tecnologias Mitigadoras no Uso de Água na Produção de Etanol: A Incorporação da Palha para Redução do Estresse Hídrico*. In: *Workshop Uso da água na produção de etanol de cana-de-açúcar*. 2008. Disponível em <http://www.apta.sp.gov.br/cana/anexos>, acessado em junho 2009.

Braunbeck, O.A.; Albrecht Neto, E. *Logística do Transporte de Matéria Prima e Resíduos da Cana-de-Açúcar*. In: *P&D em Etanol*, Cortez, L.AB. Editor, in press, 2009.

Brazilian Government, Lei n. 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Available in: www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6938.htm. Brazil. Access in: 16 set. 2008.

Brazilian Government, Lei Nº 4.771, de 15 de setembro de 1965. Institui o novo Código Florestal. Available in: www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L4771.htm. Brazil. Access in: 16 set. 2008.

Brazilian Government, Portaria do Ministério do Interior n. 323, de 29 de novembro de 1978. Proíbe lançamento de vinhoto em coleções de água. Brazil . Available in: www.udop.com.br/download/legislacao_vinhaca.pdf. Access in: 16 set. 2008.

Brazilian Government, Resolução CONAMA n. 001 de 23 de janeiro de 1986. Estabelecer as definições, as responsabilidades, os critérios básicos e as diretrizes gerais para uso e implementação da Avaliação de Impacto Ambiental como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente. Available in: www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html. Brazil. Access in: 16 set. 2008.

Brutsaert W. (1984) *Evaporation into the atmosphere - theory, history and application*. Reidel Publishing Company, 300 p.

BSI – Better Sugarcane Initiative. 2009. Informações disponíveis em www.bettersugarcane.org

Calder I. R. (1977) A model of transpiration and interception loss from a spruce forest in Plynlimon, central Wales. *Journal of Hydrology* 33: 247-265.

CALIFORNIA ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY AIR RESOURCES BOARD (CARB). Proposed regulation to implement the Low Carbon Fuel Standard, Staff report: initial statement of reasons. Volume I. Sacramento, March 2009.

CAMARGO, A.M.P. de Substituição regional entre as principais atividades agrícolas no estado de São Paulo. Escola Superior de Agricultura Luis de Queiros, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1983. 236p. Dissertação (Mestrado)

Campos, B.C. 2006. Dinâmica do carbono em latossolo vermelho sob sistemas de preparo de solo e de culturas. Santa Maria, RS. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Santa Maria.

CAMPOS, D.C. de. Potencialidade do sistema de colheita sem queima da cana-de-açúcar para o seqüestro de carbono. Piracicaba, 2003. 103p. Tese(Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

CANASAT. Mapeamento da cana via imagens de satélite de observação da terra. Disponível em: <<http://www.dsr.impe.br/mapdsr/data/artigos/pdf>>. Acesso em: out. de 2006.

CANTARELLA, H. Adubação nitrogenada em sistema de cana crua. *Revista STAB*, v.16, n.4, p.21-22. 1998.

CARB – California Air Resources Board. 2009. Proposed Regulation to Implement the Low Carbon Fuel Standard. Volume I: Staff Report: Initial Statement of Reasons. California Environmental Protection Agency. Sacramento.

Carmo, V.B. 2008. “Uso da água na produção de etanol de cana-de-açúcar – fase industrial”. Apresentação em 24/Nov/2008. Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP.

CASLER, S. D. (2004). Input-Output Analysis. In “Encyclopedia of Energy” (Cutler J. Cleveland, ed.), vol. 3, pp. 459–474. Elsevier, San Diego, CA.

Castilho, C. P. G. Intercepção de Chuvas na Cultura de Cana-de-açúcar (*Saccharum Officinarum* ssp.), SP, Campinas, 2000, Dissertação de Mestrado – Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP.

Castilho, C. P. G. Simulação Hidrológica de uma Bacia Rural utilizando o Modelo TOPMODEL Acoplado a um Modelo de Intercepção de Chuva pela Cobertura Vegetal, Campinas, 2004, Tese – Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP.

CASTRO, P.R.C. Maturadores químicos em cana-de-açúcar. In. SEMANA DA CANA-DE-AÇÚCAR DE PIRACICABA, 4. Piracicaba, 1999. ANAIS. Saccharum, v.1. p.12-16, 1999.

CEO – Corporate Europe Observatory. 2009. Sugarcane Ethanol: a sweet solution for Europe's fuel addiction? Texto disponível em www.corporateeurope.org

Cerri, C.C. 1986. Dinâmica da matéria orgânica do solo no agrossistema cana-de-açúcar. Piracicaba. Piracicaba, 1986. Tese (livre docência). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

Cerri, C.C., 1986. Dinâmica da matéria orgânica do solo no agrossistema cana-de-açúcar. Tese (livre docência). Escola Superior de Agricultura 'Luiz de Queiroz', Piracicaba, SP, Brazil.

CERRI,C.C; CERRI, C.E.P. Agricultura e aquecimento global. Boletim Informativo – Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa: UFV, v.31, n.31, p.40-44, 2007.

CETESB, 2009. Relatório de qualidade do ar no estado de São Paulo 2008. São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB). 340 p.

CFS Demonstrating Sustainability, Bioenergy Research, Ottawa, 2004,

CGEE, Estudo sobre as possibilidades e impactos da produção de grandes quantidades de etanol visando à substituição parcial de gasolina no mundo – Fase 2. Nipe/Unicamp e Centro de Gestão de Estudos Estratégicos, Campinas, 2007.

Chipp, H, 2009. Desafios para operação em um sistema com maior participação térmica. Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). Fórum Matriz energética e segurança do sistema elétrico nacional. Rio de Janeiro, Agosto de 2009.

Choudhury B. J. (1987) Relationship between vegetation indices, radiation absorption and net photosynthesis evaluated by a sensitivity analyses. Remote Sensing of Environment, 22: 209-233.

Choudhury B. J., Idso S. B. (1985) An empirical model for stomatal resistance of field-grown wheat. Agricultural and Forest Meteorology 36: 65-82.

Choudhury B. J., Monteith J. L. (1986) Implication of stomatal response to saturation deficit for the heat balance of vegetation. Agricultural and Forest Meteorology 36:215-225.

CNA, Documentos sobre o Consecana, Confederação Nacional da Agricultura e Pecuária do Brasil, 2009, disponível em <http://www.cna.org.br/site/desvio.php?ag=0&a=14615>, consultado em agosto de 2009

Comissão de Fertilidade de solo – RS/SC, Recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, 3 ed. Passo Fundo, 1994, 224p.

Committee on Water Implications of Biofuels Production in the United States. 2008. Water Implications of Biofuels Production in the United States. The National Academies Press, 88p.

Companhia Nacional De Abastecimento – CONAB. 2008. Perfil do Setor do Açúcar e do Álcool no Brasil. Brasília: Conab, 2008. Available in <<http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/perfil.pdf>>. Access in 18 Set. 2008.

CONAB, 2008. Perfil do Setor do Açúcar e do Álcool no Brasil, Situação Observada em Novembro de 2007. Abril de 2008. Companhia Nacional de Abastecimento, Brasília.

Coopersucar, São Paulo State Cooperative of Sugar and Alcohol producers. 1985. "Battle against pollution: Evaluation to the Copersucar program". Piracicaba, SP.

Copersucar, 1995. Inventário de resíduos sólidos na agroindústria sucroalcooleira – Projeto N° 9301623. Cooperativa de Produtores de Cana, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo LTDA. RT-705-94/95.

Cortez, L.A.; Magalhães, P.S.G; Happi, J. Principais subprodutos da agroindústria canavieira e sua valorização. *Revista Brasileira de Energia*, Vol.2, N°. 2, 1992.

Cotter, J.L., Chinn, M.S. and Grunden, A.M. 2009. Ethanol and acetate production by *Clostridium ljungdahlii* and *Clostridium autoethanogenum* using resting cells. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, vol. 32.

COUCIL OF THE EUROPEAN UNION, Directive of the European parliament and of the council on the promotion of the use of energy from renewable sources. Dossier interinstitutionnel 2008/0016 (COD). Brussels: December 2008.

Cramer, J et al. 2007. Testing Framework for Sustainable Biomass – Final report from the project group Sustainable Production of Biomass. Amsterdam; 72.

CTC, 2009. Centro de Tecnologia Canavieira. www.ctc.com.br.

CTC, Programa de Controle Mútuo Agrícola e Industrial, Centro de Tecnologia Canavieira, Piracicaba, 2006.

CTC, Programa de Controle Mútuo Industrial, Centro de Tecnologia Canavieira, Piracicaba, 2008.

CUNHA, M. P. (2005). Inserção do setor sucroalcooleiro na matriz energética do Brasil: uma análise de insumo-produto. Dissertação de mestrado, Unicamp.

- CUNHA, M. P. (2005). Inserção do setor sucroalcooleiro na matriz energética do Brasil: uma análise de insumo-produto. Dissertação de mestrado, Unicamp.
- CUNHA, M. P., PEREIRA, J. T.V. In: Estimativa da energia incorporada na demanda final da economia brasileira em 2005. XII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA (CBE), 2008. Rio de Janeiro – RJ.
- CUNHA, M. P., PEREIRA, J. T.V. In: Estimativa da energia incorporada na demanda final da economia brasileira em 2005. XII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA (CBE), 2008. Rio de Janeiro – RJ.
- D'Andrea, A.F., M.L.N. Silva, N. Curi and L.R.G. Guilherme, 2004. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. Pesquisa agropecuária brasileira, Brasília, vol. 39 (2): 179-186.
- D'andrea, A.F.; Silva, M.L.N.; Curi, N. & Guilherme, L.R.G. 2004. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. In: Pesquisa agropecuária brasileira., Brasília, v.39, n.2, p.179-186, fev. 2004.
- DAEE. Projeto FEHIDRO "Plano Estadual de Recursos Hídricos 2004/07 e Regulamentação da Cobrança pelo Uso dos Recursos Hídricos". Disponível em <http://www.daee.sp.gov.br/cgi-bin/Carrega.exe?arq=/cobranca/index.htm>
- Datar, R.P., Shenkman, R.M., Cateni, B.G., Huhnke, R.L. and Lewis, R.S., Fermentation of biomass-generated producer gas to ethanol, Biotechnology and Bioengineering, 2004,86(5).
- De Dominicis, A. 2009. Sustainability criteria for biofuels in the EU legislation. European Commission: DG Environment.
- Dedini, 2008. Dedini lança usina de açúcar e etanol produtora de água. Press release. Dedini S.A. Indústria de Base. Piracicaba.
- Department of Transport. 2008. Carbon and Sustainability Reporting Within the Renewable Transport Fuel Obligation. Requirements and Guidance. Government Recommendation to the Office of the Renewable Fuels Agency. London.
- Department of Transport. 2008b. Summary of responses to consultation on RTFO's carbon and sustainability reporting requirements. London.
- DIAS NETO, A. F. ; MAGALHÃES, P. S. G. ; BRAUNBECK, O. A. . Aprimoramento de mecanismo dosador de rebolos para o plantio mecanizado de cana-de-açúcar.. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande, João Pessoa - PB, v. 5, n. 3, p. 546-553, 2001.
- DONZELLI, J. L. Cana-de-açúcar no Brasil – pesquisa, desenvolvimento, produção e sustentabilidade. Workshop on Impact of New Technologies on

the Sustainability of the Sugarcane/Bioethanol Production Cycle. CTBE, Campinas, SP , 14 e 15 de maio, 2009. Disponível em: <http://www.bioetanol.org.br/workshop3>. Acesso em setembro de 2009.

Donzelli, Jorge Luis. 2005. In: Macedo, Isaias de Carvalho; Several Authors, 2005. Sugarcane's Energy – Twelve studies on Brazilian sugarcane agribusiness and its sustainability. São Paulo.

Duarte Júnior, J. B.; Coelho F. C. A cana-de-açúcar em sistema de plantio direto comparado ao sistema convencional com e sem adubação. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, v.12, n.6, p.576–583, 2008.

DuPont BioButanol, 2008, Disponível em: http://www2.dupont.com/Biofuels/en_US/index.html, acessado em maio de 2009

EES, Engineering Equation Solver, 2007. <http://www.mhhe.com>

EIJBERG, RICHARD. Ethanol Production: The current situation – Technical design and economic evaluation of modern ethanol factory located in Brazil. In: Campinas; October 2006. Master Thesis of Technical University of Delft (TUD), Holland.

Elia Neto, A, 2008. Água na indústria da Cana-de-açúcar, In: Workshop Projeto PPP: "Aspecto Ambientais da Cadeia do Etanol de Cana-de-açúcar", Painel I São Paulo. 13p.

ELIA NETO, A. Captação e uso de água no processamento da cana-de-açúcar. In MACEDO, I.C. (org). A energia da cana-de-açúcar - doze estudos sobre a agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e sua sustentabilidade. 1ª ed. São Paulo: Berlinds& Vertecchia:Unica, 2005.

ELIA NETO, A. Uso e reuso de água na indústria canavieira. Workshop on Impact of New Technologies on the Sustainability of the Sugarcane/Bioethanol Production Cycle. CTBE, Campinas, SP , 14 e 15 de maio, 2009. Disponível em: <http://www.bioetanol.org.br/workshop3>. Acesso em setembro de 2009.

Elia Neto, A., "Captação e uso de água no processamento da cana-de-açúcar", in Macedo, I. C. (org.), A energia da cana-de-açúcar: doze estudos sobre a agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e a sua sustentabilidade, UNICA, São Paulo, 2005,

Elia Neto, A.; Nakahodo, T. 1995. "Caracterização físico-química da vinhaça", Project no. 9500278, CTC – Centro de Tecnologia Canavieira. Piracicaba.

Elia Neto, André. 2008. "Water in the Sugar Cane Industry". Workshop:Project of Research Program in Public Policies, Environment Aspects of the Ethanol from Sugar Cane Chain. São Paulo.

Ensinas A. V.. "Integração térmica e otimização termoeconômica aplicadas ao processo industrial de produção de açúcar e etanol a partir da cana-de-

açúcar”, Tese de doutorado, Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 207p, 2008.

EPA – Environmental Protection Agency. 2009a. EPA proposes new regulations for the National Renewable Fuel Standard Program for 2010 and beyond. Disponível em www.epa.gov.

EPA – Environmental Protection Agency. 2009b. Draft Regulatory Impact Analysis: Changes to Renewable Fuel Standard Program. Disponível em www.epa.gov.

EPA – Environmental Protection Agency. 2009b. EPA Lifecycle Analysis of Greenhouse Gas Emissions from Renewable Fuels. Disponível em www.epa.gov.

EPE - 2007 – Empresa de Pesquisa Energética, “Balanço Energético Nacional (BEN) 2007 – ano base 2006”. (www.epe.gov.br – acesso em 21/03/2008)

EPE, Plano Nacional de Energia 2030, Empresa de Planejamento Energético, Ministério de Minas e Energia, Rio de Janeiro, 2007.

EPE/MME, 2009a. Balanço Energético Nacional 2009 – Resultados Preliminares, Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Ministério de Minas e Energia, Brasília, DF.

EPE/MME, 2009b. Plano Decenal de Expansão de Energia 2008 / 2017, Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Ministério de Minas e Energia, Brasília, DF.

EPFL, The roundtable on sustainable biofuels: ensuring biofuels deliver on their promise of sustainability, Energy Center, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, 2008. disponível em <http://cgse.epfl.ch/page65660.html>, acessado em abril de 2008.

European Parliament. 2008. European Parliament legislative resolution of 17 December 2008 on the proposal for a directive on the promotion of the use of energy from renewable sources. Disponível em

Fancelli, A. L.; Dourado Neto, D., 2004. Produção de milho. 2. ed. Guaíba: Agropecuária. 360p. Brazil.

FAPESP Brazil world leader in sugarcane and ethanol knowledge and technology (FAPESP’s contribution), The State of São Paulo Research Foundation, São Paulo, 2007.

FAPRI – FOOD AND AGRICULTURAL POLICY RESEARCH INSTITUTE. Models. Ames: FAPRI-CARD, 2008. Available at: <http://www.fapri.iastate.edu/models/>

FARGIONE, J., HILL, J., TILMAN D., PLASKY, S., HAWTHORNE, P., Land Clearing and the Biofuel Carbon Debt. Available at <www.sciencexpress.org / 7 / Page 1 / 10.1126/science.1152747>. Access in February 2008.

Farquhar G. D., Cowan I. R. (1987) Stomatal Function. Stanford University Press, Stanford, California, 452 p.

Farquhar G. D., Wong S. C. (1978) An empirical model of stomatal conductance. *Aust. J. Plant Physiol.* 11: 191-210.

FEIJÓ, et al., "Contabilidade Social: O Novo Sistema de Contas Nacionais do Brasil". Rio de Janeiro: Editora Campus, 2001

Fernández Parra M. A., "Metodologia da análise exergoeconômica do processo de fabricação de açúcar", Tese de doutorado, Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 173p, 2003.

Ferreira, E.S.; Monteiro, A.O. 1987. "Efeitos da aplicação da vinhaça nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo", *Boletim Técnico Copersucar*, vol. 36, São Paulo, pp.3-7.

Ferreira, L. Simulação Hidrológica utilizando o Modelo o TOPMODEL em Bacias Rurais – Estudo de Caso na Bacia do Ribeirão dos Marins Seção Monjolinho/SP, Campinas, 2004, Tese – Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP.

Finguerut, J. Processo Fermentativo, Position Paper para o I Workshop Tecnológico sobre obtenção de etanol", Projeto PPPP Etanol, Lorena, 2006.

Forest Service/USDAA Report to Facilitate Discussion of Indicators of Sustainable Forest Management, 1996, disponível em http://www.fs.fed.us/land/sustain_dev, consultado em julho de 2008

Fornasieri F. & Domingos, V.I., 1978. Nutrição e adubação mineral do algodoeiro. In: Ministério da Ciência e Tecnologia - MCT. Emissões de gases de efeito estufa na queima de resíduos agrícolas. Brasília/DF – MCT, 2002. Available in <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/17341.html>. Access in 18 Set. 2008.

Fortin J. P., Villeneuve J. P., Benoit J., Blanchette C., Montminy M., Proulx H., Moussa R., Boucquillon C. (1990) Hydrotel 2.1 - User's guides. Université du Quebec, Institut National de la Recherche Scientifique, 160 p.

FREITAS V.P. Águas – aspectos jurídicos e ambientais, Curitiba: Juruá, 2008.

Friends of Earth. 2005. The oil for ape scandal. Disponível em http://www.foe.co.uk/resource/reports/oil_for_ape_full.pdf

Galdos M. V.; Cerri, C. C.; Cerri, C. E. P.; Paustian, K.; Antwerpen, R. Van Simulation of Soil Carbon Dynamics under Sugarcane with the CENTURY Model. *SSAJ: Volume 73: Number 3 • May–June* 802-811, 2009.

GALDOS, M.V. Dinâmica do carbono do solo no agrossistema cana-de-açúcar. Piracicaba, 2007. 101p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

GBEP – Global Bioenergy Partnership. 2009. Disponível em www.globalbioenergy.org.

Girard G., Ledoux E., Villeneuve J. P. (1981) Le modèle couple, simulation des écoulements de surface et souterrains sur un système hydrologique. Cahier ORSTOM, série hydrologie, vol. XVIII, n° 4: 195-279.

Gnansounou, E., L. Panichelli, A. Dauriat and J.D. Villegas, 2008. Accounting for indirect land-use changes in GHG balances of biofuels: review of current approaches. École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Working Paper 437.101.

Goldemberg, J. e Coelho, S. Renewable Energy - Traditional biomass vs Modern Biomass, Energy Policy, 32/6, pp. 711-714, 2003.

Goldemberg, J., 2007. Ethanol for a Sustainable Energy Future. Science, v. 315, p. 808-810.

Goodland, R., Daly, H.E., El Serafy, S. (ed.), 1992, Population, Technology, and Lifestyle: The Transition to Sustainability, Island Press, New York (p. 112)

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE Relatório Ambiental Estratégico Etanol Verde disponível em <http://homologa.ambiente.sp.gov.br/etanolverde> acessado em junho de 2009.

Green, R. Macdonald, B.C.T. Melville, M.D. Waite, T.D. Hydrochemistry of Episodic Drainage Waters Discharged From an Acid Sulfate Soil Affected Catchment. Journal of Hydrology. 325, 356-375, 2006.

GUEDES, S.N.R. Verticalização da agroindústria canavieira e a regulação fundiária no Brasil: Uma comparação internacional e um estudo de caso. – Universidade de Campinas, 2000. 238p. Tese (Doutorado)

GUILHOTO, J. J. M., E U. A. SESSO (2005). "Estimação da matriz insumo-produto a partir de dados preliminares das contas nacionais". Economia Aplicada 9 (2) 277–299.

Hassuani, S.J.; Leal, M.R.L.V.; Macedo, I.C. Biomass power generation Sugar cane bagasse and trash Published by: PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento CTC - Centro de Tecnologia Canavieira. Piracicaba, pp 206. 2005.

Hill, J.; Nelson, E.; Tilman, D.; Polasky, S.; Douglas, T., 2006. Environmental, economic, and energetic costs and benefits of biodiesel and ethanol biofuels. PNAS, v. 103, n. 30, p. 11206–11210.

Hodson, P. 2009. EU Renewables Fuel Legislation. European Commission ...

HOFFMANN, R.; OLIVEIRA, F. C. R. O emprego e a renda no setor sucroalcooleiro no Estado de São Paulo, 2009 (no prelo).

HOLT, M. T. A linear approximate acreage allocation model. Fargo: Journal of Agricultural and Resource Economics. v. 24, n. 2, p. 383-397, 1999.

Hunter, H.M. Walton, R.S. Land-Use Effects on Fluxes of Suspended Sediment, Nitrogen and Phosphorus From a River Catchment of the Great Barrier Reef, Australia. Journal of Hydrology. 356, 131-146, 2008.

IBGE - 2007 – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, "Contas Nacionais". (www.ibge.gov.br – acesso em 10/03/2008)

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Agropecuário de 2006, acesso pelo sistema Sidra, <http://www.sidra.ibge.gov.br/>.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Agrícola Municipal, vários anos, acesso pelo sistema Sidra, <http://www.sidra.ibge.gov.br/>.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. PNAD- Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios, vários anos.

IBGE, 2009 Levantamento Sistemático da Produção Agrícola – Safra 2009. Disponível em:
<http://www.ibge.gov.br/home/....._200905comentarios.pdf> Acesso em: 10 jun. de 2009.

IEA – International Energy Agency. 2004. Biofuels for transport—an international perspective. Paris.

IEA - Task 29, Bioenergy definitions, 2007, disponível em www.aboutbioenergy.info/sustainability.html, consultado em julho de 2007

IEA Bioenergy Potential contribution of bioenergy to the world's future energy demand, IEA Bioenergy Task 40, International Energy Agency, Paris, 2007,

IEA/CATI – SAAESP 2008. Área cultivada e produção: Cerrado, Cerradão, Mata Natural. In: Banco de Dados do Instituto de Economia Agrícola. www.iea.sp.gov.br. São Paulo.

IEL/SEBRAE, 2005, O novo ciclo da cana: estudo sobre a competitividade do sistema agroindustrial da cana-de-açúcar e prospecção de novos empreendimentos, Instituto Euvaldo Lodi/Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas, Brasília.

IGREJA, A. C. M.; MARTINS, S.S.; ROCHA, M.B.; BLISKA, F. M. de M.; TIRADO, G. Fatores locacional e tecnológico na competição cana versus pecuária para as regiões geográficas brasileiras. Revista de Economia Agrícola, v.55, p.89-103, 2008.

INMETRO – National Institute of Metrology, Standardization and Industrial Quality. 2008. Regulamento de Avaliação da Conformidade para Etanol Combustível. Rio de Janeiro.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2008b. Censo Agropecuário de 2008. Available at: www.sidra.ibge.gov.br (accessed in July 10th, 2008).

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, (IBGE), 2008a. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. Available at: www.sidra.ibge.gov.br (accessed in July 10th, 2008).

Instituto de Economia Agrícola – IEA. 2008. www.iea.sp.gov.br. Brazil.

Instituto Nacional de pesquisas espaciais (INPE), 2008. Available at: www.inpe.br.

International Energy Agency, 2004-2006. United States. Available at: www.iea.org.

Itaú Corretora, 2007. Cosan: Céu Carregado, Tese de investimentos. São Paulo.

Janini D. A., Análise operacional e econômica do sistema de plantio mecanizado de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). Dissertação de mestrado apresentada na ESALQ/USP, Piracicaba. 149p. 2007.

Jank M. S.; Rodrigues A. P. Estimativa da safra 2009/2010 São Paulo, SP, abril de 2009.

Jantalia, C.P. 2005. Estudo de sistemas de uso do solo e rotações de culturas em sistemas agrícolas brasileiros: dinâmica de nitrogênio e carbono no sistema solo – planta – atmosfera. 2005. Tese (doutorado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Jarvis P. G. (1976) The interpretation of the variation in leaf water potential and stomatal conductance found in canopies in the field. *Philosophical Transaction Royal Society of London - Physical Sciences and Engineering* 273: 593-610.

Jarvis P. G., McNaughton K. G. (1986) Stomatal control of transpiration: Scaling up from leaf to region. *Advance in Ecological Research*, 15: 1-49.

Jarvis P. G., Morison J. I. L. (1981) Stomatal control of transpiration and photosynthesis. In: *Stomatal physiology* ed. Jarvis P. G. e Mansfield T. A. - Seminar series 8, Cambridge University Press.

Jensen, C.R.C and G.T.Schumann (2001). "Implementing a zero effluent philosophy at a cane sugar factory". *Proceeding of the Congress of the International Society of Sugar Cane Technologists – September 2001, Brisbane, Australia.*

JOINT RESEARCH CENTRE OF THE EUROPEAN COMMISSION (JRC) Workshop on Marginal yields and land allocation in ILUC emissions estimates. European Commission - DG Environment. Brussels, 22nd of July, 2009.

Jones H. G. (1992) Plants and microclimate. Segunda edição. Cambridge University Press, 428 p.

KEENEY, ROMAN; HERTEL, THOMAS W. The indirect land use impacts of United States biofuel policies: the importance of acreage, yield, and bilateral trade responses. *Amer. J. Agr. Econ.* 91(4) (November 2009): 895-909.

Kesslerlingh, S.M. 2002. "Minimization and reuse of waters in sugar-ethanol industries: Case Study". Master Thesis. São Carlos Engineering School, University of São Paulo.

KUNZ, A.; OLIVEIRA, P. A. V. De, *Uso de Biodigestores para Tratamento de Resíduos Animais*. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2008. 2p. (Folder)

Lardy, L.C., M. Brossard, M.L.L. Assad and J.Y. Laurent, 2002. Carbon and phosphorus stocks of clayey ferrassols in Cerrado native and agroecosystems, Brazil. *Agriculture Ecosystems and Environment* 92: 147-158.

Lardy, L.C.; Brossard, M.; Assad, M.L.L. & Laurent, J.Y. 2002. Carbon and phosphorus stocks of clayey ferrassols in Cerrado native and agroecosystems, Brazil. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 92: p. 147-158, 2002. In: Aduan, R.E. 2003. *Respiração de solos e ciclagem de carbono em cerrado nativo e pastagem no Brasil central*. Brasília. Tese (doutorado) – Universidade de Brasília.

Laurini R., Milleret-Raffort F. (1993) *Les bases de données en géomatique. Traité de nouvelles technologies - séries géomatiques*. Hermes, Paris, 340 p.

Leal, M.R.L.V., Macedo, I.C., 2004. Evolução tecnológica dos sistemas de geração de energia nas usinas de açúcar e álcool. *Biomassa & Energia*, v.1, n.3, p.245-253.

Leite, H.T.C. 2008. "A sustentabilidade e o uso da água na produção do etanol". Apresentação em 24/Nov/2008. Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP.

Leontief, Wasily, "Input - Output Economics", Second Edition, Oxford University Press, Oxford, 1986,

LOPES C. L. V. Gerenciamento de recursos hídricos e o processo de internalização da variável água nas indústrias. Campinas: Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, 2006. Tese (Mestrado).

Lozano M. A., Valero A., "Theory of the exergetic cost", *Energy*, v. 18, n. 9, pp. 939-960, 1993.

Luca E. F.; Feller, C.; Cerri C.C.; Barthès, B.; Chaplot, V.; Campos D. C.; Manechini, C. Avaliação de atributos físicos e estoques de carbono e nitrogênio em solos com queima e sem queima de canavial. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:789-800, 2008.

LUCA, E.F. de. Matéria orgânica e atributos do solo em sistemas de colheita com e sem queima da cana-de-açúcar. Piracicaba, 2002. 101p.
Tese(Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”,
Universidade de São Paulo.

Lucon, O. Aspectos ambientais na cadeia de biocombustíveis, Workshop
“Aspectos Ambientais da Cadeia do Etanol de Cana-de-Açúcar”, Projeto
Diretrizes de Políticas Públicas para a Agroindústria Canavieira do Estado de
São Paulo, São Paulo, 2008.

Macedo , I.C., Leal, M.R.L.V., Silva, da Silva, J.E.A.R., 2004. Balanço das
emissões de gases de efeito estufa na produção e no uso do etanol no
Brasil. Secretaria do Meio Ambiente, Governo de São Paulo. Abril de 2004.
19pp+anexos.

MACEDO, I. C. (org). A Energia da Cana-de-Açúcar - Doze estudos sobre a

MACEDO, I. C. (org). A Energia da Cana-de-Açúcar - Doze estudos sobre a
agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e sua sustentabilidade. UNICA -
União da Agroindústria Canavieira do Estado de São Paulo, São Paulo, 2005.

Macedo, I. C.; Seabra, J. E. A.; Silva, J. E. A. R., 2008. Green house gases
emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil:
The 2005/2006 averages and a prediction for 2020. Biomass and Bioenergy,
v. 32, n. 7, p. 582-595.

Macedo, I.C., 1998. Greenhouse gas emission and energy balances in bio-
ethanol production and utilization in Brazil (1996). Biomass and Bioenergy;
14(1):77-81.

Macedo, I.C., 2007, Tecnologia Para a Produção e Uso do Etanol:
Desenvolvimento, Situação Atual e Perspectivas, Estudos Avançados, Vol
21, No. 59, São Paulo, Jan-Abril 2007

Macedo, Isaias de Carvalho. 2005. Various authors. “The Energy of Sugar
Cane, Twelve Studies about the agroindustry of sugar cane in Brasil and its
sustainability”. UNICA. Chapter 5.

Macedo, Isaias de Carvalho; Several Authors, 2005. Sugarcane’s Energy –
Twelve studies on Brazilian sugarcane agribusiness and its sustainability.
São Paulo.

Machado E. C. (1981) Um modelo matemático-fisiológico para simular o
acúmulo de matéria seca na cultura de cana-de-açúcar - Dissertação de
Mestrado, Instituto de Biologia, UNICAMP, 115 p.

Manan Z.Z, Foo C.Y. “ASSESSING OPTIONS FOR PROCESS CHANGES VIA
WATER CASCADE ANALYSIS”

Manechini, C. et al. Benefits and problems of trash left in the field in
Biomass power generation: sugar cane bagasse and trash, Hassuani, S.J. et
al. organizadores, CTC, Piracicaba, 216p. (2005).

MAPA, 2009. Anuário estatístico da agroenergia. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília: Mapa/ACS, 2009. 160 p.

MAPA/CONAB, Brasil, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Companhia Brasileira de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira, primeiro levantamento, safra de 2009, abril de 2009.

MAPA/SPAEE, Brasil, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento/Secretaria de Produção e Agroenergia. Balanço Nacional da Cana-de-açúcar e Agroenergia, Brasília, 139p. 2007

MCT, 2009. Identificação do perfil de fontes de energia e consumo de combustível da margem de operação do Sistema Interligado Nacional. Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT), Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento (SEPED), Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima (CGMC). Document provided by Ana Carolina Avzaradel on September 14, 2009.

Michelazzo, M.B. Análise de sensibilidade de seis sistemas de recolhimento do palhço da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*), dissertação de mestrado, UNICAMP, Campinas, 2005, 86p.

Mileham, A. Taylor, R. Thompson, J. Todd, M. Tindimugaya, C. Impact of Rainfall Distribution on the Parameterization of a Soil-Moisture Balance Model of Groundwater Recharge in Equatorial Africa. *Journal of Hydrology*. 359, 46-58, 2008.

MILLER, R. E., e BLAIR, P. D. (1985). "Input-output analysis: Foundations and Extensions". Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Anuário estatístico da agroenergia / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília: Mapa/ACS, 2009.

Ministry of Agriculture and Livestock - CONAB, 2008. www.conab.gov.br. Brazil.

MORAES, M. A. F. D. de. O mercado de trabalho da agroindústria canavieira: desafios e oportunidades. *Economia Aplicada*, São Paulo, v. 11, n. 4, p. 605-619, out./dez. 2007.

MORAES, M. A. F. D. de. Paradox: mechanization and social inclusion. Workshop on Impact of New Technologies on the Sustainability of the Sugarcane/Bioethanol Production Cycle. CTBE, Campinas, SP, 14 e 15 de maio, 2009. Disponível em: <http://www.bioetanol.org.br/workshop3>. Acesso em setembro de 2009.

Morel-Seytoux H. J., Alhassoun S. A. (1987) SWATCCH swiss watch watershed model for simulation of surface and subsurface flows in stream-aquifer system. Colorado State University, Civil Engineering Department, 297 p.

- Morison J. I. L. (1987) Intercellular CO₂ concentration and stomatal response to CO₂. In: Zeiger E., Farquhar G. D., Cowan I. R. (editores) Stomatal Function. Stanford University Press, Stanford, California.
- Muttiah, R. Wurbs, R.A. Scale-Dependent Soil and Climate Variability Effects on Watershed Water Balance of the SWAT Model. Journal of Hydrology. 256, 264-285, 2002.
- Mutton, M.A.; Rossetto R.; Mutton, M.J.R. Vinhaça. In: P&D em Etanol, Cortez, L.AB. Editor, in press, 2009.
- Nações Unidas. 2005. United Nations General Assembly. World Summit Outcome, Resolution A/60/1.
- NAE, 2005. Biocombustíveis. Cadernos NAE nº 2 (jan. 2005). Brasília: Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República, Secretaria de Comunicação de Governo e Gestão Estratégica.
- Nardin R. R. Torta-de-filtro aplicada em argissolo e seus efeitos agrônômicos em duas variedades de cana-de-açúcar colhidas em duas épocas. Dissertação de Mestrado, IAC, Campinas, SP. 2007, 51p.
- NASSAR, A M. IMPACTS OF LAND USE CHANGES ON BIOFUELS PRODUCTION. Ethanol Summit 2009. São Paulo. Junho de 2009. disponível em <http://www.iconebrasil.com.br/arquivos/noticia/1830.pdf>.
- NASSAR, A.M., HARFUCH, L., MOREIRA, M.R., BACHION, L. C., ANTONIAZZI, L., EPA Lifecycle Analysis of GHG Emissions from Renewable Fuels. ICONE's comments on ethanol. Brasília. Agosto 2009.
- NASSAR, A.M.; HARFUCH. L.; MOREIRA, M.R.; BACHION, L.; ANTONIAZZI L.B. Impacts on Land Use and GHG Emissions from a Shock on Brazilian Sugarcane Ethanol Exports to the United States using the Brazilian Land Use Model (BLUM). Report to the U.S. Environmental Protection Agency Regarding the Proposed Changes to the Renewable Fuel Standard Program. Docket EPA-HQ-OAR-2005-0161.
- NASSAR, A.M.; RUDORFF, B.F.T.; ANTONIAZZI, L.B.; AGUIAR, D.A. de; BACCHI, M.R.P.; ADAMI, M. Prospects of the sugarcane expansion in Brazil: impacts on direct and indirect land use changes. In: Zuurbier and Vooren (coord.), Sugarcane ethanol: contributions to climate change mitigation and the environment. Wageningen: Wageningen Academic Publishers, 2008.
- Nemani R., Running S. W. (1989) Testing a theoretical climat-soil-leaf area hydrologic equilibrium of forest using satellite data ecosystem simulation. Agricultural and Forest Meteorology, 44: 254-260.
- Neves, C. S. V.J.; Feller, C. & Larré-Larrouy, M.-C. 2005. Matéria orgânica nas frações granulométricas de um latossolo vermelho distroférico sob diferentes sistemas de uso e manejo. In: Ciências Agrárias, Londrina, v. 26, n. 1, p. 17-26

NIST (National Institute of Standards and Technology). "Livro de Química na web". Disponível em: <http://webbook.nist.gov>. Acesso em: 11 de junho de 2009

Nogueira, L.A.H. Algunas reflexiones sobre la evaluación de la sustentabilidad, SDdimensions, FAO, Roma, 1998, disponível em www.fao.org/sd/spdirect/EGre0038.htm.

OCDE – ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO. Documentation of the Aglink-Cosimo model. AGR/CA/APM(2006)16/FINAL. Março 2007.

OECD. Biofuels: is the cure worse than the disease? Paris: September, 2007. Available in <http://www.oecd.org/dataoecd/40/25/39266869.pdf>. Visited on September 27th 2007.

OLIVEIRA, P. A. V. de; HIGARASHI, M. M. Geração e utilização de biogás em unidades de produção de suínos. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2006. 42p. (Série Documentos - Embrapa Suínos e Aves)

OLIVEIRA, F.C.R. de. Ocupação, emprego e remuneração na cana-de-açúcar e em outras atividades agropecuárias no Brasil, de 1992 a 2007. 163p. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

Oliverio, J.L. (Dedini), Novas tecnologias para biocombustíveis, 9º Encontro de negócios de energia, FIESP/CIESP, São Paulo, 2008.

Ottmar, R. D.; Vihnanek, R. E.; Miranda, H. S.; Sato, M. N.; Andrade, S. M. A. Séries de estéreo-fotografias para quantificar a biomassa da vegetação do cerrado no Brasil Central. Brasília: USDA, USAID, UnB, 2001. 88 p. In: Ciclagem de Carbono em Ecossistemas Terrestres – O caso do Cerrado Brasileiro. Planaltina/DF – Embrapa Cerrados, 2003. Available in: <http://bbeletronica.cpac.embrapa.br/2003/doc/doc_105.pdf>. Access in 18 Set. 2008.

Paes, L.A.D.; Oliveira M.A. Potential trash biomass of the sugar cane plant. In Hassuani, S.J. et al. organizadores, CTC, Piracicaba, 216p. (2005).

Palmieri, A. Dams and Development - The Evolving Role of the World Bank, Symposium "Benefits and Concerns about Dams", Annual Meeting of the International Commission on Large Dams, Dresden, 2001,

Penatti, C.P., "Vinhaça e seus efeitos no solo e na planta", Workshop Tecnológico sobre Vinhaça, Projeto Programa de Pesquisa em Políticas Públicas, Piracicaba, 2007,

Peterson D. L., Spanner M. A., Running S. W., Teuber K. B. (1987) Relation of thematic mapper simulator of leaf area index of temperate coniferous forest. Remote Sensing of Environment, 22: 323-341.

Pflüger, A. Potential Role of Biofuels in Future Markets. In: Biofuels Markets – Congress and Exhibition. Disponível em www.iea.org.

PIACENTE F.J, PIACENTE E. A. Desenvolvimento sustentável na agroindústria canavieira: uma discussão sobre os resíduos. Campinas: Instituto de Economia e Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2004. Apresentação de trabalho/seminário.

Piazza Waldemir, Nakahodo Tuko, Oliveira Tostes Danilo. "Alternatives for Reduction of Consume of Water in the process". Piracicaba, 1999.

Pinto, A.C.; Moraes, E.E. (a) Equipamento distribuidor de cana-de-açúcar. In: Seminário de Tecnologia Agronômica, 7, Copersucar, Piracicaba, novembro de 1977. Anais..., 1977. p. 213-222

Pinto, A.C.; Moraes, E.E. (b) Plantadora de cana. In: Seminário de Tecnologia Agronômica, 7, Copersucar, Piracicaba, novembro de 1977. Anais..., 1977. p. 223-231

Poletto, M. C. "A Capacidade de Suporte, o Consórcio de Bacias e o Licenciamento de Novas Usinas no Estado de São Paulo". Apresentação em 24/Nov/2008. Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP.

Procknor Celso. 2002. "Rational use of water". Procknor Engineering. Factory Solutions. Abril, 2002 Edition.

Procknor, C. "Dilemas", Seção "Soluções de Fábrica", Revista STAB, maio/junho de 2004, Piracicaba, 2004.

Procknor, C., 1999, "Algumas Tendências da Tecnologia Açucareira", Seção "Soluções de Fábrica", Revista STAB, maio de 1999, Piracicaba

Protocolo Agroambiental do Setor Sucroalcooleiro.
<www.unica.com.br/content/show.asp?cntCode={BEE106FF-D0D5-4264-B1B3-7E0C7D4031D6}>>. Access in: 16 de set. 2008

Rangel, O.J.P. & Silva, C.A. 2007. Estoque de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. In: Revista Brasileira de Ciência do Solo, 31 p.1609-1623.

Ravagnani M.A.S.S., Righetto A.T. and Marquini M.F. (2007) "IMPROVING ENERGETIC PERFORMANCE AND WATER USAGE IN AN INDUSTRIAL ETHANOL DISTILLERY". Trans IChemE, Part B, Process Safety and Environmental Protection, 2007, 85(B6): 526-532

Rein, P. Cane sugar engineering, Berlin: Verlag Dr. Albert Bartens KG, 2007.

RESENDE, A. S.; XAVIER, R. P.; OLIVEIRA, O. C.; URQUIAGA, S.; ALVES, B.; BODDEY, R. M. Long-term effects of pre-harvest burning and nitrogen and vinasse applications on yield of sugar cane and soil carbon and nitrogen stocks on a plantation in Pernambuco, N.E. Brazil. Plant and Soil, v. 281, p.339-351, 2006.

RIBEIRO, A.C. et al. Recomendações de adubação e calagem para o estado de Minas Gerais. 5 aproximação. Viçosa, CFSEMG, 1999. 359p.

Ricci Junior, Adhair. 2005. In: Macedo, Isaias de Carvalho; Several Authors, 2005. Sugarcane's Energy – Twelve studies on Brazilian sugarcane agribusiness and its sustainability. São Paulo.

Ripoli, T.C C et al. Energy potential of sugar cane biomass in Brazil, Sci. Agric. 2000, v. 57, n. 4, pp. 677-681, 2000

Risson M. (1995) Incidence de la complexité du milieu physique et des lois de comportement sur la réponse hydrologique d'un bassin versant. Modèle de représentation et de dynamique. Application au bassin versant de la Peyne. Université Montpellier II Science et Technique du Languedoc, 340 p.

ROCHA, Ana P. T.; ALSINA, Odelsia L. S.; SILVA Vimário S.; da SILVA, Flávio L. H.. Cinética de produção de levedura seca em leito de jorro. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.12, n.1, p.81-86, 2008.

Rogers, G.O. DeFee II, B.B. Long -Term Impact of Development on a Watershed: Early Indicators of Agriculture Problems. Landscape and Urban Planning. 73, 215-233, 2005.

ROSA, F.R.T.; TONINI, M.G.O.; TURCO, P.C. Pecuária de corte: Novos Rumos. In: ENCONTRO DE BOVINO DE CORTE, 2: Gestão da Produção de Pastagens, 21-22 de novembro de 2007, Jaboticabal, SP. ANAIS, p.7-25,131-132. 2007.

Rossell, C.E.V., 2008, Evolução Tecnológica da Produção de Etanol. Expectativas futuras: Destilarias otimizadas, Etanol da Hidrólise de Bagaço, 60ª Reunião Anual da SBPC, Campinas.

Rossell, Vaz Carlos Eduardo. Debater in Workshop:Project of Research Program in Public Policies. University of Campinas.

Rossetto, R.; Cantarella, H.; Landell, M.G.A.; Dias, F.L.F.; Vitti, A.C. Manejo conservacionista e reciclagem de nutrientes em cana-de-açúcar tendo em vista a colheita mecânica Informações Agrônomicas nº 124 – Dezembro/2008, p. 8-13.

Rossetto, R.; Dias F.L.F;Vitti A.C. Manutenção da fertilidade e recuperação dos solos na cultura da cana-de-açúcar. In: P&D em Etanol, Cortez, L.AB. Editor, in press, 2009.

Rouet P. (1991) Les données dans les systèmes d'information géographiques. Traité de nouvelles technologies - séries géographie assistée par ordinateur, 278 p.

RSB – Roundtable on Sustainable Biofuels. 2008. "Version Zero" of Global Principles and Criteria for Sustainable Biofuels Production. Available at <http://EnergyCenter.epfl.ch/Biofuels>.

RUDORFF, B. F. T.; BERKA, L. M. S.; XAVIER, A. C.; MOREIRA, M. A.; DUARTE,V.; ROSA, V. G. C.; SHIMABUKURO, Y. E. Estimativa de área plantada com cana-de-açúcar em municípios do Estado por meio de imagens

de satélites e técnicas de geoprocessamento: ano safra 2003/04. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2004. 47 p. (INPE-107191-RPQ/759).

SÁ, J.C.M. Manejo de nitrogênio na cultura de milho no sistema plantio direto. Passo Fundo: Aldeia Norte Editora, 1996. 24p.

Santos Filho B. G. (1984) Parâmetros biofísicos e fisiológicos associados à economia da água em plantas de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) submetidas à estresse hídrico. Tese de Doutorado, Instituto de Biologia, UNICAMP, 158 p.

Santos, D.H. Adubação fosfatada no plantio da cana-de-açúcar a partir de torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel. Dissertação de Mestrado, UNIOESTE, Presidente Prudente, 2009, 36p.

São Paulo State Government, Decreto Nº 50.889, de 16 de junho de 2006. Dispõe sobre a manutenção, recomposição, condução da regeneração natural e compensação da área de Reserva Legal de imóveis rurais no Estado de São Paulo e dá providências correlatas. São Paulo. Available in: <www.cetesb.sp.gov.br/licenciamento/legislacao/estadual/decretos/2006_Dec_Est_50889.pdf>. Access in: 16 de set. 2008.

São Paulo State Government, Lei n. 6.171, de 04 de julho de 1988. Dispõe sobre o uso, conservação e preservação do solo agrícola. São Paulo. Available in: <sigam.ambiente.sp.gov.br/Sigam2/legisla%C3%A7%C3%A3o%20ambiental/Lei%20Est%201988_06171.pdf>. Access in: 16 de set. 2008.

São Paulo State Government, Lei n. 997, de 31 de maio de 1976. Dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente. São Paulo. Available in: <www.ambiente.sp.gov.br/uploads/arquivos/legislacoesambientais/1976_Lei_Est_997.pdf>. Access in: 16 set. 2008.

São Paulo State Government, LEI Nº 12.183, DE 29 DE DEZEMBRO DE 2005. Dispõe sobre a cobrança pela utilização dos recursos hídricos do domínio do Estado de São Paulo, os procedimentos para fixação dos seus limites, condicionantes e valores e dá outras providências. São Paulo. Available in: <www.ana.gov.br/cobrancauso/_ARQS-legal/Geral/Legislacoes%20Estaduais/SP/Lei-12183-05.pdf>. Access in: 16 de set. 2008.

São Paulo State Government, Resolução nº 382, de 26 de dezembro de 2006. Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas. São Paulo. Available in: <www.mp.rs.gov.br/areas/ambiente/arquivos/boletins/bola_leg01_07/ib382.pdf>. Access in: 16 de set. 2008.

São Paulo State Government, Resolução SMA 42, de 14 de outubro de 2006. Licenciamento ambiental prévio de destilarias de álcool, usinas de açúcar e unidades de fabricação de aguardente. São Paulo. Available in: <www.milare.adv.br/ementarios/legislacao2006.pdf>. Access in: 16 de set. 2008.

São Paulo State Government,. Lei n. 11.241, de 19 de Setembro de 2002. Dispõe sobre a eliminação gradativa da queima da palha da cana-de-açúcar e dá providências correlatas. São Paulo. Available in: <sigam.ambiente.sp.gov.br/sigam2/Legisla%C3%A7%C3%A3o%20Ambienta/Lei%20Est%202002_11241.pdf>. Access in: 16 de set. 2008.

SCARPARI, M. S. PREDPOL: Um modelo de previsão da maturação da cana-de-açúcar visando planejamento otimizado. Piracicaba, 2007. 120p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

Seabra, J. E. A., 2008, Análise de opções tecnológicas para uso integral da biomassa no setor de cana-de-açúcar e suas implicações. Tese de Doutorado Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

Seabra, J.E.A., 2008. Avaliação técnico-econômica de opções para o aproveitamento integral da biomassa de cana no Brasil. Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Unicamp. 274p. Tese (doutorado).

SEARCHINGER, T., HEIMLICH, R., HOUGHTON R.A., DONG, F., ELOBEID, A., FABIOSA J. Use of US croplands for biofuels increases greenhouse gases through emissions from land-use change. *Science* 319:1238–1240 (2008).

Shuttleworth W. J., Wallace J. S. (1985) Evaporation from sparse crops-an energy combination theory. *Quarterly Journal Royal Meteorological Society*, 11: 839-855.

Silva, E., 2009. Análise dos Leilões de Energia Elétrica. Assoc. Bras. De Geradoras Termoelétricas. Agosto 2009. www.abrajet.com.br.

Silva, M.A.L. Rezende, C.E. Behavior of Selected Micro and Elements and Organic Matter in Sediments of a Freshwater System in South-East Brazil. *The Science of the Total Environment*. 282, 121-128, 2002.

Silvestrin, C.R. Bioeletricidade, potencial desafios e oportunidades. In: 7 Congresso Brasileiro de Agribusiness, São Paulo, Agosto de 2008.

SMASP, Assessment of greenhouse gas emission in the production and use of fuel ethanol in Brazil, (autores: Macedo, I.C., Lima Verde Leal, R., Silva, J.E.A.R.), Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo, São Paulo, 2004.

Smeets, E. et al. Sustainability of Brazilian bio-ethanol, Report NWS-E-2006-110, Copernicus Institute/Utrecht University, Universidade Estadual de Campinas, Utrecht/Campinas, 2006.

Smeets, E.; Junginger, M.; Faaij, A.; Walter, A.; Dolzan, P.; Turkenburg, W., 2008; The sustainability of Brazilian ethanol—an assessment of the possibilities of certified production. *Biomass and Bioenergy*, v. 32, n. 8, p. 781 – 813.

- Souza, I.C., Impacto das perdas industriais no lucro da agroindústria sucroalcooleira, 27ª Reunião Anual da Fermentec, São Pedro
- Souza, Sérgio Antônio Veronez de. 2005. In: Macedo, Isaias de Carvalho; Several Authors, 2005. Sugarcane's Energy – Twelve studies on Brazilian sugarcane agribusiness and its sustainability. São Paulo.
- Sparovek, G. Schnug, E. Soil Tillage and Precision Agriculture a Theoretical Case Study for Soil Erosion Control in Brazilian Sugar Cane Production. Soil & Tillage Research. 61, 47-54, 2001.
- Steinberg S. L., van Bavel C. H. M., McFarland M. J. (1989) A gauge to measure mass flow rate of sap in stems and trunk of woody plants, Journal Amer. Soc. Hort. Sci, 143 (3): 466-472.
- Stewart J. B. (1977) Evaporation from the wet canopy of a Pine forest. Water Resources Research 13(6): 915-921.
- Stewart J. B. (1984) Measurement and prediction of evaporation from forested and agricultural catchment. Agricultural Water Management 8: 1-28.
- Stewart J. B. (1988) Modelling surface conductance of pine forest. Agricultural and Forest Meteorology 43: 19-35.
- Szakács, G.G.J. 2003. Avaliação das potencialidades dos solos arenosos sob pastagens, Anhembi – Piracicaba/SP. Piracicaba, 2003. Dissertação (mestrado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura.
- TANIMOTO, O.S. Plantio direto de soja sobre a palhada de cana-de-açúcar. Revista Plantio Direto, edição n. 70 – jul/ago 2002. p.14-15.
- TANIMOTO, O.S.; BOLONHEZI, D. Plantio direto de soja sobre palhada de cana-de-açúcar. Campinas: CATI, 2002, 18p.
- Teixeira Filho J. (1995) Analyse et modélisation du fonctionnement hydrique d'un écosystème forestier méditerranéen - Spatialisation a l'échelle du bassin versant - Tese de Doutorado da Université de Montpellier II Science et Technique du Languedoc, 312 p.
- Teixeira Filho J., Rambal S., Lacaze B., Lointier M. (1995) Mapping maximal canopy transpiration over a Mediterranean watershed. Progress in Environmental Remote Sensing Research and Application, Proceedings of the 15th EARSeL Symposium, 379-384.
- Tenorio Barros, Rosa Maria and Callado Nelia Henriques. 2007. "Water Reuse in a sugar-ethanol industry in Alagoas". 24º Brazilian Congress of Sanitary and Environment Engineering. Belo Horizonte/MG.
- The House of Commons, "Are biofuel sustainable?", First Report of Session 2007–08, Environmental Audit Committee, London, 2008.

TILMAN D., HILL, J., LEHMAN, C., Carbon-Negative Biofuels from Low-Input High-Diversity Grassland Biomass. *Science*, V314, N1598 (2006), December 2006

Timm, L.C. Reichardt, K. Oliveira, J.C.M. Cassaro, F.A.M. Tominaga, T.T. Bacchi, O.O.S. Dourado-Neto, D. Sugarcane Production Evaluated by State-Space Approach. *Journal of Hydrology*. 272, 226-237, 2003.

Titon, M., C.O. Da Ros, C. Aita, S.J. Giacomini, E.B. Do Amaral and M.G. Marques, 2003. Produtividade e acúmulo de nitrogênio no milho com diferentes épocas de aplicação de N-uréia em sucessão a aveia preta. In: XXIX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2003, Ribeirão Preto – SP.

Trumbore, S. 1993. Comparison of carbon dynamics in tropical and temperate soils using radiocarbon measurements. *Global Biogeochemical Cycles*, Washington, v.7, pp. 75-290. In: Silveira, A.M., Victoria, R.L., Ballester, M.V., De Camargo, P.B., Martinelli, L.A. and Piccolo, M.C., 2000. Simulação dos efeitos das mudanças do uso da terra na dinâmica de carbono no solo na bacia do rio Piracicaba. *Revista Pesquisa. agropecuária. brasileira*, Brasília 35: 389-399.

Tufaile Neto, M.A. Characterization of sugar cane trash and bagasse, in Biomass power generation: sugar cane bagasse and trash, Hassuani, S.J. et al. organizadores, CTC, Piracicaba, 2005, 216p.

UNEP, Working papers 2007, United Nations Environmental Program, 2008, disponível em www.unep.org, acessado em março de 2008.

UNFCCC, 2004. CDM Executive Board. Approved consolidated baseline methodology ACM0002. "Consolidated baseline methodology for grid-connected electricity generation from renewable sources", version 1, 3 September 2004. www.cdm.unfccc.int.

União da Agroindústria Canavieira do Estado de São Paulo, São Paulo, 2005.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DA CANA-DE-AÇÚCAR - UNICA - UNICA Comments on California's Low Carbon Fuel Standard. Disponível em www.unica.com.br.

União da Indústria de Cana-de-açúcar – UNICA, 2008. www.unica.com.br. Brazil.

Unica, 2008. Estimativa da Safra 2008/2009. Available in <http://www.unica.com.br/noticias/show.asp?nwsCode={8ACECE47-BD9D-4D82-9BFF-5ABCCD9C5953}>. São Paulo

Unica, 2008. Protocolo Agroambiental do Setor Sucroalcooleiro. Available in www.unica.com.br/content/show.asp?cntCode={BEE106FF-D0D5-4264-B1B3-7E0C7D4031D6}>. São Paulo.

Unica, 2009. União da Indústria da Cana-de-açúcar. www.unica.com.br.

United Nation Conference on Trade and Development, 2006, The Emerging Biofuels Market: Regulatory, Trade and Development Implications, found at http://www.unctad.org/en/docs/ditcted20064_en.pdf, visited on 14 September 2007.

United Nations, Our common future, World Commission on Environment and Development, New York, 1987.

United States Department of Agriculture - USDA. www.usda.gov. United States.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). Draft regulatory impact analysis: changes to renewable fuel standard program. EPA-420-D-09-001. May 2009.

USDA, Data and Statistics, United State Department of Agriculture, 2008, disponível em www.usda.gov, acessado em julho de 2008.

VALIN, H. Modeling land use change in a CGE model: the experience from CEPII-IFPRI with MIRAGE. CEPII, IFPRI. Prepared for the workshop on "Marginal yields and land allocation in ILUC emissions estimates", Brussels, 22-7-2009.

Van Dam, J.; Junginger, M.; Faaij, A.; Jurgens, I.; Best, G.; Fritsche, U. 2006. Overview of recent developments in sustainable biomass certification. IEA Bioenergy Task 40. 40p.

van den Wall Bake, J.D., Junginger, M., Faaij, A., Poot, T., Walter, A., 2009. Explaining the experience curve: Cost reductions of Brazilian ethanol from sugarcane. *Biomass and Bioenergy*; 33: 644-658.

VELDKAMP, A., VERBURG P.H., Modeling land use change and environmental impact. *Journal of Environmental Management* 72, 1-3, April 2004.

Venture Partners do Brasil (VPB), 2008. VPB analysis of sugarcane future scenarios. São Paulo, SP, Brazil, 14 pp.

Vieira D. B. (1982) Avaliação da interceptação hidrológica e do efeito da vinhaça em cana-de-açúcar (*Saccharum spp*). Tese apresentada a Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) para a obtenção do título de Livre Docente, 124 p.

Vignes E.C. 1980. "The implications of cane washing". *Proc. Int.Soc. Sugar Cane Echnol.* 17,2221-2230.

Vitti, G. C. ; Mazza, Jairo Antonio ; Quintino, Thiago Aristides ; OTTO, Rafael. Nutrição e adubação. In: Tomaz Caetano Cannavam Ripoli; Marco Lorenzo Cunalí Ripoli; Dumas Vicenti Casagrandi; Bernardo Yasuhiro Ide. (Org.), 2006. *Plantio de cana-de-açúcar: estado da arte*. 1 ed. Piracicaba: T.C.C. RIPOLI,, v. , p. 102-144. Piracicaba.

- Walton, R.S. Volker, R.E. Bristow, K.L. Smettem, K.R.J. Examination of Solute Transport by Surface Runoff From Low-Angle Slopes. *Journal of Hydrology*. 233, 19-36, 2000.
- Wiegand C. L., Richardson A. J. (1990) Use of spectral vegetation indices to infer leaf area, evapotranspiration and yield. *Agronomy Journal* 82: 623-629.
- Wigmosta M. S., Lance W. V., Lettenmaier J. (1994) A distributed hydrology-vegetation model for complex terrain. *Water Resources Research*, vol. 30 (6): 1665-1679.
- WOLTJER, G. Tackling the tension between localized land in land allocation models and CGE modeling. LEI Wageningen. Prepared for the workshop on "Marginal yields and land allocation in ILUC emissions estimates", Brussels, 22-7-2009.
- WOOLDRIDGE J. M., *Econometric Analysis of cross section and panel data*. London. MIT press, 2002.
- WWF. 2002. Oil Palm Plantations and Deforestation in Indonesia. Disponível em <http://assets.panda.org/downloads/oilpalmindonesia.pdf>
- Yule D., Radford B., Controlled traffic farming. QPI14, case study 9, Queensland Department of Primary Industries, Rockhampton, Austrália, 2003.
- ZIMMER, A. H.; EUCLIDES, F. K. As pastagens e a pecuária de corte brasileira. In: *Simpósio Internacional sobre produção animal em pastejo*, 1997. ANAIS, Viçosa.
- Zimmermann M. H. (1983) Xylem structure and the ascent of sap. Springer series in Wood Science, Springer-Verlag, 143 p.
- Zuurbier, P, van de Vooren, J. (editors). *Sugarcane ethanol: Contributions to climate change mitigation and the environment*. Wageningen Academic Publishers, The Netherlands, 2008. 255 p.

GRUPO DE TRABALHO

PARTICIPANTES

INSTITUIÇÃO

Dr. Luís Augusto Barbosa Cortez, Executor	FEAGRI/NIPE/UNICAMP
Dr. André Tosi Furtado	IG/NIPE/UNICAMP
Dr. Arnaldo Cesar da Silva Walter	FEM/NIPE/UNICAMP
Dr. José Teixeira Filho	FEAGRI/UNICAMP
Dr. Gilberto De Martino Jannuzzi	FEM/NIPE/UNICAMP
Dr. Heitor Cantarella	APTA
Dr. Isaias de Carvalho Macedo	NIPE/UNICAMP
Dr. Joaquim Seabra	NIPE/UNICAMP
Dr. Luiz Augusto Horta Nogueira	UNIFEI
Dr. Manoel Regis Lima Verde Leal	CENEA/CTBE
Doutorando Marcelo Pereira da Cunha	NIPE/UNICAMP
Dr. Marco Aurélio Pinheiro Lima	CTBE
Dr. Paulo S. Graziano Magalhães	FEAGRI/NIPE/UNICAMP
Dra. Raffaella Rossetto	APTA
Dr. Rogério Cezar de Cerqueira Leite	NIPE/UNICAMP
Dra. Silvia Azucena Nebra	NIPE/UNICAMP
Dr. Weber Antônio Neves do Amaral	ESALQ/USP

INSTITUIÇÕES ENVOLVIDAS

UniSoma Matemática para Produtividade S.A

ICONE (Instituto de Estudos do Comércio e Negociações Internacionais)

SUPORTE

Isis Maria Ditrich Demário Fujii	CTBE
Rodolfo Dourado Maia Gomes	NIPE/UNICAMP

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	i
RESUMO EXECUTIVO	i
OE1. ESTUDO DOS NEXOS AGRO-ECOLÓGICOS LOCAIS DA PRODUÇÃO DE ETANOL DE CANA-DE-AÇÚCAR	1
1.1 Caracterização das possíveis condições de produção de bio-etanol em 2015 e 2025, consideradas as novas tecnologias agrícolas	1
1.1.1 Introdução	1
1.1.2 Aspectos relacionados à produção de cana-de-açúcar	5
1.1.2.1 Identificação dos parâmetros relevantes.....	5
1.1.2.2 Levantamento dos valores de referência.....	10
1.1.2.3 Estimativas dos valores prospectivos em 2015	20
1.1.3 Aspectos relacionados ao processamento da cana-de-açúcar	27
1.1.3.1 Identificação dos parâmetros relevantes.....	27
1.1.3.2 Levantamento dos valores de referência.....	29
1.1.3.3 Estimativas dos valores prospectivos em 2015	36
1.1.3.4 Estimativas dos valores prospectivos em 2025	38
1.2 Comentários sobre a "renovabilidade" efetiva dos combustíveis	42
1.2.1 Introdução	42
1.2.2 Energias renováveis e sustentabilidade: fundamentos e conceitos	43
1.2.3 Certificação e sustentabilidade na agroindústria do bioetanol (BNDES, 2008, resumido)	47
1.3 Sustentabilidade dos Recursos Hídricos em Bacias Hidrográficas com Cobertura Predominante de Cana-de-Açúcar	49
1.3.1 Sustentabilidade dos Recursos Hídricos	49
1.3.2 Balanço Hídrico	52
1.3.3 Modelagem do balanço hídrico proposta para as áreas de cultura de cana-de-açúcar	55
1.3.4 Conclusão	58
1.4 Estudo das formas de redução do consumo de água nas fases agrícola e industrial	58
1.4.1 Objetivo.....	58
1.4.2 Introdução	59
1.4.3 A sustentabilidade e o uso de água.....	60
1.4.3.1 Sustentabilidade.....	60
1.4.3.2 Necessidades de água	61
1.4.3.3 Limites ou disponibilidade de água.....	63
1.4.3.4 Legislação de uso da água	66
1.4.3.5 Cobrança e Legislação no Estado de São Paulo	67
1.4.3.6 Legislação referente ao descarte de efluentes	68
1.4.4 Fase agrícola	68
1.4.5 Fase industrial	69
1.4.5.1 Revisão da Literatura: o reúso e a qualidade da água.....	69
1.4.5.2 Algumas soluções para a redução de consumo industrial de água	72
1.4.5.3 Modelagem: Potencial de Redução de Consumo de Água numa Usina Sucroalcooleira	74
1.4.6 Conclusões	84
1.5 Uso de fertilizantes na cultura da cana-de-açúcar	85

1.5.1	Avaliação das necessidades de nutrientes para a produção de cana-de-açúcar e quantidade e tipos de fertilizantes e corretivos efetivamente empregados na cultura	85
1.5.2	Formulações de fertilizantes mais comuns para a cana-de-açúcar	91
1.6	Suprimento de fertilizantes, corretivos e matérias-primas	96
1.6.1	Análise da dependência de importação e da evolução do mercado internacional de fertilizantes	98
1.6.2	Culturas e países que mais consomem fertilizantes no mundo.....	102
1.6.3	Estoques de matérias primas para a produção de fertilizantes.....	105
1.6.4	Comentários	111
1.7	Fixação biológica de Nitrogênio	112
1.8	Uso de resíduos agro-industriais para o suprimento de nutrientes em cana-de-açúcar	114
1.8.1	Aspectos gerais.....	114
1.8.2	A geração de resíduos.....	114
1.8.3	Resíduos sólidos: bagaço	116
1.8.4	Fuligem e cinzas de caldeira	117
1.8.5	Torta de filtro	118
1.8.6	Palhada.....	122
1.8.7	Resíduos líquidos	122
1.8.8	Outros resíduos urbanos e agroindustriais utilizados na cultura da cana-de-açúcar	134
1.8.9	Potencial de reciclagem de nutrientes	136
1.8.10	Cenários para o potencial de nutrientes reciclados pelos resíduos da cadeia sucroalcooleira.....	140
1.8.11	Considerações finais sobre reciclagem de nutrientes pelos resíduos.....	143
OE2.	ANÁLISE DAS TRAJETÓRIAS SÓCIO-ECONÔMICO-AMBIENTAIS DA PRODUÇÃO DE ETANOL DE CANA-DE-AÇÚCAR	144
2.1	Estudo dos sistemas de produção associados à cana.....	144
2.1.1	Metodologia – análise de insumo-produto.....	145
2.1.2	Resultados	151
2.2	Exame da integração da expansão em grande escala da produção e uso do bioetanol com a produção de alimentos (açúcar, grãos), e com a atividade pecuária (carne).....	154
2.2.1	Expansão da produção de cana-de-açúcar	154
2.2.2	Estudo das dinâmicas de integração do bioetanol e pecuária no Brasil	162
2.2.2.1	Considerações Técnicas.....	164
2.2.2.2	Representação da Dinâmica de Planejamento da Integração Cana, Grãos, Bioetanol, Energia e Pecuária	167
2.2.2.3	A integração da cana-de-açúcar com a produção anual de grãos	176
2.2.2.4	Modelo Matemático para Manejo Bovino	178
2.2.2.5	Comentários Finais	181
2.3	Apreciação da integração da produção em grande escala de bioeletricidade e de insumos industriais no sistema produtivo açúcar – álcool tradicional.....	181
2.3.1	Análise de Custo Energético do processo de produção de energia elétrica, açúcar e etanol	181
2.3.1.1	Custo energético	182
2.3.1.2	Casos analisados	187
2.3.1.3	Volumes de controle adotados para a análise	189
2.3.2	Resultados e Discussão	202

2.4 Mapeamento das trajetórias de indicadores críticos selecionados – tecnológicos, econômicos, sociais e ambientais – da produção e uso do bioetanol ao longo dos últimos 30 anos	211
2.4.1 Indicadores tecnológicos	211
2.4.2 Indicadores sociais	214
2.4.2.1 Indicadores sociais agregados por Unidades Territoriais	214
2.4.2.2 Indicadores de Nível e Qualificação do Emprego	217
2.4.3 Indicadores ambientais	221
2.4.4 Síntese dos Indicadores de Sustentabilidade.....	223

OE3. SUBSÍDIOS PARA A AGENDA NACIONAL E INTERNACIONAL DE CERTIFICAÇÃO DE PRODUTOS E DE PROCESSOS PRODUTIVOS DO BIOETANOL..... 227

3.1 Levantamento das iniciativas atuais, nacionais e internacionais, de certificação.....	227
3.1.1 Introdução	227
3.1.2 Critérios e Indicadores de Sustentabilidade de Biocombustíveis.....	228
3.1.2.1 Diretiva do Parlamento Europeu	228
3.1.2.2 Carlifornia Air Resources Board (CARB): Low Carbon Fuel Standard (LCFS)	231
3.1.2.3 EPA – Environmental Protection Agency: Renewable Fuel Standard 2 (RFS2)	234
3.1.2.4 Roundtable on Sustainable Biofuels (RSB)	237
3.1.2.5 Cramer Report	240
3.1.2.6 Global Bioenergy Partnership (GBEP)	243
3.1.2.7 Better Sugarcane Initiative (BSI).....	244
3.1.3 Iniciativas Nacionais	245
3.1.3.1 Iniciativa de Certificação do INMETRO	245
3.1.3.2 Zoneamento Agroambiental em São Paulo	245
3.1.3.3 Compromisso Ambiental de Melhores Práticas	246
3.1.3.4 Zoneamento Agroecológico Nacional	247

3.2 Sugestão Para o Desenvolvimento de Critérios e Indicadores de Sustentabilidade.....	247
--	------------

3.3 Comentários Finais	250
-------------------------------------	------------

OE4. ESTUDO DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NA CADEIA PRODUTIVA DE BIOETANOL DE 1ª E 2ª GERAÇÃO' 251

4.1 Introduction	251
4.2 Sugarcane ethanol sustainability: summary of the state of the art.....	253
4.2.1 “Environmental sustainability of sugarcane ethanol in Brazil”	253
4.2.2 “Prospects of the sugarcane expansion in Brazil: impacts on direct and indirect land use changes”	258
4.2.3 “Mitigation of GHG emissions using sugarcane bioethanol”	262
4.3 LCA database update	267
4.4 By-product credits	272
4.5 Efeitos Indiretos da Mudança no uso da terra (Indirect Land Use Change)	275
4.5.1 Introdução	275
4.5.2 Colaboração institucional.....	275

4.5.3	Avaliação das Metodologias Utilizadas.....	277
4.5.4	Modelo Conceitual para Mensurar ILUC	280
4.5.5	Desenvolvimentos Implementados	282
4.5.6	Compatibilidade do BLUM com Outros Modelos	284
4.5.7	Necessidade de Melhorias Identificadas.....	285
4.5.8	Conclusões e Sugestões de Pesquisa	286
4.6	Carbon and other Green House Gases (GHGs) datasets and suggestions on a long term transdisciplinary research agenda	288
4.6.1	Introduction	288
4.6.2	Sustainability and research drivers for sugarcane production systems.....	289
4.6.3	Benchmark of Brazilian research initiatives on ethanol	290
4.6.4	Regulatory and new environmental frameworks for sugarcane in Brazil.....	293
4.6.5	Carbon data and other Green House Gases (GHGs) for Brazil.....	295
4.6.6	The need of a transdisciplinary research: contributions to a research agenda	297
4.6.7	The current and future role of biotechnology on ethanol production systems and regulatory frameworks.....	302
4.6.8	Other critical issues for improving ethanol productivity and sustainability	302
4.6.9	Concluding remarks.....	304
5.	REFERÊNCIAS	306

Introdução

O Projeto “Subsídios Técnicos Para a Agenda Brasileira de Bioetanol; Etanol – Sustentabilidade” tem por objetivo geral o estudo sobre o tema sustentabilidade da produção de etanol de cana-de-açúcar, no que diz respeito aos nexos agro-ecológicos locais, às trajetórias sócio-econômico-ambientais da produção de cana, à certificação de produtos e de processos produtivos e às emissões de gases de efeito estufa na sua cadeia produtiva.

Resumo Executivo

OE1. Estudo dos nexos agro-ecológicos locais da produção de etanol de cana-de-açúcar

1.1. Caracterização das possíveis condições de produção de bioetanol em 2015 e 2025

Breve descrição da situação atual do setor sucroalcooleiro e a produção de açúcar e etanol levando-se em conta a evolução do setor e os avanços tecnológicos ocorridos nos últimos 30 anos.

1.1.1. Aspectos relacionados à produção de cana-de-açúcar

Identificação dos parâmetros relevantes. É apresentada a identificação dos parâmetros relevantes para a descrição das condições produtivas na etapa agrícola através da definição dos contextos de produção, estimativas de produtividade, de demanda de insumos e de produção de resíduos/subprodutos tratando seus principais aspectos de sustentabilidade. Foram apresentados e discutidos os principais avanços tecnológicos conseguidos na área agrícola que contribuíram para o incremento da produção de biomassa, as alterações no processo de cultivo e preservação ambiental (solo e recursos hídricos).

Levantamento dos valores de referência. Os parâmetros indicadores, representativos do contexto atual, com ênfase no sistema de plantio de cana e sua implicação no ambiente de produção (solo, uso e preservação), a situação do sistema de CTC (corte, carregamento e transporte da cana), recuperação da palha para fins energéticos e sequestro de carbono, e o aproveitamento dos resíduos/subprodutos da indústria de álcool e açúcar.

Estimativas dos valores prospectivos em 2015 e 2025. Obedecendo aos subitens apresentados na seção anterior, trata das estimativas dos valores prospectivos em 2015 e 2025 para os parâmetros indicadores, representativos das condições futuras.

1.1.2. Aspectos relacionados ao processamento da cana-de-açúcar

Identificação dos parâmetros relevantes. Considerando as relações entre o processo industrial e o meio ambiente, a identificação dos aspectos tecnológicos

que mais contribuíram para a redução do impacto ambiental da agroindústria do etanol são apresentados e discutidos.

Levantamento dos valores de referência. Reflete as condições médias das usinas da região Centro-Sul, indicando como a tecnologia industrial tem evoluído nos últimos dez anos, como vem sendo incorporada às unidades industriais e quais as novas tendências em pauta, caracterizando os diversos dilemas tecnológicos vivenciados nesse setor. Essas possibilidades representam a pauta de tecnologias em uso ou em estágio pré-comercial e não correspondem as tecnologias em pesquisa ou ainda em desenvolvimento.

Estimativas dos valores prospectivos em 2015. Considerando que as unidades que deverão entrar em operação nesse período estarão muito provavelmente empregando as melhores tecnologias atualmente disponíveis, as variações possíveis são relativamente pequenas, no entorno dos valores máximos observados hoje em dia, cujos indicadores deverão ser coerentes com os melhores valores atualmente disponíveis. Embora existam no horizonte diversas tecnologias, como a hidrólise de celulose e a gasificação de biomassa, é difícil imaginar que estejam disponíveis em escala comercial até 2015.

Estimativas dos valores prospectivos em 2025. Para estabelecer uma configuração provável para a agroindústria do etanol em 2025, se comenta separadamente a evolução incremental dos processos convencionais, como efetuado no tópico anterior, onde as incertezas são aparentemente menores, discutindo-se em seguida as perspectivas mais inovadoras e revolucionárias, particularmente considerando a introdução dos processos de valorização de materiais celulósicos e efluentes industriais, seja para produção de biocombustíveis líquidos, seja para geração de energia elétrica.

1.2. Comentários sobre a "renovabilidade" efetiva dos combustíveis

Revisão dos conceitos de renovabilidade com levantamento de indicadores e exemplos de aplicação no âmbito das bioenergias e em particular dos biocombustíveis. Subdividido em:

1- Energias renováveis e sustentabilidade: fundamentos e conceitos.

2- Certificação e sustentabilidade na agroindústria do bioetanol: Aspectos relacionados às dificuldades de implementação de sistemas de certificação para biocombustíveis são apresentados, pois o sistema ainda não dispõe ainda de um arcabouço legal internacional para sua sustentação, não obstante tais sistemas serem eventualmente necessários no âmbito dos compromissos de mitigação da mudança climática, proteção à biodiversidade e tratados comerciais.

1.3. Sustentabilidade dos Recursos Hídricos em Bacias Hidrográficas com Cobertura Predominante de Cana-de-Açúcar

Foi desenvolvida uma conceituação global das interações da água com os ecossistemas para demonstrar que as Mudanças Climáticas terão impactos diretos com as bacias hidrográficas, assim como a interação das mudanças de uso do solo com a hidrologia. Os aspectos da importância da preservação dos recursos hídricos

na sustentabilidade de uma atividade econômica como a cultura da cana de açúcar foram também ressaltados tanto pelo aspecto da exaustão dos recursos como pelos aumentos dos custos, que inviabilizariam seu uso econômico. Os impactos nos índices sociais, como o Índice de Desenvolvimento Econômico (IDH) e Índice de Pobreza Humana (IPH) foram apontados.

No tópico de Balanço Hídrico foi desenvolvida uma conceituação básica e apresentados alguns parâmetros quantitativos para o caso da cana de açúcar, com dados da literatura técnica. A importância da interceptação da chuva e a transpiração vegetal na cultura da cana de açúcar foi abordada.

O ponto chave da modelagem do balanço hídrico proposta para as áreas de cultura de cana de açúcar foi a modelagem da interface folha/atmosfera, o scale up da folha para a cobertura vegetal e da cobertura vegetal para a bacia hidrográfica. Apesar de existirem modelos de variados graus de sofisticação a carência de dados experimentais (foram levantados alguns experimentos na literatura) vai dificultar a aplicação desta modelagem para o caso específico da cultura de cana de açúcar.

1.4. Estudo das formas de redução do consumo de água nas fases agrícola e industrial

A produção de cana-de-açúcar no Brasil é principalmente irrigada pela chuva. Dessa maneira, há menor uso da água para irrigação. Entretanto, o uso da irrigação está aumentando com a crescente demanda pela incorporação de novas áreas de cana no Centro-Sul do Brasil. Além da fase de produção agrícola, o processamento industrial é um grande demandante de recursos hídricos.

No entanto, preconiza-se, para atender a produção de cana-de-açúcar com critérios de sustentabilidade, uma mudança significativa das tecnologias e processos atualmente empregados. Essa mudança passa pela adoção do plantio direto, colheita da cana crua, utilização de estruturas de tráfego controlado, incorporação da palha no campo, processos intrinsecamente ligados.

O uso de água no processo industrial de produção de etanol é um dos elementos-chave para atingir maiores índices de sustentabilidade no uso deste biocombustível em grande escala. No estado de São Paulo, a indústria sucroalcooleira seria responsável por aproximadamente 23% da demanda de água do setor industrial, encontrando-se valores de captação entre a faixa de 1,83 e 5,50 m³/t de cana moída, mostrando uma grande variação nas práticas de gerenciamento. No entanto, novas resoluções aprovadas no Estado (Resolução SMA - 88, de 19-12-2008) efetuam uma classificação das regiões do Estado, e admitem, para novos empreendimentos um máximo de 1 m³/t de cana moída, nas regiões consideradas adequadas, sem restrições, sendo de somente 0,7 m³/t nas regiões adequadas com restrições.

Uma simulação incluindo balanço de massa e energético com otimização da utilização da energia e re-utilização dos fluxos de água foi realizada para uma usina que utiliza 50% dos açúcares presentes na cana para produção de açúcar e os outros 50 % para etanol. Esta modelagem possibilitou prever que seria possível chegar a uma captação externa de apenas 0,309 m³/t cana através da incorporação de tecnologias já conhecidas. Se ainda a água contida na vinhaça for parcialmente recuperada é possível chegar na meta de captação zero.

1.5. Uso de fertilizantes para a cana-de-açúcar

São apresentados dados sobre as quantidades de fertilizantes requeridas e efetivamente utilizadas pela cana-de-açúcar, em comparação com outras culturas agrícolas no Brasil e também com culturas produtoras de biocombustíveis em outros países. A cana-de-açúcar é a terceira cultura que mais consome fertilizantes no Brasil, após a soja e o milho, respondendo por cerca de 17% do consumo. Esta participação deve crescer nos próximos anos pois as projeções existentes indicam que a área com cana-de-açúcar deve aumentar mais do que a com as culturas de grãos.

1.6. Suprimento de fertilizantes, corretivos e matérias primas

Nesse item foi apresentado um panorama da situação mundial de produção de fertilizantes e localização de jazidas. Estão também relacionadas as principais jazidas brasileiras de minérios para produção de fertilizantes. O Brasil importou, em 2008, 73% do N, 46% do P e 92% do K usado na agricultura. A redução da dependência externa depende da disponibilidade de insumos e de investimentos em prospecção, extração e processamento. O Brasil tem reservas satisfatórias de P. Para o K, as reservas minerais são mais limitadas ou estão em áreas de difícil exploração a preços atuais, mas, é possível aumentar a produção interna. No caso do N, a limitação é o suprimento de gás natural ou outro derivado de petróleo; o problema pode ser resolvido em médio prazo. De qualquer modo, atualmente apenas 2,4% dos fertilizantes no mundo são consumidos com culturas destinadas à produção de biocombustíveis, ou seja, eventuais crises de suprimento e elevação de preços afetarão primeiramente as culturas destinadas à produção de alimentos. Com base nas reservas mundiais de gás natural, P e K, não se prevê escassez de fertilizantes em um futuro próximo.

1.7. Fixação biológica do nitrogênio

Foi apresentado o estado da arte da pesquisa em fixação biológica de N em cana-de-açúcar e das perspectivas de avanço dessa técnica. O efeito prático para a cana-de-açúcar em curto prazo ainda é uma incógnita.

1.8. Uso de resíduos agro-industriais para o suprimento de nutrientes em cana-de-açúcar

Os principais resíduos da indústria sucroalcooleira foram caracterizados e estimados. A alta taxa de ciclagem de nutrientes através do uso de resíduos em cana-de-açúcar já tem importância prática atualmente, mas, ainda pode ser melhorada. As quantidades de resíduos e de nutrientes reciclados que serão produzidas até 2022 foram estimadas levando em consideração dois cenários, um conservador e um otimista.

OE2. Análise das trajetórias sócio-econômico-ambientais da produção de etanol de cana-de-açúcar

Nessa fase do trabalho buscou-se explorar ferramentas analíticas que possibilitem descrever o sistema produtivo do etanol baseado na cana-de-açúcar no intuito de extrair instrumentos de medição da sustentabilidade sócio-econômica e ambiental dessa atividade produtiva.

2.1. Estudo dos sistemas de produção associados à cana

Na primeira parte do estudo, usando-se um modelo de insumo-produto para captar os efeitos diretos e indiretos em todo o sistema econômico, avaliou-se indicadores da produção de cana-de-açúcar e de etanol no Brasil relativos aos anos de 1975 e 2005. Foram quantificados indicadores referentes ao multiplicador de produção, PIB setorial, empregos, remuneração, energia incorporada e emissões de CO₂ devido ao uso de combustíveis fósseis. A quantificação foi feita, também, para a produção de gasolina. Para a produção do mesmo volume de etanol, observa-se, comparando-se os resultados de 2005 com 1975, a redução de 54% no número de empregos gerados, o aumento de 44% na remuneração dos trabalhadores e uma manutenção da energia renovável incorporada em torno de 94%. Comparando-se os indicadores do etanol com a gasolina em 2005, nota-se que para a mesma produção em termos do conteúdo energético, a produção de etanol gera pouco mais que o triplo de empregos, porém, com uma remuneração por trabalhador 49% inferior. Considerando-se somente as emissões de CO₂ devido à queima de combustíveis fósseis, na substituição de gasolina por etanol (em equivalente energético) a redução seria de 92,8%.

2.2. Exame da integração da expansão em grande escala da produção e uso do bioetanol com a produção de alimentos (açúcar, grãos), e com a atividade pecuária (carne)

A segunda parte do trabalho foi dividida em duas partes: (1) fez-se uma análise sobre as inter-relações entre a cultura da cana-de-açúcar e as demais culturas adotando como unidade espacial de análise o estado de São Paulo, onde se concentra a produção de cana-de-açúcar no país; e (2) exploraram-se os potenciais de integração dos setores sucroalcooleiro, pecuário e lavoura. Para isso, levou-se em conta as tecnologias disponíveis nas usinas (produção de rações e plantio direto nas áreas de reforma), e nas atividades de agropecuária e de carnes.

2.2.1. Expansão da produção de cana-de-açúcar

O recorte temporal adotado foi de 1996 a 2006 e a unidade espacial de análise adotada foi o estado de São Paulo, onde se concentra a produção de cana-de-açúcar no país. Observa-se que a expansão da cana-de-açúcar ocorre de forma extremamente concentrada geograficamente. Embora essa cultura represente apenas 12,7% da área plantada com culturas temporárias no país, em 2007, essa proporção sobe para 66,6% no estado de São Paulo. Essa evolução é ainda expressiva mais quando se desce para o nível das micro-regiões.

Uma análise mais detalhada da área total dos estabelecimentos agrícolas em 2006 revela que a ocupação efetiva da cana é muito mais reduzida, embora 38% dessa área seja ocupada por lavouras permanentes e temporárias no estado de São Paulo, o que representa uma proporção bastante superior à média nacional, que é de apenas 22%.

Ainda no estado de São Paulo, a cana-de-açúcar avançou nas áreas de pastagens ou em áreas novas, havendo pouca substituição absoluta entre culturas. Essa substituição de pastagens, que foi de aproximadamente 47% da expansão da cana, levou a um decréscimo do rebanho bovino no estado. A evolução do uso das áreas por micro-regiões revela uma realidade muito mais complexa. Nem sempre a expansão da área de cana vem acompanhada pelo decréscimo das demais áreas. Para analisar melhor essa micro-evolução dos diferentes usos da terra, fez-se um exercício de correlação entre a evolução da área da cana com as demais culturas, pastagens e matas. Nota-se que apenas para as pastagens existe uma correlação significativa inversa entre o aumento da área ocupada com cana e a redução da área de pastagens nas micro-regiões avaliadas.

2.2.2. Estudo das dinâmicas de integração do bioetanol e pecuária no Brasil

Este item refere-se ao estudo conduzido para explorar os potenciais de integração dos setores sucroalcooleiro, pecuário e lavoura. Para isso, levou-se em conta as tecnologias disponíveis nas usinas (produção de rações e plantio direto nas áreas de reforma), e nas atividades de agropecuária e de carnes.

Objetivamente, foram consideradas as seguintes questões:

(1) Dada uma área de 100.000 hectares ocupada por pecuária de bovinos (recria e engorda) com baixa tecnificação (tipicamente 0,7 unidade animal por hectare), é possível instalar uma destilaria que processa 2 milhões t/ano de cana, ocupando 28.000 hectares desta área, e ainda produzir, com melhor tecnificação da atividade pecuária, a mesma quantidade anual de carne? Mostrou-se que com utilização de suplementação de pastos, confinamento e plantio direto planejado a resposta é positiva.

(2) A resposta positiva ao questionamento (1) pode ser construída com base em cálculos simples em planilhas, envolvendo dados experimentais disponíveis na literatura técnica. Entretanto, uma outra questão é posta: Que metodologia permite análises das interações entre produção do bioetanol, grãos e carne, levando em conta a dinâmica de mudanças tecnológicas e econômicas ao longo do tempo?

Mostrou-se, através de um modelo de programação matemática, desenvolvido especificamente para o contexto deste projeto, a evolução no tempo das atividades de aquisição de bezerros, uso de pastos para recria e engorda, uso de suplementação alimentar, uso de confinamento para engorda e venda de bois gordos. Também foi representada no modelo a composição das rações com utilização de bagaço hidrolisado, bagaço úmido in natura, levedura, suprimento de farelo de soja derivado de soja plantada nos períodos de reforma e também de grãos de milho também de áreas de reforma. Os preços de aquisição de bezerros e de venda de bois gordos são variáveis ao longo do tempo.

A tabela abaixo indica as características de uso de uma área de 100.000 hectares, com 28.000 hectares ocupados com cana, restando 72.000 hectares para pasto (usados para recria e/ou recria e engorda), com percentuais variáveis de bagaço disponibilizado para rações.

Tabela: Indicadores X Disponibilidade de Bagaço

Item										
Bagaço disponível (%)	1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%	9%	10%
Área de Pasto (ha)	72.000	72.000	72.000	72.000	72.000	72.000	72.000	72.000	72.000	72.000
Capacidade Confinado (c.g)	2.425	4.850	7.275	9.699	12.130	14.549	16.974	18.600*	18.600*	18.600*
Capacidade Suplementação (c.g)	3.889	7.778	11.667	15.556	19.450	23.333	27.222	31.111	35.000	38.889
Ocupação Média (U.A./ha)	0,68	0,69	0,71	0,72	0,74	0,76	0,78	0,79	0,79	0,80
Produção de Carne Anual (ton)	14.444	15.450	16.537	17.929	19.325	20.714	22.089	23.104	23.104	23.115
Produção de Carne Média (kg/ha)	200,62	214,58	229,68	249,01	268,40	287,69	306,79	320,89	320,89	321,05
Rentabilidade Média (R\$/ha)	123,69	129,21	134,66	140,04	145,43	150,73	155,97	159,45	159,45	159,45
Idade Média de Abate (meses)	34,49	33,70	32,95	32,14	31,44	30,83	30,29	30,00	30,00	30,01
% de Manejo Tradicional	87,75	76,88	67,45	59,52	52,65	46,67	41,34	38,35	38,35	38,36

* O limitante se dá pela disponibilidade de grãos e não pelo bagaço nestes anos.

2.3. Apreciação da integração da produção em grande escala de bioeletricidade e de insumos industriais no sistema produtivo açúcar – álcool tradicional

Essa terceira parte do trabalho visa à avaliação dos custos de produção no processo produtivo açúcar-álcool tradicional. Os custos de produção de energia elétrica, açúcar e etanol em base energética são calculados. Para este fim uma adaptação da Teoria do Custo Exergético de Lozano e Valero (1993) foi utilizada. Esta teoria, por sua vez, tem uma base similar à metodologia de avaliação *insumo - produto* proposta por Leontief (1986). A metodologia desenvolvida visa responder à questão: *quanto da energia contida na cana-de-açúcar foi necessário utilizar para obter cada um dos produtos da usina?*

A obtenção dos parâmetros correspondentes às plantas sucro-alcooleiras analisadas foi feita através de uma simulação numérica das mesmas, baseada em informações obtidas na literatura e em campo. São analisados dois casos, o primeiro considera uma usina com sistema de cogeração com parâmetros de vapor vivo de 22bar e 300°C (configuração encontrada mais freqüentemente no setor sucroalcooleiro) e o segundo considera um sistema de cogeração com parâmetro de vapor vivo de 67bar e 500°C. Estes dois casos foram selecionados com o objetivo de mostrar as duas situações industriais mais comuns. Os dois casos analisados correspondem à

mesma produção. Foi assumida uma moenda de 500 tcana/h e um consumo de vapor de 456 kgvapor/tcana (228 tvapor/h). Foi também considerado um sistema de evaporação de 5 efeitos e uma eficiência de conversão na fermentação de 89%.

Na análise o sistema de produção é subdividido em unidades menores, cada uma das quais é avaliada como um "centro de custos energéticos", formulando assim uma equação de balanço de custos em cada unidade identificando os produtos e insumos energéticos de cada subsistema. O conceito de custo energético unitário é definido como a quantidade de energia que é necessária para produzir o fluxo em consideração. Para o cálculo dos custos energéticos e custos energéticos unitários nos diferentes subsistemas é utilizada a metodologia da matriz de incidência.

Os subsistemas considerados na análise são: i) Lavagem, preparo e extração; ii) Tratamento do caldo para produção de açúcar; iii) Tratamento do caldo para produção de etanol; iv) Sistema de Evaporação; v) Cozimento + Secagem de açúcar; vi) Preparação do mosto e fermentação; vii) Destilação e Retificação; viii) Sistema de Cogeração.

Para a avaliação do conteúdo energético dos insumos e produtos decidiu-se adotar o PCI – Poder Calorífico Inferior de cada um deles. Assim, é calculado o poder calorífico da sacarose (para os sacarídeos), do etanol, do bagaço, e da cana. A cana é considerada como um complexo bifásico sólido-líquido, assim o poder calorífico da cana pode ser calculado a partir do poder calorífico da fibra da cana e do poder calorífico da sacarose contida na cana.

O conteúdo energético de fluxos de matéria que estão às mesmas condições de referência $T_0=25^{\circ}\text{C}$ e $P_0=1,0325\text{bar}$ é considerado nulo. O custo energético unitário de fluxos que não tem utilidade posterior é considerado nulo.

Dos resultados pode ser observado que os custos energéticos no caso 2 (65bar/500°C) são menores em comparação com os custos energéticos no caso 1 (22bar/300°C), devido a uma maior eficiência em caldeiras e turbogeradores no caso 2. Assim os custos energéticos da eletricidade e do vapor que são produtos no sistema de cogeração, mas que são insumos nas outras unidades de processo resultam menores.

Tabela: Resumo dos indicadores obtidos – "custo" energético

Descrição	Caso 1	Caso 2
Energia térmica	1,31	1,16
Energia Elétrica	3,23	1,80
Açúcar	2,13	2,00
Etanol hidratado	2,29	2,18

2.4. Mapeamento das trajetórias de indicadores críticos selecionados – tecnológicos, econômicos, sociais e ambientais – da produção e uso do bioetanol ao longo dos últimos 30 anos

Na quarta parte do trabalho foi mapeado um conjunto de indicadores tecnológicos, sociais e ambientais selecionados. Entre eles, na produção de cana-de-açúcar

destacam-se (i) o aumento da produtividade por hectare colhido, que aumentou 70% entre 1975 e 2008 (esse ganho representa uma área poupada de 3,0 milhões de hectares caso a produção de cana em 2008 tivesse a mesma produtividade de 1975); (ii) a evolução da colheita mecanizada, saltando de 16% na região Centro-Sul em relação à área colhida em 1997 para 51% em 2008; (iii) a drástica redução do trabalho infantil nos últimos 30 anos; (iv) o elevado aumento da taxa de empregos formais (37,2% em 1981 e 80,7% em 2007); (v) a redução acentuada da taxa de captação de água na indústria canavieira (caindo de 17 m³/t cana em 1975 para algo em torno de 2 m³/t cana em 2004).

Sugere-se, como apresentado nos Quadros 1 e 2 a seguir, um conjunto de indicadores que seriam importantes para acompanhar a sustentabilidade da atividade da agro-indústria em suas diferentes dimensões. Esses indicadores foram divididos de acordo com seu nível de cobertura em agregados, quando dizem respeito a unidades geográficas como o País, a Macro-Região, Estado, Micro-Região ou Município, e micro, quando sua unidade de análise consiste na unidade de produção.

Quadro 1 - Indicadores Agregados de Sustentabilidade

Nome	Fórmula	Fonte de Informação	Unidade Territorial
Impacto Econômico Direto e Indireto	PIB/MJ de Etanol	Matriz Insumo-Produto do IBGE e BEN	Brasil
Impacto Social Direto e Indireto	Emprego Direto e Indireto/MJ de Etanol	Matriz Insumo-Produto do IBGE, PNAD e BEN	Brasil
Energia Líquida/Energia Bruta	MJ de Etanol/(MJ de Etanol + Custo Direto e Indireto)	Matriz Insumo-Produto do IBGE e BEN	Brasil
Razão Custo Energético/Energia Líquida	Custo de Energia Direta e Indireta/MJ de Etanol	Matriz Insumo-Produto do IBGE e BEN	Brasil
Renovabilidade dos Custos Energéticos	Proporção de Energia Renovável nos Custos Energéticos Diretos e Indiretos	Matriz Insumo-Produto do IBGE e BEN	Brasil
Razão Custo Fóssil/Energia Líquida	Custos Energéticos Diretos e Indiretos Fósseis/Etanol	Matriz Insumo-Produto do IBGE e BEN	Brasil
Taxa de Emissão de Gases de CO2	CO2 Direto e Indireto/MJ de Etanol	Matriz Insumo-Produto do IBGE e BEN	Brasil
Taxa de Ocupação da Cana	Área Plantada com Cana/Área Plantada com Culturas Temporárias	PAM-IBGE	Brasil Estados Micro-regiões Municípios
Taxa de Ocupação Total da Cana	Área Plantada com Cana/Área de Estabelecimentos Agrícolas	PAM-IBGE Censo Agropecuário IBGE	Brasil Estados Micro-regiões Municípios
Substituição de Áreas	Variação de Área com Cana/Variação de Área Agrícola e Pecuária	PAM-IBGE Censo Agropecuário IBGE	Brasil Estados Micro-regiões Municípios
Nível de Emprego	No de Trabalhadores	PNAD	Brasil
Nível de Escolaridade	No de Trabalhadores por	PNAD	Brasil

Nome	Fórmula	Fonte de Informação	Unidade Territorial
	faixa de ano de estudo		
Nível de renda dos Trabalhadores	No de Trabalhadores por faixa de ano de estudo	PNAD	Brasil
Taxa de Analfabetismo Adulto	Percentual de Analfabetos com mais de 15 anos	Atlas de Desenvolvimento Humano	Brasil Estados Micro-regiões Municípios
Taxa de Enrolamento no Curso Superior	Percentual de população em Curso Superior sobre faixa de 18 a 24 anos	Atlas de Desenvolvimento Humano	Brasil Estados Micro-regiões Municípios
Mortalidade Infantil	N. de Mortes até 5 anos/População até 5 anos	Atlas de Desenvolvimento Humano	Brasil Estados Micro-regiões Municípios
Renda per Capita	Rendimentos/N. de Habitantes	Atlas de Desenvolvimento Humano	Brasil Estados Micro-regiões Municípios
Índice de Gini	Mede a Disparidade da Distribuição de Renda por faixa da População	Atlas de Desenvolvimento Humano	Brasil Estados Micro-regiões Municípios
Índice de Pobreza	Percentual da População vivendo abaixo do nível de pobreza	Atlas de Desenvolvimento Humano	Brasil Estados Micro-regiões Municípios
IDH	Indicador Sintético (Esperança de Vida ao nascer, taxa de alfabetização de adultos, taxa de escolarização bruta, PIB per capita)	Atlas de Desenvolvimento Humano	Brasil Estados Micro-regiões Municípios

Quadro 2: Indicadores Micro para a Sustentabilidade

Nome	Fórmula	Fonte de Informação	Unidade Territorial
Custo de Produção da Cana	Custos Totais de Capital e Operacionais/Produção Total	Unidades Agrícolas ou Consecana	
Custo de Produção do Etanol	Custos Totais de Capital e Operacionais/Produção Total	Usinas ou Consecana	
Rendimento Agrícola	Tonelada/hectare plantada	PAM-IBGE MAPA	Município Micro-Região Estado Brasil
Teor de sacarose da cana	ATR/tonelada de cana	Anuário Estatístico MAPA	Usina Estado Brasil
Taxa de Mecanização da Colheita	Área de colheita mecanizada/área total colhida	UNICA	São Paulo
Impureza da Cana	Peso das Impurezas/peso da cana na usina	CTC	Usina/São Paulo
Taxa de Água de Lavagem	M ³ de Água de Lavagem/tonelada de cana na usina	CTC	Usina/São Paulo
Taxa de Captação de Água	M ³ de Água captada/tonelada de cana na usina	CTC	Usina/São Paulo
Conteúdo energético da	Energia contida na cana em pé		

Nome	Fórmula	Fonte de Informação	Unidade Territorial
cana em pé	(caldo+bagaçõ+palha)		
Conteúdo energético da Cana na Usina	Energia contida na cana na esteira (caldo+bagaçõ+palha aproveitada)		
Custo energético total	Total da energia da cana utilizada no processo industrial/conteúdo energético da cana		
Custo energético unitário	Energia da Cana usada para produzir uma unidade de álcool, açúcar, eletricidade de exportação		

OE3. Subsídios para a agenda nacional e internacional de certificação de produtos e de processos produtivos do bioetanol

O crescimento acelerado da produção e uso dos biocombustíveis neste século está chamando a atenção de vários setores no mundo e reações contrárias têm surgido demandando provas claras de que as rotas atualmente utilizadas são realmente sustentáveis. Daí a necessidade da criação de uma Agenda nacional de Sustentabilidade para garantir a aceitação dos biocombustíveis brasileiros em outros países.

O estudo anterior das iniciativas internacionais e nacionais sobre sustentabilidade de biocombustíveis permitiu selecionar aquelas com possibilidade de produzirem sistemas de certificação futuros. Estas foram novamente avaliadas com o objetivo de se identificar os princípios, critérios e indicadores de sustentabilidade que começam a ganhar mais evidência. No caso, as iniciativas estudadas foram as seguintes:

Internacionais: Diretiva do Parlamento Europeu, Low Carbon Fuel Standard da Califórnia, Renewable Fuel Standard 2 da EPA, Global Energy Partnership (GBEP), Roundtable on Sustainable Biofuels (RSO), Cramer Report, e Better Sugarcane Initiative (BSI).

Nacionais: Programa Brasileiro de Certificação de Biocombustíveis (INMETRO), Zoneamento Agroambiental em São Paulo, Zoneamento Agroecológico Nacional e Compromisso Ambiental de Melhores Práticas.

É fácil perceber que as iniciativas mais adiantadas, já sendo implantadas, como a Diretiva Européia, LCFS e RFS2, o foco principal é a taxa de redução das emissões de GEE proporcionada por cada alternativa de biocombustíveis e a metodologia para o cálculo das análises de ciclo de vida, onde os efeitos das mudanças de uso do solo nas emissões de ciclo de vida dos biocombustíveis. Os outros aspectos da sustentabilidade foram tratados com um nível menor de detalhes, mas está explícito que eles serão mais detalhados no curto prazo. As outras iniciativas apresentam um tratamento mais equilibrado de todos os aspectos da sustentabilidade, mas ainda não estão no estágio de aplicação. O Brasil está participando ativamente do GBEP, que ainda está em um estágio bem preliminar devido ao grande número de participantes.

Foi proposto um conjunto preliminar de critérios e indicadores, baseado no Relatório Cramer, tentando manter um equilíbrio entre os temas principais. A prioridade de detalhamento parece óbvia uma vez que a polêmica atual é sobre a metodologia de análise de ciclo de vida das emissões de GEE, já que o poder de mitigação dos biocombustíveis está sendo utilizado para diferenciá-los.

OE4. Estudo das emissões de gases de efeito estufa na cadeia produtiva de bioetanol de 1ª e 2ª geração

The report is organized in three Sections. **Section I** presents a summary of three recent studies on specific sustainability issues of sugarcane ethanol production and use in Brazil. Data on important environmental sustainability of sugarcane production and processing are presented, including survey results about soil carbon stocks (below and above ground) for land uses involved in the recent sugarcane expansion. Land use change dynamics of sugarcane crop expansion was assessed for current and future scenarios in Brazil, as well as ethanol lifecycle GHG emissions, with a separated evaluation of LUC emissions considering initial collected data on soil carbon stocks and land use change.

The results updating the main parameters of sugarcane production and processing, considering data for 2008/2009 season, are presented in this section. This work was aimed not only at parameters updating, but also standardization of the database information, in order to facilitate future LCA analysis with different methodologies. This section also discusses methodological issues related to emission credits due to ethanol by-products production. Today different methods are applied to evaluate by-product credits, leading to different final ethanol emission results. For this reason, it is important to consolidate a consistent methodology to evaluate sugarcane ethanol by-product credits, as bioelectricity (and others, in the future) rises as important sugarcane product.

In **Section II**, a conceptual methodology to calculate ILUC is presented and discussed. In the light of this conceptual methodology, the specific approaches to measure ILUC used in the proposed legislations for biofuels were investigated and evaluated. The outcomes of these approaches are still quite fragile with respect to measure ILUC in Brazil because the models used do not capture accurately the dynamics and the reality of the Brazilian agriculture.

On the other hand, some significant improvements have been reached since the publication of Nassar et al. (2008). The Brazilian Land Use Model (BLUM) has been improved to generate results on land use change instead of land allocation. However, the need for additional improvements has been identified. A list of research priorities is presented, and the integration of socio-economic and biophysical models is recognized as one of the most promised areas to be developed.

Section III presents an assessment of the literature and other sources of information (grey literature specially) for carbon content (above and below ground) for different crops and vegetation biomes in Brazil, and for nitrogen emissions from sugar cane under different management and harvest regimes. More than 100

sources of information was compiled and organized to support complete life cycle studies of ethanol from sugar cane in Brazil.

Research gaps and research needs for the implementation of a strategy of long term monitoring key indicators of sustainability in sugar cane production systems, under different management and harvest regimes were identified, and recommendations for a transdisciplinary research program were made considering the consolidated and the new frontier of current trends of sugar cane expansion in Brazil.

1.1 Caracterização das possíveis condições de produção de bio-etanol em 2015 e 2025, consideradas as novas tecnologias agrícolas¹

1.1.1 Introdução

A relevante expansão da produção de etanol para fins automotivos no Brasil durante as últimas décadas apoiou-se de forma decisiva no desenvolvimento tecnológico. Podem ser identificadas nesse período três fases no desenvolvimento e implantação de tecnologias (Macedo, 2007):

- entre 1975 e 1985: ênfase em produtividade, para atender aos aumentos de demanda, particularmente com aumentos de capacidade nos sistemas de moagem e destilação e ganhos expressivos na produtividade das fermentações.
- a partir de 1980: ênfase na eficiência de conversão, tendência reforçada com o advento da estabilização da produção em meados dos anos oitenta, consolidando-se os ganhos no rendimento da fermentação e na extração.
- a partir de 1985: preocupação com o gerenciamento da produção, resultando na implementação de ferramentas tecnológicas como os programas para otimização da reforma de canaviais, acompanhamento da safra; controle operacional de processos e os controles mútuos agrícolas e industriais.

Por conta da existência de um significativo número de unidades produtoras, implementando de forma diferenciada as melhorias e avanços tecnológicos, de modo a coexistirem as fases mencionadas acima, os padrões de desempenho variam bastante entre tais unidades. Com efeito, as avaliações sistemáticas do desempenho industrial implementadas pelo CTC (anteriormente Centro de Tecnologia Copersucar, desde 2005 Centro de Tecnologia Canavieira) em uma ampla amostra de usinas apresentavam uma razoável diferença entre os "valores máximos praticados" para a eficiência total de conversão e os "valores médios", ambos crescentes no tempo, sinalizando uma margem para a transferência interna de tecnologia (Macedo, 2007).

Entre os avanços tecnológicos implantados desde 1975 no processo industrial devem ser destacados:

- Desenvolvimento de melhores sistemas de preparo da cana (picadores e desfibradores)

¹ Pesquisadores responsáveis: Prof. Paulo S. Graziano Magalhães (Feagri/UNICAMP); Prof. L.A. Horta Nogueira (UNIFEI).

- Desenvolvimento do sistema de moagem com 4 rolos, embebição cruzada e alimentação sob pressão, com elevados rendimentos de extração
- Tecnologia para operação de fermentações “abertas” de grande porte
- Aumento na produção de energia elétrica na indústria (auto-suficiência)
- Obtenção de excedentes de energia elétrica e venda para a concessionária
- Avanços em automação industrial
- Avanços no gerenciamento técnico (agrícola e industrial)

O desenvolvimento tecnológico observado nesse setor tem sido basicamente a resultante de esforços tanto do setor privado (grupos como a Copersucar, com o CTC, a Cooperativa de Alagoas com o NATT, e grande número de empresas fornecedoras de equipamentos, como a Dedini, Zanini, Smar, etc, em São Paulo) quanto de áreas do setor público (institutos governamentais e universidades, como Planalsucar/RIDES, Instituto Agrônomo de Campinas, ESALQ/USP, IPT, UNICAMP, e muitos outros) (FAPESP, 2007).

Além da diversificação de produtos, valorização de sub-produtos e redução dos impactos ambientais, um dos efeitos mais tangíveis da incorporação de aperfeiçoamentos na cadeia agroindustrial é a evolução da produtividade agroindustrial, mostrada na Figura 1, onde se apresentam de maneira separada as produtividades agrícola e industrial, respectivamente em t/ha e litro/t, bem como sua combinação, avaliada em litro/ha. Ao longo das últimas três décadas, essa produtividade apresentou taxa de crescimento anual de 3,1%, em valores médios para todas as unidades produtoras brasileiras, multiplicando por 2,6 o volume de bioetanol produzido por área cultivada.

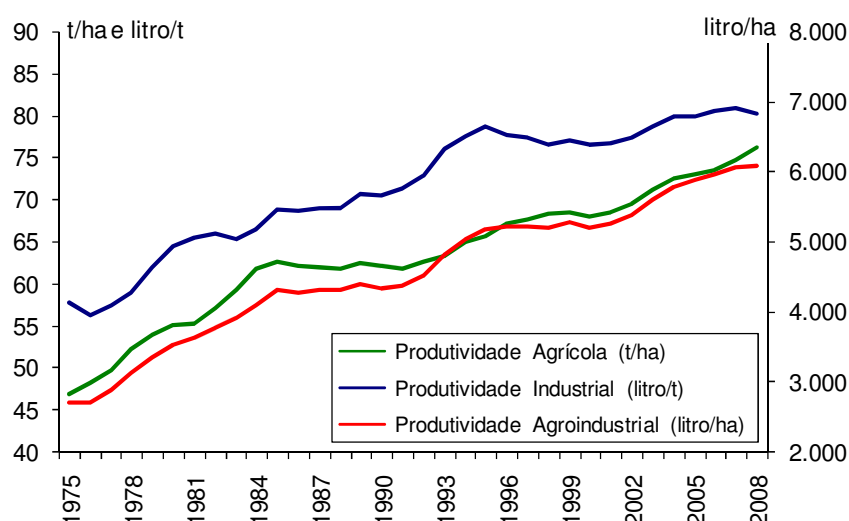


Figura 1: Evolução da produtividade na agroindústria do etanol no Brasil (MAPA, 2009).

Nesse contexto os ganhos de produtividade na área agrícola foram preponderantes e responderam pela maior parte do resultado global alcançado, como se apresenta na Figura 2, Figura 2: Incrementos relativos de produtividade referidos a 1975 (MAPA, 2009) onde se evidencia como os incrementos de biomassa produzida foram acompanhados por ganhos menores na conversão industrial, cujos níveis ficaram

praticamente estáveis desde meados dos anos noventa, quando os objetivos de racionalização dos processos, redução de custos e introdução de métodos gerenciais inovadores passaram a ser igualmente valorizados, sugerindo também uma relativa saturação nos ganhos de produtividade na conversão da matéria prima.

Não obstante, existe espaço para melhoramentos adicionais, como pode ser constatado assumindo uma produtividade agrícola de 85 t/ha e uma disponibilidade de 160 kg de ART por tonelada de cana, um valor típico das melhores lavouras, em termos teóricos resultaria 90 litros de etanol por tonelada de cana (tc) e 7.640 litros por hectare, níveis bem superiores aos valores médios atualmente praticados pela agroindústria brasileira. Vale observar que as tecnologias industriais estão próximas desse nível de conversão, enquanto a produtividade agrícola, como vista, poderá ser ainda significativamente melhorada.

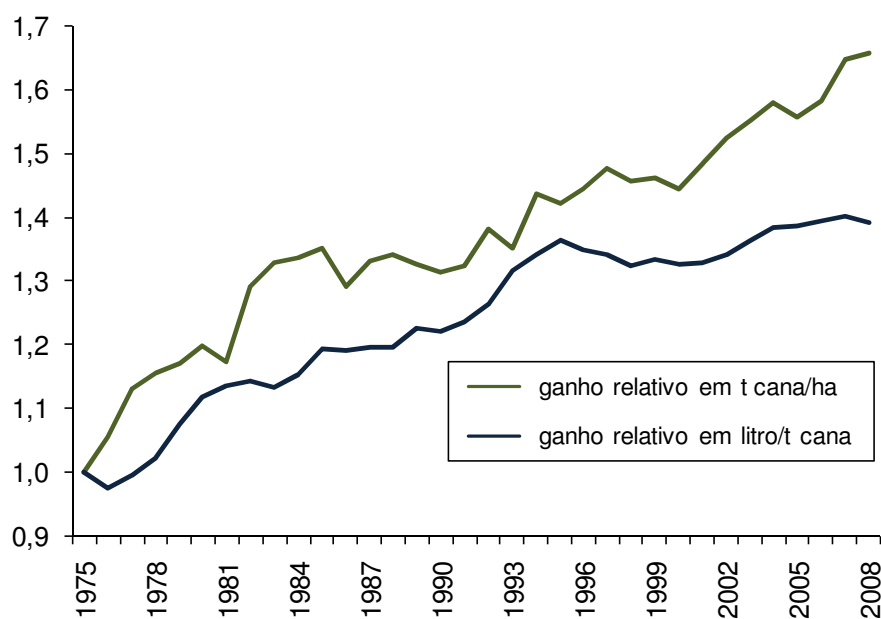


Figura 2: Incrementos relativos de produtividade referidos a 1975 (MAPA, 2009)

A evolução da produção anual de cana-de-açúcar no Brasil tem crescido de forma exponencial ($R^2 = 0,95$) desde a metade do século passado, como pode ser observado na Figura 3, elaborada a partir dos dados da série histórica do MAPA (2009). Considerando este modelo de crescimento, atingiremos no ano de 2025 uma produção anual de 1.200 milhões de toneladas.

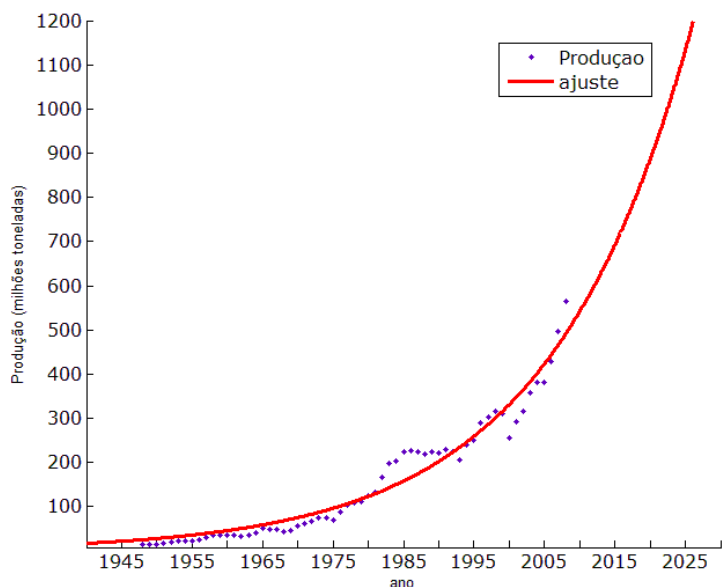


Figura 3: Evolução da produção de cana-de-açúcar no Brasil (MAPA, 2009).

Considerando apenas o período de 1975 a 2008 observamos que este crescimento ocorreu não só pela expansão da área de cultivo (200%), mas também devido a ganhos de produtividade (50%), como já mencionado, Figura 4. Baseado nesta série a perspectiva é que a área plantada com cana super os 11 milhões ha em 2025 com rendimento de 115 t ha^{-1} .

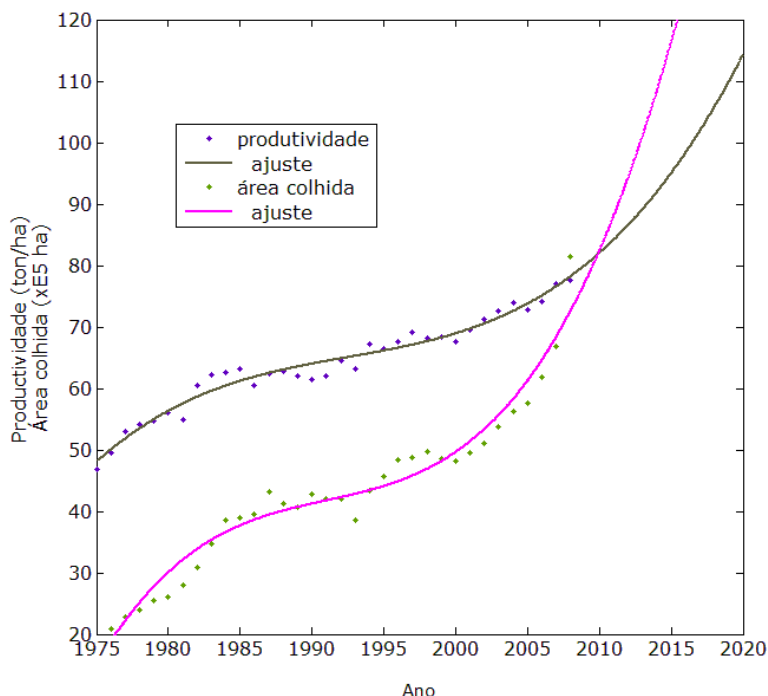


Figura 4: Área de cana-de-açúcar colhida anualmente no Brasil ($\times 10^5 \text{ ha}$) e produtividade média (ton ha^{-1}) considerando-se a razão entre produção e área colhida. (MAPA, 2009).

1.1.2 Aspectos relacionados à produção de cana-de-açúcar

1.1.2.1 Identificação dos parâmetros relevantes

Nos últimos anos observamos significativas alterações no setor agrícola com o incremento significativo da mecanização e modernização do processo de plantio, corte-carregamento e transporte da cana. Observamos no Estado de São Paulo que colheita mecanizada cresceu de 35% em 2002 com apenas 20% de cana crua para cerca de 70% na safra 2007/08 (Silvestrin, 2008) com mais de 49% colhida sem queima (GESP, 2009). Estes valores em menor escala se refletem nas demais regiões do país principalmente no Sudeste e Centro-Oeste. Isto tem ocorrido em função da implementação de leis federais e estaduais que estabeleceram prazos para a eliminação da prática da queimada, mas principalmente devido aos protocolos de intenções como o firmado entre o Governo do Estado de São Paulo e a UNICA (com adesão voluntária de seus associados) no qual aceita eliminar a queima nas áreas mecanizáveis até 2014, e nas áreas não mecanizáveis, até 2017. Protocolo semelhante foi firmado em Minas Gerais, entre representantes do segmento do estado e o poder público. O objetivo é o de estabelecer prazos para eliminar a queima da palha da cana-de-açúcar, até 2014 por meio da mecanização da colheita (UNICA, 2008).

A Anfavea (2009) em seu relatório anual não faz distinção entre a produção e comercialização de colhedoras por categoria, mas a Tabela 1 apresenta uma estimativa baseada em dados de fabricantes da produção de colhedoras de cana vendidas no Brasil a partir do ano 2000. Hoje se estima que estejam em operação cerca de 1600 colhedoras. Considerando a capacidade efetiva de colheita anual média destas colhedoras, e o ritmo de crescimento da produção e vendas destas máquinas, observamos que este número é insuficiente para atender a necessidade de mecanização da área de produção e expansão da cana prevista para os próximos anos.

Tabela 1: Vendas de colhedoras no mercado interno.

Ano	Total*	Cana-de-açúcar**
2000	3.628	110
2001	4.054	135
2002	5.616	100
2003	5.434	70
2004	5.598	80
2005	1.533	135
2006	1.030	180
2007	2.347	350
2008	4.340	300

Fonte: * ANFAVEA, 2009; ** estimativa baseada em dados de fabricantes.

Se a mecanização da colheita da cana trouxe benefícios inequívocos ao sistema, alguns trabalhos mostram que o uso intensivo das máquinas também causa danos ao solo comprometendo a sustentabilidade. Braunbeck (2009) mostra como o atual modelo de mecanização da cana, caracterizado pelo tráfego intensivo de máquinas e equipamentos causa a compactação do solo com consequências negativas na sua estrutura, reduzindo a porosidade, troca gasosa, e prejudicando a infiltração e retenção de água.

Apesar de sua disponibilidade e seu valor econômico a palha da cana que resulta da colheita sem queima só agora começa a ser utilizada no processo de cogeração de energia, mas ainda hoje é deixada sobre o solo. Se a manutenção da palha no campo traz benefícios evidentes à produção da cana-de-açúcar, como a proteção ao solo contra erosão; redução na variação da temperatura do solo protegido contra a radiação direta do sol; aumento das atividades biológicas; melhor infiltração de água; maior disponibilidade de água devido à menor evapotranspiração; e melhor controle das ervas daninhas (Rossetto et al., 2009), também apresenta inconvenientes, como o aumento da incidência de pragas que afetam a qualidade da matéria prima e retardam a brotação diminuindo a produtividade, risco de incêndio, dificuldades de se realizar o cultivo mecânico durante a entre safra. Estes fatores negativos devem estimular a recuperação parcial da palha que pode representar significativa fonte de energia no processo de cogeração.

Parte da cana deixada sobre o solo durante o processo de decomposição é incorporada proporcionando o aumento do estoque de carbono e promovendo o sequestro do carbono atmosférico. Alguns trabalhos como os de Wood (1991), Blair (2000), e Noble et al. (2003) na Austrália; Dominy et al. (2002) e Graham et al. (2002b) na África do Sul, e Villegas (1998) em Cuba citados por Luca et al. (2008) mostram que a supressão da queima com manutenção da palhada sobre o solo resultou em maior concentração da matéria orgânica do solo, composta basicamente por cerca de 50% de carbono orgânico, e conseqüentemente aumento do estoque de carbono.

O sistema de plantio da cana também evolui neste período. O preparo de solo para a renovação da área de plantio de cana-de-açúcar ocorre em intervalo de quatro a seis anos, podendo, em alguns casos, chegar a dez anos, dependendo de vários fatores tais como tipo de solo, condições climáticas da região e tipo de cultivo realizado na área nos anos anteriores entre outros. O sistema de preparo de solo varia de acordo com a unidade sucroalcooleira, mas em áreas de renovação de canavial tradicionalmente inicia com a erradicação da soqueira. Esta operação é realizada mecanicamente (utilizando grade de disco rasa ou eliminador de soqueiras) ou quimicamente (utilizando-se herbicida glifosato). Devido ao intenso tráfego de veículos pesados nas entrelinhas de cana durante os anos produtivos do canavial, geralmente o grau de compactação da área é alto exigindo que se realize a operação de subsolagem, utilizando-se subsoladores de haste tracionados por tratores de grande potência. Em seguida é necessária a mobilização do perfil do solo visando o preparo do terreno, utilizando arados de aivecas ou grades pesadas, seguidas de gradagens com o objetivo de reduzir o tamanho dos torrões e uniformizar a superfície do solo deixando-o apto ao plantio. Detectada a necessidade de aplicação de calcário para elevação da saturação por base a 60%, este deve ser feito o mais uniforme possível no período que compreende o início do preparo do solo e antes da última gradagem.

O plantio tradicional da cana-de-açúcar envolve três etapas distintas. A colheita das mudas, em local distinto da área de plantio, a sulcação da área de plantio e distribuição das mudas e por último a cobertura das mesmas.

Até meados da década de 90 toda a cana era plantada de modo manual ou semi-mecanizado, onde a sulcação é realizada mecanicamente, a distribuição de mudas e a picagem do colmo é executado de forma manual, e o cobrimento das mudas e a aplicação de inseticida mecanicamente.

A partir de 1996-97 iniciava-se no país o processo de mecanização do plantio de cana, através da importação de equipamentos ou o desenvolvimento de soluções próprias como a projetada pelo Centro de Tecnologia Copersucar (Pinto & Moraes, 1977,a,b). No Sistema mecanizado todas as operações de plantio, são executadas em uma única passada, reduzindo a necessidade de mão de obra e melhorando a eficiência operacional do sistema com significativa redução de custo. Contudo as máquinas disponíveis hoje no mercado, devido ao baixo grau tecnológico empregado, requerem maior densidade de plantio, aumentando significativamente o número de gemas distribuídas por metro linear, e conseqüentemente demandando área maior para a produção de mudas. A introdução do plantio mecanizado associado à agricultura de precisão contribuiu com a redução de alguns problemas operacionais como falta de paralelismo entre linhas, melhorando a operação de colheita, principalmente a noturna, e ambientais associados ao preparo intensivo de solo como erosão hídrica e eólica.

O conceito mecânico de condicionamento físico do solo por meio de sua movimentação intensa e profunda vem sendo substituído pelo conceito de cultivo mínimo ou plantio direto na palha (SPD). O SPD é um sistema de produção em que se evita a perturbação do solo e se mantém sua superfície sempre recoberta de resíduos (palha) e/ou de vegetação. Neste sistema a atividade biológica, a incorporação de matéria orgânica e a redução do tráfego são capazes de manter o solo apto para o desenvolvimento das culturas com reduções drásticas da erosão, dos custos e das perdas de água.

No Workshop - Uso da Água na Produção de Etanol de Cana-de-açúcar realizado na UNICAMP, Braunbeck (2008) afirma que para mitigar os efeitos negativos do preparo convencional do solo o plantio direto na palha (SDP) se apresenta como um caminho muito promissor para conseguir conservação da água e do solo na agricultura canavieira. Plantio direto é a pratica de cultivo de plantas sem preparo físico do solo em área total, movimentando apenas uma faixa estreita na linha onde as sementes ou mudas são depositadas e mantendo resíduos vegetais de outras culturas ou de ciclos anteriores sobre a superfície.

Atualmente, é reconhecida a importância irreversível do plantio direto no Brasil (Figura 5), que é utilizado principalmente nas lavouras de soja, milho, feijão, trigo e arroz, sendo que na soja se verifica a maior incidência. O plantio da cana pode e é feito por algumas usinas diretamente sobre a palhada da própria cana ou sobre a palha remanescente de outras plantas utilizadas no ciclo de rotação de culturas. As condições de cobertura do solo para a implantação do plantio direto na cana-de-açúcar são favoráveis, a não ser pelo elevado tráfego associado ao sistema de mecanização utilizado atualmente.

A industrialização da cana-de-açúcar gera resíduos como vinhaça, torta de filtro e cinzas de caldeira. De acordo com a composição desses resíduos foram desenvolvidas aplicações na lavoura na forma de fertilizantes sólidos ou líquidos, sempre focados na redução dos custos de adubação e redução dos impactos ambientais.

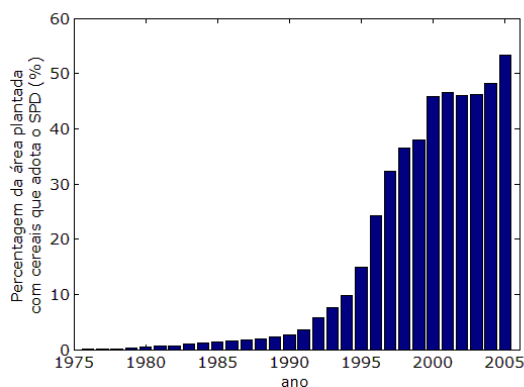


Figura 5: Evolução do sistema de plantio direto no Brasil na área cultivada com cereais em porcentagem.

Fonte: Federação Brasileira de Plantio Direto e MAPA (2009).

A vinhaça é um resíduo líquido proveniente da destilação do vinho para a obtenção do álcool. Produzida à razão de aproximadamente 11 litros por litro de etanol, constitui o mais importante efluente líquido da agroindústria da cana. Fatores positivos como a recuperação do potássio, da matéria orgânica e da água somados a fatores negativos como o poder poluente tornam a vinhaça assunto de elevada importância econômica e ambiental. Entre os efeitos da vinhaça nos solos ao longo do tempo Mutton et al. (2009) destaca que esta eleva o pH, aumenta a capacidade de troca catiônica (CTC), fornece e aumenta a disponibilidade de alguns nutrientes; melhora a estrutura do solo, aumenta a retenção de água; melhora a atividade biológica promovendo maior número de pequenos animais, bactérias e fungos e que eventuais efeitos maléficis causados aos solos ou às plantas são normalmente decorrentes de doses excessivas.

Segundo Braunbeck e Albrecht Neto (2009) a utilização da vinhaça na fertirrigação requer de sistemas de transporte, armazenamento e distribuição eficientes com baixos custos operacionais e de investimento que permitam atingir, com viabilidade econômica, áreas mais afastadas da usina, reduzindo dessa forma o impacto ambiental.

A torta de filtro surge do processo de clarificação do açúcar onde são produzidos de 30 a 40 kg de torta por tonelada de cana processada. É um composto orgânico em 85% da sua composição, rico em cálcio, nitrogênio, potássio e fósforo cuja composição varia com a matéria prima,

Tabela 2. Segundo Korndorfer (2004) citado por Santos (2009), algumas destilarias autônomas têm introduzido o sistema de clarificação de caldo, obtendo assim a torta de filtro, fazendo com que este resíduo deixe de ser produzido exclusivamente por unidades produtoras de açúcar. O mesmo autor ainda relata que a torta de filtro é rica em fósforo, no entanto o teor de P_2O_5 é variável, tendo a torta gerada pelas usinas o dobro de fósforo quando comparada com a torta gerada pelas destilarias.

Tabela 2: Composição média da torta de Filtro.

Componente	$g.100g^{-1}$	Componente	ppm
------------	---------------	------------	-----

	Mínimo	Máximo		Mínimo	Máximo
N	1,1	1,4	Cu	40	80
P ₂ O ₅	1,04	2,55	Fe	800	1200
K ₂ O	0,3	0,96	Mn	500	800
CaO	4,07	5,46	Zn	150	220
MgO	0,15	0,56	Mo		0,6
S	2,70	2,96	Co		1,4
Cinzas		18,37			
Matéria Orgânica		81,7			

Fonte: Adaptado de Nardin (2007) e Santos (2009)

A torta é utilizada como complementação da adubação mineral ou fluída, podendo ser aplicada na forma de torta úmida em dosagens que variam de 15 a 35 t.ha⁻¹ quando aplicadas nos sulcos de plantio, ou se aplicadas na soqueira as dosagens variam de 80 a 100 t.ha⁻¹ quando distribuída a lanço em área total e de 40 a 60 t ha⁻¹ quando distribuída nas entrelinhas da soqueira (CORTEZ et al., 1992). Os processos de aplicação e estocagem da torta de filtro exigem processos de controle já que pela sua elevada demanda bioquímica de oxigênio pode-se transformar em fonte poluidora, pois, o aumento dos teores de metais pesados que não são absorvidos pela planta tendem a percolar com risco de contaminação do lençol freático, Ramalho & Amaral (2001) citado por Braunbeck e Albrech Neto (2009).

O aproveitamento da torta de filtro implica na utilização de várias operações de armazenamento, mistura, secagem, transporte, carregamento e descarregamento, dosagem e distribuição, operações essas que acontecem desde a saída do material da moega da usina até sua colocação em contato com o solo. O custo de transporte da torta com alto teor de umidade, utilizando caminhões com caçambas de baixa capacidade, determina que as áreas de armazenamento se localizem próximas da usina. O material depositado na área sofre um processo de fermentação e secagem que pode ser natural ou com movimentação e arejamento intenso como no caso do misturador ilustrado na Figura 6. Na compostagem o material orgânico sofre ação microbiana sob condições aeróbias, dando origem a um produto estabilizado em que os compostos orgânicos sofreram mineralização, com redução da relação C/N para próximo de 10.



Figura 6: Misturador de resíduos operando na compostagem da torta de filtro

Fonte: Centro de Tecnologia Canavieira.

Braunbeck e Albrech Neto (2009) ressaltam ainda que apesar de existir viabilidade econômica no aproveitamento da torta como complemento da adubação, principalmente no caso do plantio, existe ainda espaço de desenvolvimento com potencial para reduzir custos, reduzir compactação e riscos ambientais, ou seja, aumentar a sustentabilidade da agricultura canavieira por meio do aprimoramento da logística na distribuição da torta de filtro.

Os parâmetros relevantes para a descrição das condições produtivas na etapa agrícola relacionado à sustentabilidade podem ser definidos como sendo o sistema de plantio da cana-de-açúcar; o método de colheita; o nível de compactação do solo; o aproveitamento da palha como fonte energética, de proteção do solo e de sequestro de carbono; e o modo de se aproveitar os resíduos da indústria.

1.1.2.2 Levantamento dos valores de referência

Plantio de cana

Dentro deste parâmetro observamos que hoje, na produção de cana-de-açúcar, de 30 a 40% da área de plantio de cana é realizada mecanicamente e o restante semimecanizado, sendo o plantio direto utilizado apenas experimentalmente em algumas usinas.

Os equipamentos utilizados para o plantio mecanizado de cana-de-açúcar apresentam baixo desenvolvimento tecnológico. Não são capazes de realizar dosagem precisa dos rebolos, há falta de uniformidade de espaçamento, obrigando a utilizar maior densidade de gemas por metro linear de sulco. No plantio mecanizado são utilizadas entre 8 a 12 ton ha⁻¹ de mudas, Janini (2008). Garcia (2008) apresenta um estudo comparativo entre os custos de plantio realizado utilizando-se o sistema semimecanizado e mecanizado. O autor destaca que em termos de custos operacionais de plantio, sem envolver custos anteriores (corte, carregamento e transporte de mudas até a área de plantio), o plantio mecanizado é altamente vantajoso quando comparado com o semimecanizado, que apresentou um custo total de 216, 24 R\$ ha⁻¹, comparado aos 121,00 R\$ ha⁻¹ do sistema mecanizado, ou seja, 56% a mais. Contudo no plantio mecanizado é utilizado um percentual superior de mudas, acréscimo na massa de muda plantada não é acompanhado por um correspondente incremento de produtividade servindo somente para compensar a menor proporção de gemas viáveis. A Figura 7 mostra que para o plantio mecanizado apresentar vantagens econômicas em relação ao semimecanizado é necessário que a porcentagem de mudas danificadas seja menor que 17%.

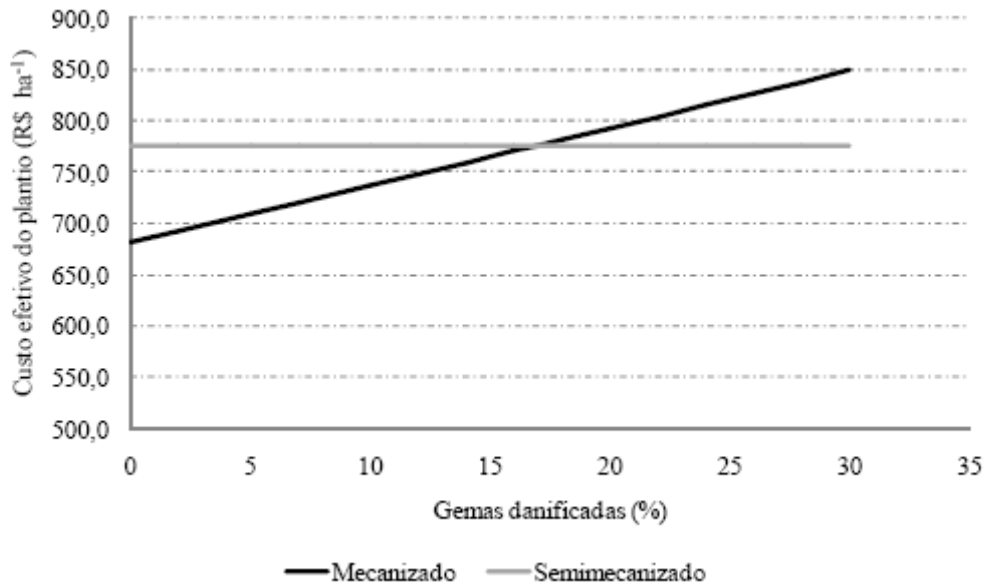


Figura 7: Simulação do custo efetivo de plantio, considerando as mudas e porcentagem de gemas danificadas, Garcia (2008).

Recentemente foi veiculada a notícia que a empresa Syngenta está pesquisando novas mudas de cana com altura de 3 ou 4 centímetros, denominadas de “Plene” com uma gema tratada previamente para garantir o vigor na germinação e protegê-la contra doenças e pragas, com previsão desta tecnologia estar disponível comercialmente em 2010. Esta técnica promete avanços significativos ao sistema de cultivo. Este novo sistema poderá reduzir em 15% os custos para o produtor. Esta tecnologia resultará numa redução da quantidade de mudas para 1 ton.ha⁻¹ e a necessidade de uma plantadora específica, que se encontra em desenvolvimento.

Observa-se que com relação ao preparo do solo para o plantio que as demandas de sustentabilidade que podem ser materializadas por meio de mudanças nas práticas agrícolas, como é o caso do controle de tráfego, o plantio direto e a agricultura de precisão.

Considerando que as tecnologias da agricultura conservacionista estão sendo praticadas em aproximadamente 88 milhões de hectares em todo o mundo, questiona-se por que as usinas do setor sucroalcooleiro ainda não utilizam esta tecnologia como estratégia para reduzir custos, conservar o solo e a água, e alcançar maior sustentabilidade da produção agrícola. O potencial de vantagens do plantio direto no caso da cana-de-açúcar não difere com relação a outras culturas nas quais o resultado tem sido comprovadamente bem sucedido. A Tabela 3, apresenta o custo das operações agrícolas necessária no preparo do solo pelo método convencional e pelo sistema de plantio direto, evidenciando as vantagens econômicas da adoção desta técnica. Deve-se destacar que para viabilizar o Sistema de Plantio Direto torna-se necessário um sistema de mecanização que reduza drasticamente o tráfego com relação ao sistema de mecanização convencional atualmente em uso.

Tabela 3: Custo de cultivo de solo pelo método convencional e plantio direto.

Operação	Convencional	Plantio Direto
	Cana planta R\$ ha ⁻¹	
Subsolagem	88,3	--
Aração	79,6	--
Nivelamento	34,0	--
Plantio (mecanizado)	121,00	121,00
Total	322,90	121,00

Compactação

Os princípios de colheita mecanizada utilizado hoje no Brasil não atendem satisfatoriamente aos requerimentos atuais em termos de recuperação eficiente da biomassa e utilização sustentável do solo. As colhedoras capazes de colher apenas uma linha apresentam alto consumo de energia não renovável e baixa eficiência operacional. Obrigam o tráfego de máquinas e equipamentos pesados sobre mais de 60% da área de plantio, com consequentes danos à estrutura do solo e ao stand da cultura.

O número de passagens de máquinas nas entrelinhas da cana-de-açúcar hoje é excessivo, reduzindo a longevidade do canavial e obrigando a realizar as operações de subsolagem durante a reforma do canavial. Do ponto de vista ambiental e econômico é necessário reduzir a compactação do solo durante a colheita. O problema pode ser minimizado através da colheita de cana sem queimar, pois a presença da cobertura com resíduos vegetais diminui o escoamento superficial contribuindo com a estabilidade estrutural do solo. O sistema de tráfego controlado (CT) utilizado em algumas usinas também contribui com a redução da compactação. Esta técnica consiste em alterar a bitola dos tratores e equipamentos de transbordo, ajustando ao espaçamento entre linhas de plantio de forma a criar zonas distintas para o crescimento da planta e para o tráfego de veículos, de forma a evitar o pisoteio dos pneus sobre as soqueiras. A técnica de tráfego controlado mostrou-se uma inovação bem sucedida na Austrália, a Figura 8 mostra a evolução das áreas em CT, nesse país. Segundo Yule (2003) o controle de tráfego conduz a ganhos de produtividade, redução de custos operacionais e de investimentos, faz uso mais eficiente das águas de chuva, gera menor escoamento superficial e erosão, assim como melhoria na condição física e de fertilidade do solo.

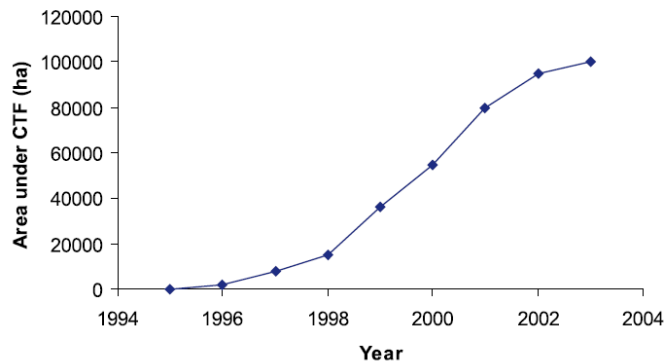


Figura 8: Evolução do controle de tráfego na Austrália, Yule (2003).

Porém, isto são apenas medidas paliativas, pois redução da compactação só seria possível se fossem disponibilizadas colhedoras capazes de colher duas ou mais linhas, ou se um sistema de colheita totalmente novo fosse desenvolvido.

Colheita mecanizada

Com o avanço das áreas de plantio de cana observamos também o avanço da mecanização da colheita, sendo a média no Brasil hoje não superior a 40%.

Um dos principais desafios a serem vencidos pela colheita mecanizada é a limitação da operação da colhedora em declividades acima de 12%. As restrições que impedem a operação em declividades maiores estão associadas à estabilidade ao tombamento e falta de estabilidade direcional.

Para se chegar a 100% de mecanização, é preciso haver equipamentos capazes de andar em terrenos de maior declividade. O desenvolvimento de colhedoras aptas a operarem em declividades mais acentuadas pode implicar em algumas vantagens. Uma delas está associada à possibilidade da máquina operar em duas linhas exigindo, a princípio, aumento da bitola, melhorando a estabilidade e viabilizando a colheita em áreas hoje restritas. Com duas linhas aumenta-se a capacidade de trabalho e se reduz o tráfego no talhão, trazendo reflexos positivos com relação à compactação. Porém existem dificuldades a serem superadas relacionadas à necessidade de aumento da capacidade de recolhimento e processamento da colhedora (massa de cana-de-açúcar por unidade de tempo), associada às perdas, visíveis e invisíveis e a qualidade da matéria prima.

As colhedoras hoje disponíveis no mercado apresentam baixo índice tecnológico e novos investimentos devem ser realizados para melhorar sua eficiência. O desenvolvimento de sistemas semimecanizados para facilitar o trabalho do corte manual pode ser uma tendência em áreas na qual a colheita mecanizada não seja a solução adequada, o que contribuirá para minimizar o problema social oriundo do rápido avanço da colheita totalmente mecânica. No horizonte de 10 a 15 anos deve existir avanço na tecnologia viabilizando a colheita em áreas hoje restritas e com tendência de aprimoramento e não substituição das tecnologias hoje existentes. É importante ressaltar que devem ser avaliados nessa perspectiva, os aspectos referentes à conservação do solo, evitando se implantar e conduzir uma cultura em declividades acima da capacidade de uso do solo.

Segundo o relatório ambiental do programa Etanol Verde do Governo do Estado de São Paulo (GESP, 2009), a evolução da colheita crua foi de 34,2 % na safra 06/07 para 49,1 % na safra 08/09, o que significa um aumento de 810 mil hectares

colhidos mecanicamente sem a utilização de fogo, mostrando a tendência de se atingir 100 % da colheita de cana crua antes do prazo estabelecido pelo protocolo, Figura 9: Comparação entre a Lei 11.241/02, Protocolo Agroambiental e dados de queima (INPE).Figura 9.

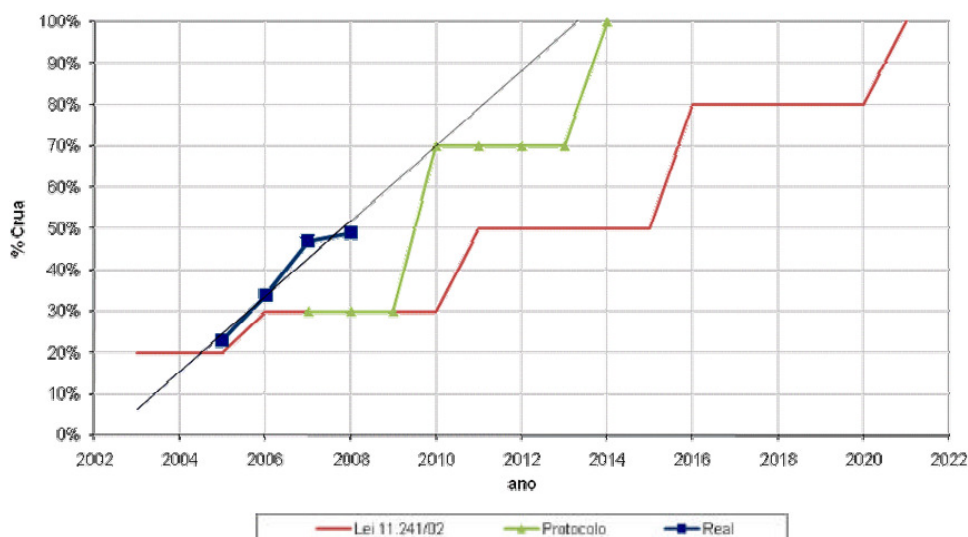


Figura 9: Comparação entre a Lei 11.241/02, Protocolo Agroambiental e dados de queima (INPE).

Recuperação da palha

Manechini et al. (2005) em trabalho realizado pelo CTC tentaram definir qual seria a quantidade mínima de resíduo vegetal que deverá permanecer no solo para se obter o máximo de benefício agrônômico proveniente desta cobertura. Os autores concluíram que com 66% (cerca de 7,5 t ha⁻¹, b.s.) a probabilidade de se conseguir efeito similar ao dos herbicidas químicos é alto.

Em estudo realizado por Paes & Oliveira (2005) sobre o potencial de se utilizar a biomassa foliar da cana-de-açúcar, considerando diferentes variedades de cana, estágios de corte e regiões de colheita, concluíram que diante da frequente introdução de novas variedades com rendimentos de palha desconhecidos, e da grande dificuldade de correlacionar à produtividade de cana e de palha, adotaram o valor médio de 140 kg de matéria seca por tonelada de cana como o valor padrão para estimar o potencial de resíduos de biomassa seca, Figura 10.

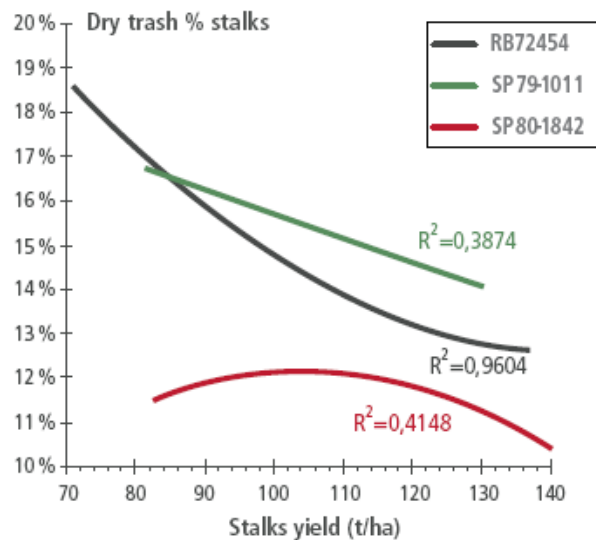


Figura 10: Curvas de regressão para a razão entre produção de palha e produtividade da cana para as variedades RB7254, SP79-1011 e SP80-1842. (Paes & Oliveira, 2005).

Tomando-se como base estes valores observamos e que hoje no estado de São Paulo, são deixados no campo aproximadamente 23 Mt de resíduos (49% da cana colhida sem queimar) e considerando que apenas 34% da palha deva ser recuperada, ou seja, 48 kg.tc⁻¹ (b.s.), com o calorífico da palha de 17 MJ.kg⁻¹ (Hassuani et al., 2005) esta biomassa representa um potencial 135x10⁶ GJ.

Mas o aproveitamento do palhicho não consiste em um sistema tão simplificado, exige também algumas soluções econômicas e tecnológicas. A grande dificuldade atual está no manuseio e transporte deste material desde o campo até a central termoelétrica. Hoje nos deparamos com custos considerados elevados para trazer este combustível do campo, em função do preço pago pela energia elétrica produzida nas usinas. Já existem algumas iniciativas e desenvolvimentos neste sentido até mesmo com algumas experiências bem sucedidas. Para retirar o palhicho do solo e levá-lo à indústria vários sistemas foram testados. As maiores possibilidades são por enfardamento, a granel, e através de prensas algodoceiras, mas estudos desenvolvidos pela Esalq em parceria com o Grupo Cosan indicam que o melhor sistema é a colheita integral, este resultado foi referendado por Michelazzo (2005) que realizou uma análise de sensibilidade de vários métodos de recolhimento de palha. Como colheita mecânica integral do canavial entendendo-se a operação de colheita realizada pelas colhedoras de cana picada com seus dispositivos de limpeza, exaustores, primário e secundário, desligados. A Figura 11 apresenta as possíveis rotas para a recuperação da palha.

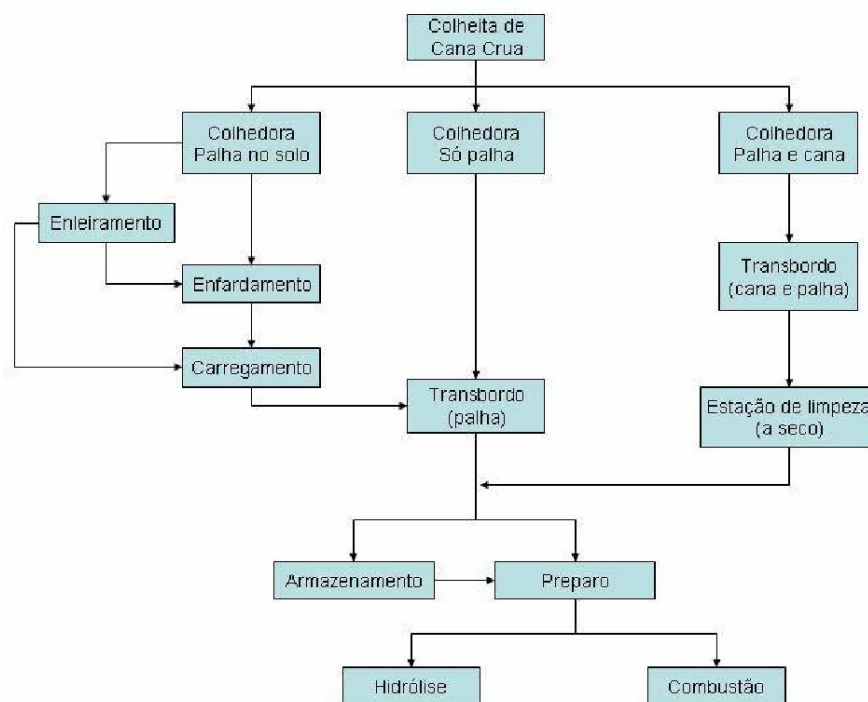


Figura 11: Possíveis rotas para recuperação da palha de cana-de-açúcar para fins energéticos.

O CTC também realizou um estudo de custo para recuperação da palha (Rodrigues Filho, 2005) simulando três alternativas, o enfardamento, a colheita integral (recuperação total da palha) e a colheita com recuperação parcial da palha. O resultado que apresentou melhor vantagem sob o ponto de vista da sustentabilidade foi a recuperação parcial da palha. A Tabela 4 mostra os resultados de simulação do custo total do palhicho posto na usina dos trabalhos de Michelazzo e do CTC

Tabela 4: Comparação entre o custo da palha nos estudos apresentados (US\$/t)

Sistema de recuperação	Michelazzo (2005) US\$ Mg⁻¹	Projeto CTC (2005) US\$ Mg⁻¹
Enfardamento	14,87	18,50
Colheita Integral	6,87	13,70

Contudo para a aplicação do sistema de colheita integral há a necessidade de instalação, na usina, de equipamentos de pré-limpeza, para a separação das impurezas minerais e vegetais da cana. O CTC desenvolveu e patenteou uma estação de limpeza a seco, Figura 12, que é fabricada em parceria com a TECHPETERSEN. Estas estações já foram instaladas em várias usinas do país² e

² USACIGA – Cidade Gaucha, PR; USINA AUCAREIRA GUAÍRA – Guáira, SP; USINA JULIANA – STA. TEREZ. III – Tapejara, PR; CENTRAL DE ÁLCOOL LUCÉLIA – Lucélia, SP; USINA CRUZ ALTA – Olímpia, SP; USINA ESTIVA - Natal, RN; USINA GASA – Andradina, SP; USINA AÇUCAREIRA QUATÁ – Quatá, SP; USINA COSTA PINTO – Piracicaba, SP; VIRALCOOL II – Castilho, SP; USINA STA. ROSA – Boituva, SP; USINA STA. CRUZ – Américo Brasiliense, SP; USINA ALVORADA I – Araporã, MG; USINA AGROVALE – Juazeiro, BA; BARRALCOOL – Barra do Bugres, MT.

começam a operar viabilizando a recuperação da palha para fins energéticos, mas a recuperação da palha nestas usinas não passa dos 10% disponível no campo. Neste sistema o fator determinante é a densidade da carga transportada, que é reduzida em cerca de 30% quando se transporta o palhiço juntamente com os rebolos, limitando a distância economicamente viável para se realizar a colheita integral.



Figura 12: Estação de limpeza a seco instalada na Usina Equipav, SP

Fonte: Revista Canamix, junho 2009.

O gráfico mostrado na Figura 13 mostra alguns dos resultados obtidos na Usina Rafard do Grupo Cosan, durante a safra 2008/2009 da eficiência de separação de impurezas (minerais e vegetais) na estação de limpeza.

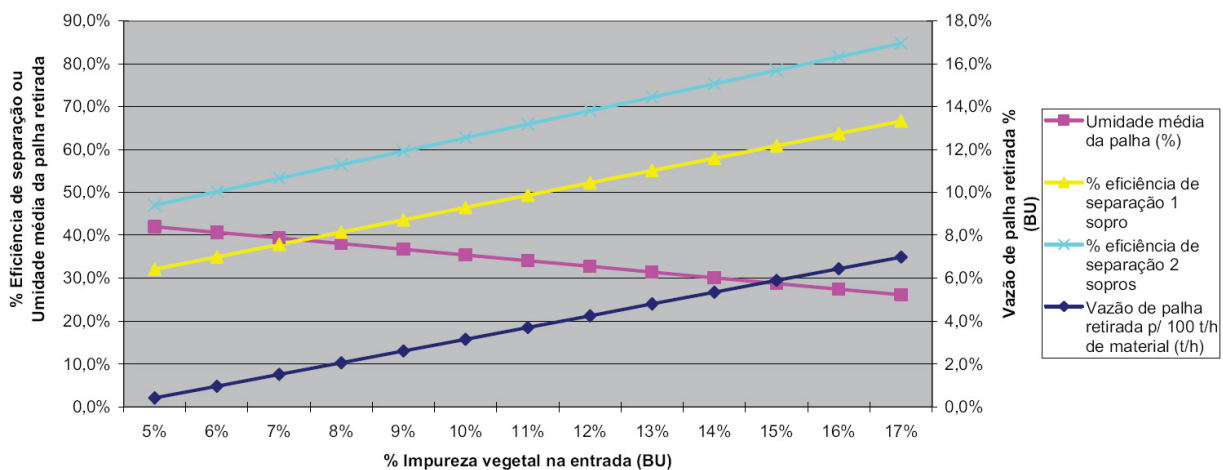


Figura 13: Eficiência de separação de impurezas na da estação de limpeza a seco instalada na Usina Rafard, Grupo Cosan, na sfras 2008/2009.

Fonte: apresentação Cosan – Impurezas da matéria-prima para sucroenergia.

Aproveitamento de resíduos

A área dos canaviais atingida pela fertirrigação depende da topografia do terreno, do sistema de distribuição adotado e de seu manejo. Atualmente existem usinas que aplicam vinhaça em 70% da sua área de cultivo e outras possuem valores bem menores (Nogueira et al, 2008).

A distribuição da vinhaça sobre o solo envolve quatro fases bastante diferenciadas que são o transporte primário, da indústria até os tanques de armazenamento, o armazenamento e o transporte secundário, dos tanques até as áreas de aplicação e a distribuição sobre o solo. Cada fase envolve equipamentos, infraestrutura, mão de obra e técnicas de manejo específicas focados em metas econômicas e ambientais (Braunbeck & Albrecht Neto, 2009).

Os principais sistemas de aplicação de vinhaça podem ser agrupados em sulcos de infiltração, caminhões-tanque e aspersão. A aplicação por sulcos de infiltração exige extensas áreas com topografia adequada para sua aplicação racional o que tornou sua utilização restrita Silva (1992). A aplicação por caminhões tanque, com descarga gravitacional ou forçada, foi o sistema mais utilizado no passado, pela sua versatilidade e simplicidade, com considerável uniformidade de distribuição, porém, é limitado pela distância entre o ponto de carregamento e as áreas de aplicação. A aplicação por aspersão tornou-se uma opção comercial com a evolução dos métodos de irrigação. Nesta linha, os equipamentos semifixos captam a vinhaça dos canais principais com o auxílio de moto bomba que, por sua vez, alimenta tubulações principais e laterais, nas quais se acoplam os aspersores. Atualmente, no Estado de São Paulo, tem-se popularizado o sistema de aspersão conjugado, principalmente por meio de canal e carretel enrolador (Braunbeck & Albrecht Neto, 2009).

Segundo Mutton et al. (2009) a utilização contínua da vinhaça nos mesmos solos, ainda que em dosagens baixas, pode gerar a saturação de cátions, principalmente de potássio na CTC dos solos, ocasionando problemas de lixiviação de seus constituintes para águas subterrâneas. A lixiviação de K para a subsuperfície não é um problema ambiental, uma vez que este elemento não é poluente de águas. Não obstante, a alta concentração favorece a formação de complexos químicos, que com carga neutra, são facilmente lixiviados. O complexo formado entre o $(K)^+$ e o $(NO_3)^-$ é especialmente preocupante do ponto de vista ambiental, uma vez que o nitrato é grande poluente de águas. No Estado de São Paulo, a Portaria P 4.231/2005 (Cetesb), regulamentou os critérios e procedimentos para a aplicação da vinhaça, estabelecendo normas para o seu armazenamento, transporte e disposição no solo. Com a normativa em vigor, muitas áreas sofrerão restrições, sendo que o setor já se prepara para transportar a vinhaça a distâncias maiores e/ou viabilizar outras utilizações, tais como a sua concentração.

Rossetto et al. (2008) considerando os principais resíduos da cadeia sucroalcooleira estimaram o potencial de reciclagem de nutrientes tomando como base toda a área de produção, estimada em 6,9 milhões de hectares, sem queima. A Tabela 5 apresenta a estimativa das quantidades de N, P_2O_5 e K_2O economizadas e que podem potencialmente ser adicionadas ao solo através dos resíduos.

Tabela 5: Nutrientes reciclados anualmente pela agroindústria sucroalcooleira

Resíduos	Nutrientes			Volume de resíduos	Nutrientes retornados		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	----- (% no resíduo seco) -----				----- (t ano ⁻¹) -----		
Torta de filtro ¹	1,4	1,94	0,39	2,34 milhões t torta seca ano ⁻¹	32 800	45 400	9 130
Palha ²	0,46	0,11	0,57	34,5 milhões t palha seca ano ⁻¹	158 700	37 950	196 650
	----- (g m ⁻³ de vinhaça) -----						
Vinhaça ³	375	60	2.035	270 bilhões L ano ⁻¹	101 250	16 200	549 450
Total					292 750	99 550	755 230

¹ Supondo que a área de produção no Brasil seja de 6,9 milhões de hectares e 475 milhões de toneladas de cana, sendo 223 milhões utilizadas para produção de açúcar que geraria 35 kg de torta por tonelada de cana moída; torta com 70 % de umidade.
² Geração de 5 t ha⁻¹ de palhada seca, considerando 100 % da área de cana do Brasil como não queimada.
³ Produção de álcool: 20,8 bilhões de L; geração de vinhaça: 13 L/L de álcool produzido.

Fonte: Rossetto et al. 2008

Sequestro de Carbono

Bayer et al (2006) relatam que a taxa média de sequestro de carbono em regiões de solos tropicais no Brasil por ano é de 0,35 Mg ha⁻¹ similar ao registrado por outros pesquisadores em regiões de solos temperados, e inferior a 0,48 Mg ha⁻¹ estimado para solos subtropicais da região sudeste do Brasil.

Galdos et al (2009) utilizaram o modelo CENTURY³ para avaliar o efeito dos resíduos de cana-de-açúcar na dinâmica do C a longo prazo. As simulações do manejo da palha, aplicação de fertilizantes mineral e concentração de matéria orgânica mostraram boa correlação ($r^2=0,89$), Figura 14. Os autores avaliaram a tendência de retenção do C no solo em diferentes cenários, em todos eles os resultados mostram uma tendência de aumento gradual quando utilizando fertilizante mineral em sistema de colheita sem queima na razão de 2,3 g.m⁻² a 22.8 g.m⁻² dependendo do tipo de solo e da condição climática.

Cerri et al. (2009) mostram ainda que considerando que no Brasil apenas 20% da colheita de cana é realizada sem queimar, portanto apenas 1,5 Mha e utilizando os dados médios obtidos por Galdos et al. (2009) a quantidade de carbono equivalente sequestrado é hoje de 8,7 Mt/ano, sendo 2 Mt C/ano proveniente da palhada e 6,7 Mt/ano proveniente da não emissão de gás metano e óxido nitroso durante a queima da cana.

³ Modelo geral desenvolvido pela Colorado State University para prever o comportamento dinâmico da matéria orgânica e nutrientes no solo sob diferentes condições de uso e clima.

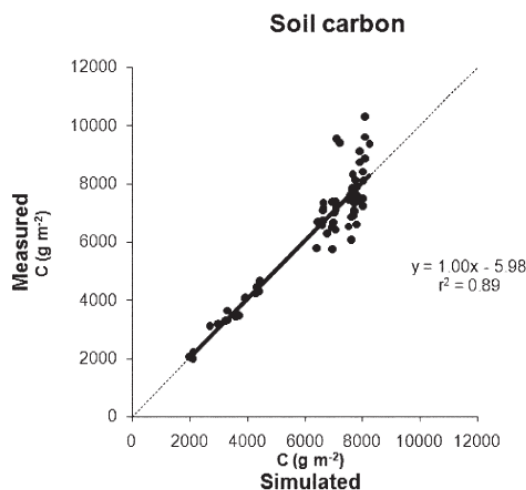


Figura 14: Regressão linear entre os valores simulados e experimentais do estoque de C utilizando o modelo CENTURY.

Fonte Galdos et al. (2009).

Observamos que o plantio da cana-de-açúcar mecanizado apresenta ainda sérios problemas que dificultam a sua adoção e afetam os parâmetros de sustentabilidade. Os equipamentos disponíveis são de baixo nível tecnológico, utilizando elevada quantidade de gemas por metro linear, demandando por parte das usinas áreas maiores para produção de mudas, gerando custos adicionais. O sistema de plantio direto ainda não foi adotado como uma prática neste setor. Pesquisas científicas registram o benefício desta técnica, mas também alertam para problemas que podem surgir com a manutenção da palhada sobre o solo. O grande risco de se adotar esta técnica de manejo está associada ao intenso tráfego de máquinas durante a colheita, causando a compactação de solo, sugerindo que alternativas tecnológicas como o tráfego controlado sobre a área de cultivo e/ou novos equipamentos de colheita devem ser desenvolvidos para garantir a sustentabilidade da produção.

A colheita mecanizada de cana crua tem avançado significativamente, trazendo benefícios imediatos ao meio ambiente, como a proteção do solo e conseqüentemente dos mananciais, redução do custo de produção e disponibilizando a palha que contém grande poder calorífico e começa a ser utilizada como fonte de co-geração de energia.

As práticas de manejo de solo como a adoção do plantio direto e a colheita de cana crua podem contribuir com o aumento do estoque de carbono no solo e ter um efeito positivo na sustentabilidade agrônômica e ambiental.

A cadeia produtiva da cana-de-açúcar tem importante diferencial frente às outras culturas, representado pelo grande potencial de reciclagem de nutrientes e economia de fertilizantes. Contudo deve lembrar que há legislação relativa à disposição da vinhaça apenas no estado de São Paulo.

1.1.2.3 Estimativas dos valores prospectivos em 2015

Com a perspectiva de aumento de área plantada de cana, muitas alterações devem ocorrer no setor agrícola. A expectativa é que a grande parte cana deixe de ser queimada e passe a ser colhida crua, ao menos nas áreas passivas de mecanização no primeiro estágio (2015) e posteriormente em toda a área (2025) o que irá

obrigar a mecanização desta área. Novos equipamentos destinados a colheita estão em desenvolvimento hoje e a perspectiva é em 2015 estejam em uso em áreas experimentais alterando alguns paradigmas da colheita, carregamento e transporte.

As melhorias no sistema de cultivo e colheita de cana, assim como o uso mais eficiente da biomassa para produção de eletricidade, não só aumentará rendimento de etanol significativamente, mas também melhorará o equilíbrio de energia líquido e reduzirá a emissão de GHG, Macedo et al. (2008).

Plantio

O plantio direto proporciona comprovadas melhorias nas condições de fertilidade do solo, é eficiente alternativa em acumular matéria orgânica no solo e contribuir para o seqüestro do CO₂ atmosférico, portanto, para a melhoria da qualidade ambiental. De médio, em longo prazo, o sistema de plantio direto favorece o maior acúmulo de palha na superfície do solo, maior percentagem de agregados nas classes de maior diâmetro, menor desagregação do solo, maior retenção de água, maiores taxas de infiltração de água no solo, menores temperaturas máximas e flutuação térmica, menor evaporação da água do solo em relação ao preparo convencional com o solo descoberto ou sem palhada na superfície do solo. Além do plantio direto na cana-de-açúcar proporcionar redução no número de operações, tempo disponível de pessoal e equipamentos envolvidos, custos em aproximadamente 47% em comparação com o convencional e ainda pode contribuir para o aumento da produtividade, (Duarte Júnior, 2008).

Considerando que o SPD necessitou de 30 anos para atingir o patamar de 53% da área plantada com cereais (Figura 5) e assumindo que em cana teremos uma adoção a taxa similares ao que foi observado, mesmo considerando o conhecimento atual dos benefícios desta pratica de cultivo, podemos esperar para 2015, que o SPD seja adotado em 2,7% da área plantada de cana (300 mil ha) e em 2025 atinja 50% da área (6,5 Mha), considerando a evolução da área de plantio.

A adoção do SPD passa obrigatoriamente pelo desenvolvimento de um sistema eficiente de controle de tráfego sobre a área cultivada.

A adoção de agricultura de precisão, especialmente o georeferenciamento das linhas de plantio associado á direção automática das máquinas e veículos que transitam sobre a área cultivada, deve contribuir sobremaneira para a implantação do tráfego controlado (CT) e as práticas do Cultivo Mínimo e SPD, mantendo-se intocadas as linhas de cultivo por diversos ciclos sucessivos.

O projeto de Mecanização de Baixo Impacto (MBI), hoje em desenvolvimento no Centro de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE) irá também contribuir de forma efetiva para a adoção das técnicas de CT e SPD. Esta proposta consiste em utilizar um equipamento elevado de bitola larga, bem superior a convencional, com tração e direção nas quatro rodas que transporta a cana colhida e trafega sistematicamente as mesmas linhas, desta forma irá reduzir de forma drástica os níveis de tráfego e compactação de solo sobre a área de cultivo da cana. A redução na compactação de solo se apresenta em termos da redução da área trafegada, a qual deverá se situar entre 5 e 10% da superfície do solo de acordo com a bitola adotada durante o desenvolvimento do projeto da Estrutura de Tráfego Controlado (ETC).

O projeto MBI está focalizado no desenvolvimento de uma estrutura de tráfego controlado (ETC), esquematizada na Figura 15, como unidade de potência com bitola larga, destinada à redução da compactação como forma de promover redução drástica dos níveis de tráfego, que deverá se situar entre 5 e 10% da superfície da área de cultivo. Dessa forma será possível viabilizar a implantação do SPD com todos os benefícios associados ao mesmo. A proposta de mecanização de baixo impacto (MBI) envolve mudanças nas duas peças principais da mecanização canavieira atual: o trator agrícola e a colhedora de cana picada.



Figura 15: Estrutura de tráfego controlado (ETC) proposta pelo CTBE no programa de Mobilização de Baixo Impacto (MBI) para produção de cana-de-açúcar.

O grau de adoção do SPD depende também dos avanços do conhecimento do efeito do palhicho e das espécies decompositoras no novo agroecossistema formado pela técnica de colheita mecanizada, nas pragas de solo e nos inimigos naturais e entomopatógenos presentes, e da eficiência do controle biológico sobre estas.

O sistema de plantio desenvolvido pela Syngenta "Plene", se bem sucedido, representará um avanço tecnológico importante na redução de custo e dos impactos ambientais. Espera-se com esta tecnologia em 2015 seja adotada por parte significativa das usinas e fornecedores de cana.

Este método depende do desenvolvimento de equipamentos de plantio com maior nível tecnológico, atendendo a demanda por maior precisão, e melhor distribuição de mudas, contribuindo também para a redução da área destinada ao plantio de mudas.

Compactação

Aqui novamente a técnica de tráfego controlado (CT) mostra-se como uma inovação que pode contribuir de forma efetiva para a sustentabilidade do sistema. O projeto da (ETC), para a colheita da cana consiste em utilizar uma estrutura de bitola larga (10 a 12 m) como unidade de potência. Nela será acoplado o sistema de colheita que permite colher duas linhas simultaneamente, utilizando o corte de base flutuante e sistema de limpeza (remoção das folhas) por atrito. O material colhido é lançado em veículos de transbordo, de modo similar a colhedora convencional, mas que devido a sua configuração construtiva permitirá reduzir a área de pisoteio e compactação do talhão de 60% para 13%. Desta forma não existe o tráfego de veículos sobre as linhas de plantio, nem a remoção de soqueiras

pelo sistema de corte de base, garantindo desta forma a longevidade do canavial e ampliando o prazo entre plantios.

Colheita

Os resultados do relatório ambiental realizado pelo Governo do Estado de São Paulo apontam o avanço do fim da queima da cana-de-açúcar no ano de 2013, uma aceleração significativa, quando comparada com os prazos estabelecidos por lei. Este avanço será registrado em outros estados como Minas Gerais que também tem um protocolo similar ao de São Paulo e em menor escala nos demais unidades da federação. A expectativa é de se colher 800 Mt em 2015 com um índice de 80% de cana colhida crua em todo país.

Espera-se que o primeiro protótipo da ETC esteja em testes na safra 2010/2011 e que já na safra seguinte seja adotado por algumas usinas experimentalmente atingindo cerca de 100 mil hectares no ano de 2015. Estudo comparativo de custo operacional da ETC mostra a vantagem deste tipo de equipamento quando comparado a colheita convencional hoje disponível no mercado. A Tabela 6 apresenta alguns valores de eficiência e custo da ETC trabalhando de forma similar a colhedora convencional, i.e. com auxílio de veículo de transbordo para recepção da carga, em um talhão de 500 m de comprimento em um canavial com 100 ton/ha e assumindo que em cada ciclo teria um tempo de espera⁴ de 5 minutos.

Tabela 6: Quadro comparativo de desempenho da ETC e colhedora convencional.

	ETC – operando com transbordo	Colhedora
Capacidade operacional potencial (ton/h)	216	90
Tempo necessário para completar a carga do transbordo (min)	5,5	13,3
Capacidade efetiva (ton/h)	68	38
Custo de reparo e manutenção (R\$/ton)	0,95	1,12
Custo mão de obra (R\$/ton)	0,12	0,18
Consumo de combustível (l/h)	50,00	58,43
Custo total colheita (R\$/ton)	2,96	4,59
Custo total com transbordo (R\$/ton)	5,19	7,87

Como a ETC é destinada a grandes produtores com áreas superiores a 10.000 ha há a necessidade de se desenvolver tecnologias semelhantes destinada aos pequenos agricultores e fornecedores de cana. A proposta do equipamento de auxílio mecânico à colheita de cana visa justamente isto, Figura 16. Este equipamento, capaz de colher várias linhas simultaneamente, depende de operadores que sob sua plataforma recolhem o colmo e o encaminham para o sistema de limpeza e armazenamento, garantindo desta forma o emprego rural e principalmente a qualidade de vida destes operadores. Devido ao equilíbrio em suas

⁴ Tempos em que a máquina não está operando por falta de transbordo.

dimensões que garante seu baixo centro de gravidade, este equipamento deverá trabalhar em áreas com inclinação de até 40% que juntamente com seu baixo custo de aquisição e manutenção deverá atender as necessidades da maioria dos fornecedores de cana, que de outra maneira serão obrigados a abandonar a atividade.

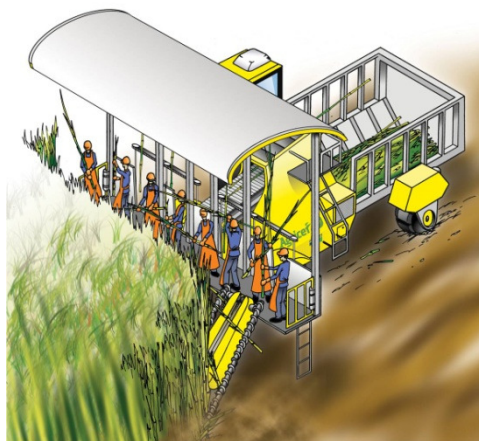


Figura 16: Auxílio à colheita mecânica de cana-de-açúcar, UNIMAC-cana, em desenvolvimento pela Agricef.

Recuperação da palha

O palhço representa uma opção para aumentar a disponibilidade de biomassa para co-geração nas usinas nacionais.

O custo final da biomassa recuperada é determinado predominantemente por quatro parâmetros associados aos processos envolvidos, que são: o nível de investimento, o rendimento operacional, a demanda de energia e a densidade final do material. Sistemas mais simples, com menor número de equipamentos, consumindo menos combustível e com elevado rendimento diário resultam frequentemente em custos menores. O fator densidade da carga torna-se importante na medida em que aumentam as distâncias compreendidas entre as áreas de produção e a planta industrial de destino. No caso de manuseio de material solto a granel a densidade pode ser aumentada reduzindo o tamanho das partículas através de processos de picagem. No entanto, o ganho de densidade é limitado e outros princípios de adensamento têm mostrado melhores resultados.

Para atingir esta meta será necessário o desenvolvimento de técnicas de recuperação e adensamento da palha, que possam garantir seu transporte e utilização a preços competitivos. Hoje a técnica que tem se mostrado mais viável para a utilização da palha consiste na Colheita Integral onde o palhço e processado pelas colhedoras conjuntamente com os colmos industrializáveis, é lançado, ao veículo de transporte que acompanha a colhedora. A separação ocorre posteriormente na usina, através do processo de limpeza a seco. Este processo requer altos investimentos no método de separação na usina e limita o raio de utilização desta técnica tendo em vista a redução da densidade de matéria prima transportada do campo à indústria.

Espera-se que para 2015 novas propostas tecnológicas de recuperação de palha estejam disponíveis, garantido a viabilidade econômica da utilização deste produto como fonte de co-geração a custos reduzidos.

Sequestro de Carbono

Galdos et al. (2009) apresentam projeções para séries de 100 anos avaliando o impacto do manejo da palha na dinâmica do C a longo prazo, utilizando como estoque de C inicial o existente no solo sob colheita de cana queimada. Os autores utilizaram como dados para o modelo a média anual de precipitação e temperatura. Os resultados mostraram que independente da região a tendência de aumento do estoque de C em áreas de cana colhida sem queimar, Figura 17, comprovando os benefícios ambientais da prática da colheita de cana crua. A Tabela 7 pode ser montada adotando-se a metodologia proposta por Cerri et al. (2009).

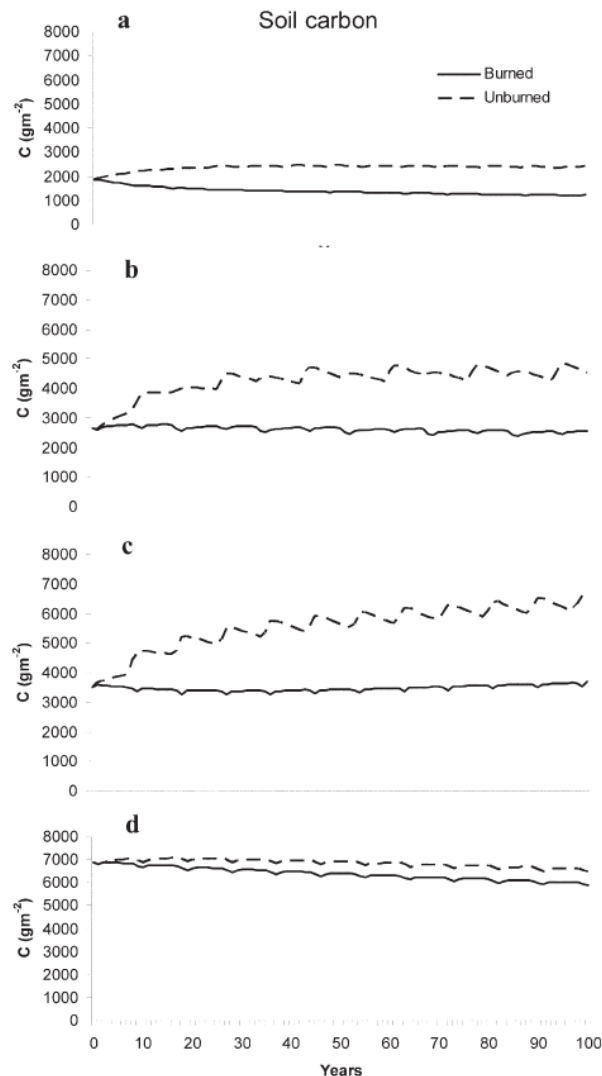


Figura 17: Projeções do estoque de C em um período de 100 anos comparando áreas com cana-de-açúcar colhida queimada e sem queimar nas localidades de (a) Goiana, (b) Timbaúba, (c) Pradópolis, e (e) Monte Edgecombe, utilizando o modelo CENTURY, - Galdos et al. (2009).

Tabela 7: Potencial de sequestro de carbono na cana-de-açúcar sem queima.

Ano	Cana sem queima (Mha/ano)	Sequestro C palha (Mt C/ano)	Ceq - CH ₄ e N ₂ O (Mt Ceq/ano)	Ceq Total (Mt Ceq/ano)
2015	7	9,1	46,9	56
2025	12	15,6	80,4	96

Para 2015 espera-se o avanço do plantio mecanizado da cana, com significativa redução de custo proporcionado pela maior eficiência das plantadoras e pela introdução da tecnologia desenvolvida pela Syngenta. O SPD deverá consolidar-se, mostrando os benefícios desta prática de manejo nos impactos ambientais, conservação de solo, e na redução da compactação. Esta técnica deve se tornar viável com a adoção simultânea da técnica de CT, agricultura de precisão, associadas ao uso da ETC.

Espera-se que 80% cana seja colhida sem queimar no Brasil, viabilizando seu aproveitamento energético, a proteção do solo e o incremento do estoque de carbono. O uso da palha como fonte energética deverá estar consolidado, mesmo que parcialmente, através das estações de limpeza que devem estar funcionando plenamente associadas talvez ao surgimento de novas tecnologias para o recolhimento e adensamento da palha.

Estimativas dos valores prospectivos em 2025 para os parâmetros indicadores, representativos das condições futuras.

Espera-se que para 2025 grande parte da área plantada com cana utilize os novos conceitos de mecanização (SPD, CT, ETC) que reduzem drasticamente os impactos negativos sobre o solo hoje causados pelo sistema convencional de cultivo.

A evolução tecnológica da mecanização no sentido de tornar a produção canavieira mais sustentável, nos próximos 30 anos, poderá ser muito mais criativa se certas restrições impostas pelos tratores e as colhedoras forem eliminadas e dessa forma um novo horizonte de opções aberto para as contribuições de larga população de técnicos, usuários e fornecedores de equipamentos com larga e bem sucedida experiência na agricultura canavieira.

Em 2025 a palha, que hoje é deixada no campo, deverá ser parcialmente recolhida e aproveitada para fins energéticos. Equipamentos devem ser desenvolvidos e disponibilizados para viabilizar este recolhimento de forma economicamente vantajosa e sem contaminação da matéria prima.

Plantio direto - O sistema de plantio direto, que hoje está sendo avaliado como uma possível alternativa para o cultivo deve ganhar espaço e mostrar aos produtores que é realmente viável. Alternativas para o sistema de plantio da cana devem ser viabilizadas e o controle das pragas de solo deve ser melhorado.

Agricultura de precisão - A AP deverá ser adotada em grande escala, influenciando diretamente no sistema de gestão das usinas. A utilização de equipamentos guiados com auxílio de GPS deverá ser popularizada e aplicada em grande escala. O sistema de coleta de informações sobre rendimento, presença de pragas, para elaboração de mapas de produtividade, pragas, solos, e outros parâmetros irão permitir a otimização do uso de insumos, redução dos custos e principalmente contribuirão com a preservação ambiental. O uso da AP permitirá redução do uso de fertilizantes, ou pelo menos sua utilização de forma mais eficiente, contribuindo de forma efetiva com a redução dos impactos ambientais causados pela produção de cana.

Gestão - O rápido avanço da tecnologia de comunicação irá permitir a aplicação do controle em tempo real das atividades de campo, reduzindo os custos de logística e ampliando a capacidade operacional efetiva das máquinas e equipamentos.

Manejo de resíduos - O processo produtivo de etanol e açúcar gera uma série de resíduos que devem retornar ao setor agrícola para tratamento, manejo e reaproveitamento sendo os principais, água residuária, torta, cinza e lodo, vinhaça. No Brasil, sempre houve um diferencial representado pelo uso dos resíduos torta de filtro e vinhaça. O potencial de reciclagem de nutrientes contidos nesses resíduos é provavelmente uma das explicações para a manutenção da produtividade observada ao longo dos anos nos campos cultivados com cana-de-açúcar no Brasil, em comparação à de outros países. No estado de São Paulo a Cetesb estabeleceu parâmetros que norteiam os procedimentos técnicos de manuseio deste resíduo, buscando minimizar os impactos sobre o ambiente. O mesmo deve ocorrer nas demais regiões do Brasil nos próximos anos. As medidas atualmente empregadas no manejo e monitoramento da vinhaça, sob os aspectos técnico-econômico-social-ambiental são parcialmente adequados, requerendo estudos mais detalhados e de longa duração, sob condições edafoclimáticas distintas, que sejam suficientes para estabelecer sistemas de distribuição e aplicação e sua utilização sem riscos ao meio ambiente.

1.1.3 Aspectos relacionados ao processamento da cana-de-açúcar

1.1.3.1 Identificação dos parâmetros relevantes

Considerando as relações entre o processo industrial e o meio ambiente, a agroindústria do etanol tem progressivamente incorporado aperfeiçoamentos relevantes e reduzido de forma expressiva os impactos ambientais. Como exemplos podem ser citados a demanda de água, a disposição de efluentes e as emissões de gases. Ainda que se estime um consumo de processo da ordem de $22 \text{ m}^3 \text{ tc}^{-1}$ (usinas de açúcar com destilaria anexa), a captação e o lançamento de água nos corpos hídricos são bem inferiores. A maior parte do consumo de água (87%) ocorre em quatro processos: lavagem de cana, condensadores/multijatos na evaporação e vácuos, resfriamento de dornas e condensadores de álcool; mediante a racionalização do consumo da água (reutilizações e fechamentos de circuitos e algumas mudanças de processo, como a limpeza a seco e a redução da lavagem da cana, por conta do corte mecanizado), a captação vem sendo reduzida de modo significativo. Levantamentos realizados em 1997 e 2005 apontavam uma redução da captação média de 5 m^3 para $1,83 \text{ m}^3 \text{ tc}^{-1}$ (Elia Neto, 2005). As expectativas atuais são atingir, em médio prazo, $1 \text{ m}^3 \text{ tc}^{-1}$, volume próximo ao que entra na usina com a própria cana, já que 70% do peso dos colmos é constituído de água e já existindo unidades que já alcançam um consumo da ordem de $0,7 \text{ m}^3 \text{ tc}^{-1}$ (Elia Neto, 2009).

Os principais efluentes de processo, a vinhaça, cuja disposição final nos anos setenta representava um grave problema ambiental, e a torta de filtro, têm sido usados atualmente de forma sistemática como fertilizantes, com benefícios para as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, como elevação do pH, aumento da capacidade de troca catiônica e da disponibilidade de certos nutrientes, melhoria da estruturação do solo, aumento na retenção de água e no desenvolvimento da microflora e microfauna do solo, resultando incrementos de produtividade de até $10 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$ e auxiliando a ampliar o número de cortes, comparativamente à adubação convencional. Cerca de 36% das áreas dos canaviais recebe irrigação com vinhaça,

que substitui a adubação mineral potássica, estimando-se para valores de 2007 uma economia de 348 mil toneladas de cloreto de potássio (Pennatti, 2007).

Com relação às emissões atmosféricas associadas à queima do bagaço, as caldeiras atualmente empregadas, com menor excesso de ar e queimando bagaço sob temperaturas de chama mais elevadas, as emissões de particulados e de óxidos de nitrogênio nos gases de chaminé atingiram níveis similares aos observados em outros sistemas térmicos de potência e passaram a ser controladas pelos órgãos ambientais, de acordo com a legislação própria e não parecem ser um problema ambiental relevante.

Assim, do ponto de vista da sustentabilidade e em particular no contexto das relações entre o sistema produtivo agroindustrial e o meio ambiente, os parâmetros mais importantes estão associados essencialmente às perdas de massa e energia que podem ocorrer na transformação da matéria prima. No caso da cana-de-açúcar, os fluxos que interessa acompanhar são compostos basicamente pelos açúcares (sacarose e açúcares redutores), fibras e água, considerando as tecnologias convencionais, os açúcares são destinados para a produção de etanol, enquanto a fibra é utilizada fonte de energia no processo, com eventuais excedentes.

Para tratar dos balanços de massa referentes aos açúcares no caso da agroindústria canavieira no Brasil, onde a sacarose e as hexoses são usadas para produção de açúcar e etanol, que por sua vez pode ser obtido a partir do caldo direto e dos méis residuais, o CTC desenvolveu um modelo útil para a separação e avaliação das perdas e do desempenho dos diferentes grupos de processos, sintetizado na Figura 18.

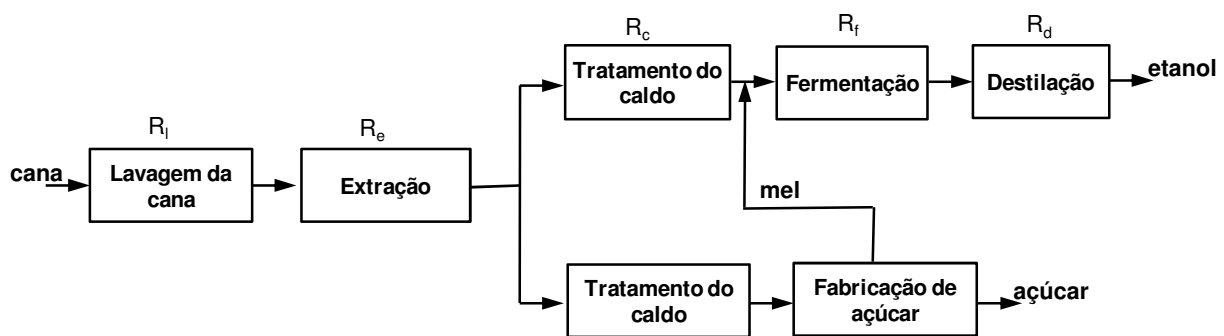


Figura 18: Modelo dos processos para avaliação do fluxo de açúcares na agroindústria canavieira (Finguerut, 2007)

Conforme esquematizado nessa figura, na produção de etanol ocorrem perdas de açúcares na lavagem, extração ou moagem, tratamento, fermentação e destilação, cujos respectivos rendimentos mássicos são apresentados a seguir, onde os termos com os fluxos de açúcares (incluindo a sacarose e os demais açúcares presentes na cana) e etanol devem ser dados em seus equivalentes em hexoses (Açúcares Redutores Totais, ART):

- Rendimento na lavagem da cana:

$$R_l = \frac{\text{açúcar na cana lavada}}{\text{açúcar na cana sem lavar}} = 1 - \frac{\text{perdas de açúcar na lavagem da cana}}{\text{açúcar na cana sem lavar}}$$

- Rendimento na extração:

$$R_e = \frac{\text{açúcar no caldo bruto}}{\text{açúcar na cana lavada}} = 1 - \frac{\text{perdas de açúcar no bagaço}}{\text{açúcar contido no caldo bruto}}$$

- Rendimento no tratamento do caldo:

$$R_c = \frac{\text{açúcar no caldo tratado}}{\text{açúcar no caldo bruto}} = 1 - \frac{\text{Perdas de açúcar na torta de filtro}}{\text{Açúcar no caldo bruto}}$$

- Rendimento na fermentação:

$$R_f = \frac{\text{etanol no vinho}}{\text{açúcares no mosto}}$$

- Rendimento na destilação:

$$R_d = \frac{\text{etanol produzido}}{\text{etanol no vinho}} = 1 - \frac{\text{perdas de etanol na vinhaça}}{\text{etanol no vinho}}$$

Esses parâmetros permitem avaliar como os fluxos de açúcares são progressivamente processados e convertidos em etanol, eventualmente incluindo o aporte de açúcares residuais nos méis oriundos da fabricação de açúcar. Comparativamente às atividades agrícolas, naturalmente dependentes das características edafoclimáticas de cada usina, e portanto, menos generalizáveis, os rendimentos na indústria são menos susceptíveis à localização da unidade produtora, o que permitem cotejar valores entre as diversas usinas.

1.1.3.2 Levantamento dos valores de referência

Reconhecendo a importância dos indicadores de rendimento e outros similares associados ao processo agroindustrial, o CTC desenvolve desde 1991 um programa de "benchmarking", o Programa de Controle Mútuo da Produção de Açúcar e Alcool, apoiado no reforço do sistema de monitoramento dos ensaios de eficiência dos processos e na padronização dos procedimentos. Esse levantamento sistemático tem permitido acompanhar a evolução dos processos produtivos na área agrícola e industrial e proporcionado aos produtores envolvidos uma das mais importantes e consistentes bases de informação sobre o desempenho das atividades agroindustriais no âmbito da agroindústria canavieira.

Especificamente no contexto industrial, esse programa acompanha em base mensal e anual, 39 processos relevantes no processamento da cana para a produção de açúcar, etanol e energia elétrica, agrupados em Extração, Tratamento do Caldo, Produção de Açúcar, Produção de Alcool, Energia, Automação e Laboratórios, em um número representativo de usinas da região Centro-Sul. A partir desse levantamento, considerando duas safras (2004/2005 e 2007/2008), foram selecionados os indicadores apresentados na Tabela 8, que inclui também os

valores médios observados em 1975 (Oliverio, 2008). Vale aqui comentar que essas usinas, mais de 160 unidades produtoras, possivelmente representam uma fração com um desempenho algo superior à média efetiva das usinas da região, na medida em que se dispõem a implementar um sistema de monitoramento e sinalizam uma gestão mais responsável de sua planta. Como uma indicação desse possível desvio, difícil de estimar, o Consecana-SP (CNA, 2009) adota, para as usinas paulistas, eficiências médias de fermentação e destilação de 88% e 99%, respectivamente, um pouco inferiores aos valores tabelados para a safra mais recente.

Tabela 8: Rendimentos mássicos na produção de etanol

Parâmetro	1975	2004/2005	2007/2008	
	média	média	média	máximo
Rendimento na lavagem da cana (%)	-	99,3	99,52	99,99
Rendimento na extração (%)	93	96,1	95,83	97,22
Rendimento no tratamento do caldo (%)	98	99,5	99,48	99,96
Rendimento na fermentação (%)	80	91,1	90,09	91,36
Rendimento na destilação (%)	-	98,0	99,74	99,95
Perdas Indeterminadas (%)	-	3,5	3,36-4,77	

Fontes: 1975: Oliverio, 2008, outros anos: CTC, 2006 e CTC, 2008

Esses números sinalizam os avanços alcançados no controle de processo e redução das perdas de matéria prima, e confirmam a saturação comentada anteriormente, mas evidentemente não são os únicos parâmetros de interesse no acompanhamento do desempenho dos processos industriais de produção de etanol de cana-de-açúcar. Alguns outros indicadores, associados particularmente ao consumo de vapor e produção de energia elétrica também apresentam interesse e mostram tendências similares, como indicado na Tabela 9. Nesse caso, o desempenho está determinado pela eficiência combinada na geração de vapor (função das condições do bagaço, eficiência das caldeiras, recuperação de condensado, etc.) e uso do vapor (função do desempenho dos trocadores de calor e evaporadores (que depende fortemente da área de troca térmica e do número de efeitos nos evaporadores), eficiência dos multi-jatos, uso do vapor vegetal, condições de gestão e manutenção das linhas de distribuição, etc.) e da mesma forma, depende das condições de produção e uso de energia elétrica, merecendo uma análise cuidadosa na medida em que os eventuais excedentes devem ser agregados considerando diferente valor energético, pois a energia elétrica apresenta um valor significativamente superior ao bagaço. Esse relevante aspecto do desempenho energético das usinas será retomado adiante.

Tabela 9: Indicadores de consumo de vapor e produção de energia elétrica na agroindústria do etanol (usinas novas)

Parâmetro	1975	2005
Consumo total de vapor no processo (kg/tonelada de cana)	600	380
Consumo de vapor na destilação (álcool hidratado) (kg/litro)	3,4	2,0
Consumo de vapor na destilação (álcool anidro) (kg/litro)	4,5	2,7
Pressão e temperatura do vapor vivo (bar/°C)	21/300	até 120/540
Geração de excedentes de energia elétrica (kWh/tc)	-	até 146

Fontes: Oliverio, 2008 e Seabra, 2008

Considerando que, além dos parâmetros de rendimento mássico e eficiência energética, são alvo dos desenvolvimentos de processo a redução dos tempos de processo, dos custos de capital, de operação e manutenção, e o incremento da flexibilidade, confiabilidade e da automação, é oportuno comentar o estado da arte na agroindústria canavieira no Brasil, onde são bastante diversificadas as configurações tecnológicas atuais. Do mesmo modo, as principais perspectivas para os grupos de processos de maior interesse na produção de etanol de cana, com potencial impacto em sua produtividade e eficiência no uso dos recursos naturais também apresentam grande número de alternativas e cuja progressiva adoção explica a evolução dos números das tabelas acima.

Nesse sentido, uma interessante fonte de informações são os artigos sobre tecnologias industriais apresentados na Revista STAB, órgão de divulgação da Sociedade dos Técnicos Açúcareiros e Alcooleiros do Brasil, entidade que desde 1963 congrega os técnicos desse setor e promove a discussão dos problemas técnicos e o aperfeiçoamento das tecnologias e procedimentos empregados. Essa entidade representa o Brasil no setor açucareiro mundial, em particular junto à International Society of Sugar Cane Technologists, ISSCT. A partir dos artigos da Revista STAB, em particular as contribuições do consultor Celso Procknor, envolvido na concepção e projetos de usinas de açúcar e etanol (vários artigos, especialmente Procknor, 1999, 2004 e 2009), foram preparados os próximos parágrafos, refletindo as condições médias das usinas da região Centro-Sul, indicando como a tecnologia industrial tem evoluído nos últimos dez anos, como vem sendo incorporada às unidades industriais e quais as novas tendências em pauta, caracterizando os diversos dilemas⁵ tecnológicos vivenciados nesse setor. Essas possibilidades representam a pauta de tecnologias em uso ou em estágio pré-comercial e não correspondem as tecnologias em pesquisa ou ainda em desenvolvimento.

Recepção e limpeza da cana

Nos últimos anos se observou uma clara redução do estoque de cana para processamento nas usinas. Anteriormente eram mantidos estoques de até alguns

⁵ “Dilemas” é exatamente o título de dois artigos de Celso Procknor a esse respeito, que menciona também alguns “trilemas” na definição de tecnologias na indústria sucroalcooleira.

dias de moagem, em pátios e barracões, mas atualmente predomina um estoque correspondente a poucas horas de trabalho, sobre carretas, de manuseio mais simples. A lavagem da cana, imposta para retirada da terra e redução da carga de impurezas inorgânicas (principal responsável pelo desgaste prematuro nas facas do triturador de cana), foi praticamente eliminada devido ao elevado consumo de água e perdas de açúcar (particularmente no caso da colheita mecânica), substituída pela limpeza a seco com jatos de ar, realizada nas mesas alimentadoras ou nas esteiras transportadoras, em diferentes configurações (posição relativa dos jatos de ar, número de estágios de limpeza), afetando o tipo das esteiras, que podem ser em lençol de borracha ou com taliscas metálicas. Não obstante, no caso de extração com difusores, os sistemas de limpeza a seco ainda não são suficientemente eficientes para os períodos chuvosos e instalações reduzidas para lavagem de cana ainda são adotadas.

Extração

A preparação da cana, que nos anos noventa se efetuava tipicamente com um nivelador, um picador e um ou dois desfibradores com facas e martelos oscilantes, tem sido paulatinamente simplificada para o uso de apenas um desfibrador pesado, mantendo a qualidade de preparo com menor consumo de potência e manutenção.

Durante a última década, o processo de extração nas usinas brasileiras vem sendo disputado pelas moendas, que produzem o caldo basicamente pela pressão do leito de cana preparada entre rolos e pelos difusores, em que o caldo é produzido pela lixiviação da cana preparada com água quente. Apesar da expressiva evolução da tecnologia de moagem de cana, incorporando inovações como a embebição cruzada e adaptações que ampliaram a extração e a capacidade de processamento, há um crescente interesse em adotar difusores nas novas usinas de açúcar e etanol no Brasil, que estariam sendo empregados por quase um terço das usinas construídas nos últimos anos e representariam a melhor opção, especialmente para plantas priorizando a produção de etanol, Figura 19. Em alguns países, como África do Sul, os difusores praticamente já deslocaram as moendas nas usinas de açúcar. Entretanto, no contexto brasileiro, efetivamente não existe ainda uma clara unanimidade a favor dessa tecnologia.

Afirmam os defensores dos difusores que suas principais desvantagens frente às moendas, como algum consumo adicional de bagaço e menor qualidade do caldo misto (pelo que entendo, o caldo misto dos difusores são mais limpos que os das moendas), são compensadas pela maior extração, menor custo de manutenção e maior capacidade de exportar energia elétrica excedente, já que consomem menos vapor de alta pressão. Por seu lado, os partidários das moendas argumentam que essa tecnologia é mais flexível, sendo possível trabalhar bem com até um terço da capacidade nominal, como eventualmente necessário durante a implantação da indústria, e processar matéria prima de qualidade desigual, com menor consumo de vapor.



Figura 19: Difusor instalado em usina brasileira (Sermatec, 2008)

No caso de usinas de grande porte, a maior capacidade unitária aparentemente tem favorecido as moendas. Para essa tecnologia de extração, que além dos sistemas de embebição cruzada, atualmente incorpora sistemas de controle da alimentação de matéria prima e da rotação individual dos rolos, se discutia há alguns anos qual acionamento adotar entre turbina a vapor, motor hidráulico ou motor elétrico. Atualmente, por conta da maior eficiência e maior facilidade de controle, empregando inversores eletrônicos de frequência, os motores de indução trifásicos representam a melhor alternativa, geralmente sendo instalados, para cada terno de moenda, três motores elétricos com redutores planetários, mais um motor elétrico para o rolo de pressão.

Tratamento do caldo

Para o tratamento do caldo, geralmente simplificado no caso da produção exclusiva de etanol e de maior relevância para a produção de açúcar, durante os últimos anos diversas tendências tecnológicas foram se consolidando, quase sempre incorporando sistemas de controle e automação. Um bom exemplo são os decantadores rápidos, que exigem a remoção do bagacilho e devem obrigatoriamente operar de forma automatizada, pois o baixo tempo de residência impõe variações limitadas nas propriedades do caldo processado.

Para os processos de aquecimento do caldo e particularmente com relação aos regeneradores de calor, tem sido adotados trocadores de contato direto, que operam de forma contínua sem necessitar de paradas para limpeza, ou trocadores de placas, que apresentam melhor desempenho energético e apesar de precisarem de limpezas frequentes, tem predominado nas usinas mais modernas. No caso dos evaporadores, de forma similar, podem ser adotadas configurações tubulares ou em placas, mas nesse caso as exigências de limpeza têm favorecido os evaporadores tubulares.

Ainda com relação ao tratamento do caldo, para o processamento do lodo as opções tem sido o tradicional filtro rotativo a vácuo e a prensa desaguadora, em que o lodo é comprimido progressivamente entre duas telas. Esse último equipamento vem predominando por seu menor custo inicial e por fornecer um caldo filtrado mais claro e uma torta com menor umidade, apesar de requerer grandes volumes de água na lavagem da tela, que devem ser desejavelmente fornecidos pela reciclagem das correntes existentes na própria usina.

Fermentação

Para esse relevante processo, em que se observaram os incrementos de rendimento mais expressivos, como mostrado na Tabela 8, há alguns anos se discutia se a fermentação contínua seria superior a em bateladas, considerando o uso de mosto com caldo puro ou com caldo e mel. Mais recentemente ficou claro o predomínio dos processos em batelada, mesmo no caso de caldo puro, mas associados a sistemas de automação, com custos operacionais aceitáveis e maior flexibilidade para trabalhar com mostos variáveis (frequente no Brasil) e apresentando provavelmente uma eficiência de fermentação ligeiramente melhor.

Como fatores adicionais que diferenciam favoravelmente a fermentação por batelada, a fermentação contínua apresenta maiores dificuldades no caso de contaminação, pelas limitações para promover assepsias freqüentes e tratar de modo específico a levedura de fermentadores diversos. O insucesso com a fermentação contínua em plantas de etanol de cana em outros países também favoreceu os processos em bateladas, que, como última e relevante vantagem, ainda permite elevar o teor alcoólico do vinho, reduzindo o volume de vinhaça produzida e promovendo um incremento da capacidade útil dos equipamentos.

Visando melhorar o desempenho desse processo, os objetivos principais são reduzir o tempo de fermentação (24 horas em 1975 e 4-6 horas em 2005) e produzir vinho com maior teor alcoólico (7,5% em 1975 e 8-9% em média em 2005, com algumas usinas alcançando 10%) (Oliverio, 2008), mantendo um rendimento elevado na conversão dos açúcares e com custos competitivos. Segundo Rossell (2008), o maior desempenho na fermentação pode ser obtido em unidades projetadas com conceito sanitário, seja em processo batelada ou contínuo, operando com temperatura limite de 32°C, dupla centrifugação e linhagens otimizadas de leveduras. Ainda nesse sentido, Finguerut (2006) sugere algumas possíveis linhas de ação:

- reduzir a temperatura de fermentação ou desenvolver uma população fermentativa altamente adaptada à temperaturas elevadas e agressiva em relação às outras populações termo-tolerantes;
- reduzir o volume de vinhaça gerada com aumento do teor alcoólico e/ou reciclo do efluente ou de sua fração aquosa;
- reduzir o consumo ou substituir o ácido sulfúrico;
- encontrar alternativa ao emprego de antibióticos;
- encontrar alternativas à utilização de nitrogênio e potássio;
- reduzir o custo da centrifugação no reciclo celular, mantendo sob controle as perdas de fermento e a rejeição de bactérias e sólidos;

- padronizar os métodos de análise da fermentação.

Uma inovação possivelmente promissora, mas ainda limitadamente adotada, é o emprego de chillers por absorção, que utilizam o calor de baixa temperatura disponível no condensado ou no vapor de escape para produzir água fria usada para manter as dornas de fermentação na faixa de 28 a 29 °C, tornando possível obter vinhos com alto teor alcoólico final de 15%, com as vantagens já mencionadas.

Destilação

No processo de separação de etanol do vinho são necessárias duas fases: a produção do etanol hidratado (por destilação e retificação) e sua posterior desidratação, fase que usualmente emprega a adição de ciclohexano (CH) e a destilação extrativa da mistura ternária resultante. Frente às progressivas exigências de substituição do ciclohexano, também tem sido adotada a desidratação com mono etileno glicol (MEG).

Para definir o processo de destilação, a eficiência energética tem sido um fator de importância crescente e com esse propósito passaram a ser adotados sistemas com múltiplos efeitos (2 efeitos: vácuo e atmosférico, e 3 efeitos: vácuo, atmosférico e sobre-pressão), levando a um menor consumo de vapor. Entretanto, considerando a capacidade típica dos equipamentos empregados nas usinas brasileiras, a operação sob vácuo traz relevantes dificuldades construtivas e que implicam em custos elevados, que ainda desestimula a ampla adoção dos equipamentos mais eficientes.

As peneiras moleculares, extensamente adotadas na produção de etanol em outros países, constituem a alternativa principal à destilação para a desidratação final do etanol, mas ainda pouco usada no Brasil. Essa tecnologia utiliza zeólitos sintéticos (estruturas cristalinas de alumínio-silicatos) como elemento desidratante operando em ciclos regenerativos e com um consumo de vapor significativamente menor que as colunas de destilação. Não obstante, nos últimos anos a desidratação de etanol por meio de pervaporação tem se mostrado crescentemente competitiva. Essa tecnologia, capaz de reduzir significativamente o consumo de energia, promove a separação da água e do álcool pela diferença da permeabilidade através de membranas poliméricas. Naturalmente que a opção a ser escolhida vai depender do quadro de custos e benefícios a cada caso. A Tabela 10 apresenta valores indicativos para as demandas energéticas de referência na desidratação de etanol (CGEE, 2007).

No âmbito do processo de destilação também tem sido considerada a concentração de vinhaça, buscando racionalizar os custos operacionais para sua distribuição na lavoura e atender eventuais restrições ambientais associadas à captação de água bruta. Ainda nesse sentido tem aumentado o interesse na produção de metano a partir de vinhaça com o uso de reatores anaeróbios tipo UASB (Up-flow Anaerobic Sludge Blanket) operando com bactérias termofílicas em temperaturas ao redor de 56 °C e taxas de aplicação na faixa de 8 a 10 kg DQO/m³/dia. Essa tecnologia reduz de forma interessante a DQO desse efluente e amplia o campo de sua utilização como fertilizante, mas suas vantagens econômicas estão para ser cabalmente demonstradas.

Tabela 10: Consumo de energia na desidratação de etanol

Tecnologia empregada	Consumo de vapor ¹	Consumo de energia elétrica	Energia primária total
	kg/m ³ de etanol anidro	kWh/m ³ de etanol anidro	MJ/m ³ de etanol anidro
Destilação com ciclohexano convencional	1750	-	5,33
Destilação com ciclohexano otimizada	1450	-	4,45
Destilação com ciclohexano a 3 efeitos	580	23	1,82
Absorção com MEG	750	15	2,40
Pervaporação	110	35	0,52
Peneiras moleculares	550	19	1,81

¹ vapor de processo a diferentes pressões - Fonte: CGEE, 2007

De um modo geral e válido para todos os grupos de processos apresentados, os equipamentos e sistemas têm sido, em boa parte, concebidos e produzidos no Brasil, com o desenvolvimento tecnológico oferecendo novas opções tanto para a produção de etanol como de açúcar, em um processo sinérgico e estimulado pelas exigências de competitividade e dos órgãos ambientais. Uma avaliação econômica comparativa da introdução de inovações tecnológicas para incrementar o rendimento no processo de produção de etanol de cana-de-açúcar mostrou vantagens econômicas relevantes a favor do incremento da produtividade, em resultados em princípio generalizáveis (Chaves, 2006).

Não obstante, é importante observar que a existência de uma técnica ou procedimento com vantagens de desempenho, produtividade ou mesmo custo não assegura sua imediata absorção pela indústria, sendo necessário cotejar estas opções com outras possibilidades de investimento e considerar as restrições financeiras sempre presentes. A adoção de uma nova tecnologia depende, entre outros fatores, da capacidade e perfil de produção (etanol/açúcar) de cada planta, dos preços e custos atuais e prospectivos, da idade dos equipamentos em uso, da configuração dos mercados de açúcar, etanol e eletricidade e, naturalmente, da propensão a adotar inovações de cada empresa.

1.1.3.3 Estimativas dos valores prospectivos em 2015

Mesmo considerando a intensa e diversificada dinâmica tecnológica apresentada no tópico anterior, estabelecer cenários com valores de rendimentos industriais para os próximos cinco anos é relativamente imediato, essencialmente por dois motivos: as unidades que deverão entrar em operação nesse período estarão muito provavelmente empregando as melhores tecnologias atualmente disponíveis e, como visto, devido à relativa saturação dos rendimentos que caracterizam o processo industrial, as variações possíveis são relativamente pequenas, no entorno

dos valores máximos observados hoje em dia. Em outras palavras, o cenário médio tende a se alterar exatamente devido à entrada das novas usinas, cujos indicadores deverão ser coerentes com os melhores valores atualmente disponíveis. Embora existam no horizonte diversas tecnologias "radicais" (expressão de Macedo, 2007), como a hidrólise de celulose e a gasificação de biomassa, é difícil imaginar que estejam disponíveis em escala comercial até 2015.

Sob tais pressupostos, considerando os valores identificados na Tabela 1 para as melhores usinas na safra 2007/2008 (CTC, 2008) e os valores de rendimento similares apresentados em 2006 como metas para 2015 no estudo do Projeto NIPE/CGEE (Fase 2) sobre a expansão da produção de etanol no Brasil (CGEE, 2007), foram estabelecidos os rendimentos máximos apresentados na última coluna da . Como esperado, as alterações indicadas na tabela anterior são pequenas face aos valores atualmente observados, mas podem representar ganhos expressivos considerando os volumes processados. Com um projeto e operação otimizados para proporcionar rendimentos nessa faixa, se espera que uma destilaria produza 91 litros de etanol anidro por tonelada de cana (assumida com um teor de sacarose aparente (Pol%cana) de 14,5%), com um consumo de vapor de processo de cerca de 353 kg/tc e eletricidade de 28 kWh/tc (CGEE, 2007). Como comentado no início dessas notas, a qualidade da matéria prima influencia bastante a produtividade industrial e considerando o provável incremento do teor de açúcares nas novas variedades que deverão ser disponibilizadas nos próximos anos, poderão se obtidas produtividades próximas a 97 litros de etanol anidro por tonelada de cana. Observe-se ainda que atualmente já são oferecidas no mercado brasileiro usinas de etanol com um consumo de vapor da ordem de 300 kg/tc.

Assim, para o preparo da cana foi admitida a plena adoção da limpeza a seco nas novas unidades (com um baixíssimo uso de uma estação auxiliar de lavagem para os períodos chuvosos no caso das usinas em que o processo assim o exigir), para a extração assumiu-se um processo de moagem com incrementos marginais no desempenho atualmente alcançado, para o tratamento do caldo, a fermentação e a destilação se manteve o valor máximo atual, que já que para esses processos os melhores rendimentos medidos na última safra se encontravam acima da meta sugerida em 2006.

Tabela 11: Rendimentos mássicos na produção de etanol esperados para 2015

Parâmetro	média	máximo
Rendimento na lavagem da cana (%)	99,7	99,99
Rendimento na extração (%)	96,4	97,50
Rendimento no tratamento do caldo (%)	99,6	99,96
Rendimento na fermentação (%)	90,5	91,50
Rendimento na destilação (%)	99,8	99,95

Fonte: elaborado pelo autor

Para estimar os valores médios nesse mesmo horizonte, considerando que parte das usinas em operação deverão introduzir os aperfeiçoamentos em seus processos e que nem todas as novas unidades deverão operar na fronteira dos maiores rendimentos, assumiu-se que metade da atual capacidade instalada e o incremento previsto de capacidade deverão alcançar rendimentos médios entre os melhores

valores e os valores médios observados na última safra. Como índice ("proxy") da capacidade instalada na agroindústria, adotou-se a produção de etanol no Brasil, 22,5 Mm³ na safra 2007/2008 (MAPA, 2009) e para 2015 utilizou-se a projeção apresentada no Plano Nacional de Energia, 36,0 Mm³ (EPE, 2007). Certamente é um procedimento arbitrário e preliminar, passível de ajustes na medida em que mais dados e melhores informações estejam disponíveis e que ilustra suficientemente o reduzido nível de perdas e o amadurecimento alcançado pelas tecnologias convencionais, sendo interessante observar que se espera uma redução das diferenças entre a média e as melhores usinas.

Como esperado, as alterações indicadas na tabela anterior são pequenas face aos valores atualmente observados, mas podem representar ganhos expressivos considerando os volumes processados. Com um projeto e operação otimizados para proporcionar rendimentos nessa faixa, se espera que uma destilaria produza 91 litros de etanol anidro por tonelada de cana (assumida com um teor de sacarose aparente (Pol%cana) de 14,5%), com um consumo de vapor de processo de cerca de 353 kg/tc e eletricidade de 28 kWh/tc (CGEE, 2007). Como comentado no início dessas notas, a qualidade da matéria prima influencia bastante a produtividade industrial e considerando o provável incremento do teor de açúcares nas novas variedades que deverão ser disponibilizadas nos próximos anos, poderão se obtidas produtividades próximas a 97 litros de etanol anidro por tonelada de cana. Observe-se ainda que atualmente já são oferecidas no mercado brasileiro usinas de etanol com um consumo de vapor da ordem de 300 kg/tc.

Possivelmente as modificações de caráter tecnológico mais relevantes para o incremento da produtividade da agroindústria canavieira durante esse período esteja relacionada com a introdução de sistemas de cogeração otimizados, com maior geração de excedentes e uso mais racional do bagaço.

1.1.3.4 Estimativas dos valores prospectivos em 2025

Na medida em que os horizontes de projeção se afastam, as previsões se tornam mais difíceis, seja devido à ampliação do número de possibilidades e arranjos tecnológicos, muitos dos quais hoje ainda estão nas bancadas dos laboratórios, seja também pelas incertezas do contexto em que essa agroindústria deverá se desenvolver nos próximos anos, com destaque para os preços dos vetores energéticos no Brasil e em outros países, evolução das tecnologias energéticas concorrentes, mecanismos de combate às emissões de gases de efeito estufa, entre outros fatores exógenos relevantes.

Para estabelecer uma configuração provável para a agroindústria do etanol em 2025, nos próximos parágrafos se comenta separadamente a evolução incremental dos processos convencionais, como efetuado no tópico anterior, onde as incertezas são aparentemente menores, discutindo-se em seguida as perspectivas mais inovadoras e revolucionárias, particularmente considerando a introdução dos processos de valorização de materiais celulósicos e efluentes industriais, seja para produção de biocombustíveis líquidos, seja para geração de energia elétrica.

Exatamente com o propósito de explorar essas possibilidades e fundamentar a formulação de políticas públicas no âmbito da expansão sustentável da produção de etanol no Brasil, o esforço mais aprofundado e articulado é o conjunto de estudos resultante dos convênios entre o CGEE, Centro de Gestão de Estudos Estratégicos e o Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético, NIPE, da Universidade

Estadual de Campinas, desenvolvidos desde 2005 sob a orientação do Prof. Rogério Cezar de Cerqueira Leite. Na segunda fase desse projeto, envolvendo um grupo expressivo de especialistas, entre outros temas, foi analisada a evolução e o impacto das novas tecnologias industriais até o ano 2025, principalmente a partir das contribuições do consultor Dr. Carlos E. Vaz Rossell, e constituem a base para o cenário apresentado a seguir, que assume a continuidade do progressivo aperfeiçoamento das tecnologias convencionais, como apresentado nos tópicos anteriores (CGEE, 2007).

Nessas condições, em uma destilaria a ser instalada em 2025, a limpeza da cana deverá ser efetuada por processos a seco com eliminação do emprego de água, com o preparo e a extração eletrificados, utilizando moendas otimizadas ou difusores. Para o tratamento do caldo se prevê pré-evaporação com 6 efeitos e esterilização do mosto, alimentando fermentadores contínuos com vinho final acima de 12^oGL e sistemas de resfriamento auxiliares para temperaturas inferiores a 28^oC, sem uso de ácido sulfúrico e antibióticos. Finalmente, a destilação e retificação deverá empregar sistemas automatizados com alta capacidade, em múltiplo efeito (3 efeitos), utilizando termocompressão e vácuo, e para a desidratação sendo adotadas as peneiras moleculares ou ainda sistemas mais inovadores como pervaporação em membranas. Rossell (2008) sintetizou os resultados que podem ser obtidos com uma destilaria operando nessas condições, cujas tecnologias estão basicamente disponíveis hoje em dia, embora ainda não totalmente viabilizadas economicamente: rendimento de 92,5 litros de etanol anidro por tonelada de cana (com 14,5 de Pol%cana), consumo de vapor da ordem de 372 kg/tc e consumo de energia elétrica de 28 kW/tc, apresentando ainda uma produção de vinhoto de 3 litros por litro de etanol e uma geração de energia elétrica excedente de 160,2 kWh/tc, resultante de sistemas de cogeração operando a 90 bar e 520^oC e uso parcial dos resíduos lignocelulósicos da colheita. Novamente cabe recordar o importante impacto da qualidade da matéria prima: para canas com 15,5 de Pol%cana, como se espera estejam disponíveis nesse período, a produtividade industrial seria da ordem de 100 litros de etanol anidro por tonelada de cana.

Os valores esperados de rendimentos para os principais grupos de processos nesse cenário constam da Tabela 12. Para a limpeza da cana foi assumido o mesmo rendimento estimado para 2015, já praticamente no valor máximo possível. Assim, possivelmente apenas os processos de extração e fermentação deverão apresentar ainda alguma evolução relativamente importante em termos de rendimento mássico. Essa tabela se refere aos valores correspondentes a uma destilaria nova, sendo difícil afirmar quais poderiam ser nesse caso os níveis médios e máximos para a agroindústria, como apresentado anteriormente.

Tabela 12: Rendimentos mássicos na produção de etanol esperados para 2025

Parâmetro	
Rendimento na lavagem da cana (%)	99,99
Rendimento na extração (%)	98,00
Rendimento no tratamento do caldo (%)	99,75
Rendimento na fermentação (%)	92,00
Rendimento na destilação (%)	99,75

Fonte: Rossell, 2008

Com relação às tecnologias inovadoras, para as quais ainda subsistem incertezas, considerando os objetivos do presente trabalho, serão sinalizadas as tendências mais importantes. Com efeito, são bastante diversificadas as possibilidades de se alterarem os processos industriais, não apenas visando ampliar a produção de energia, mas também contemplando a fabricação de intermediários químicos diversos, plásticos biodegradáveis, produtos para alimentação animal, entre outros produtos. Um diagnóstico da agroindústria canavieira no Brasil realizado em 2005 apontava mais de 60 tecnologias empregando a cana-de-açúcar como matéria-prima em diferentes setores industriais (IEL/Sebrae, 2005), espectro que tende a crescer, agregando valor à produção e convertendo as atuais usinas em "biorefinarias", unidades produtoras complexas e flexíveis, integrando processos e utilizando correntes atualmente de pouco valor (BNDES, 2008).

As tecnologias cujo desenvolvimento pode trazer maior impacto para a produtividade global dessa agroindústria se referem ao aproveitamento parcial dos resíduos sólidos da lavoura (pontas e folhas da cana) e bagaço da cana: o uso desses materiais mediante processos de hidrólise ou gaseificação visando à produção de combustíveis líquidos ou sua utilização em sistemas avançados de geração de energia elétrica. Mesmo restringindo os cenários prospectivos apenas a essas duas alternativas, existe efetivamente uma grande diversidade de possibilidades e configurações, aparentemente todas elas factíveis dependendo das condições de mercados (demandas, custos e preços, especificações, desempenhos, etc.). Em um exercício exploratório, como a matéria prima é a mesma, convém agregar essas possibilidades em dois grupos: para maximizar a produção de biocombustíveis, que em médio prazo poderia significar a produção adicional de 37 a 40 litros de etanol/tc, ou para elevar a geração de energia elétrica, que poderia alcançar, com as tecnologias convencionais (turbinas a vapor) excedentes entre 140 e 150 kWh/tc e empregando gaseificadores de biomassa associados a turbinas a gás, mais de 180 kWh/tc (Seabra, 2008).

Poderiam ser citados ainda, no âmbito das possibilidades de desenvolvimento tecnológico de interesse para a agroindústria do etanol de cana, algumas tecnologias de proposição mais recente e que tem despertado grande interesse, embora se conheça relativamente pouco do desempenho dos processos, dos custos fixos e variáveis envolvidos e portanto ainda estejam por ser melhor sinalizado o seu potencial e perspectivas de viabilidade econômica. A primeira dessas tecnologias é a produção de biocombustíveis (ésteres) similares ao diesel por processos biossintéticos empregando microrganismos desenvolvidos especialmente com esse propósito e utilizando como substrato açúcares, do caldo de cana ou

eventualmente resultantes dos processos hidrolíticos. Esse processo foi desenvolvido pela empresa norte-americana Amyris Biotechnologies, que desde julho de 2009 opera uma unidade de demonstração com um fermentador de 5.000 litros no Parque Tecnológico de Campinas, tendo constituído uma *joint-venture* com uma empresa brasileira Crystalsev com planos para comercializar esse biocombustível a partir de 2011 (Amyris, 2009). Empregando um processo análogo, também poderia ser citada a produção de butanol, atualmente fabricado em plantas petroquímicas e com amplo uso como solvente industrial, mediante rotas bioquímicas utilizando materiais lignocelulósicos como matéria-prima, para uso como aditivo à gasolina (DuPont, 2008). Uma terceira rota, ainda nas bancadas, é a produção de etanol mediante gaseificação de resíduos e biossíntese, fazendo circular o gás de síntese contendo monóxido de carbono e hidrogênio em uma fase aquosa com microorganismos especializados (ver, por exemplo, Cotter et al. 2009 e Datar et al., 2004). É interessante constatar que esses processos têm em comum o fato de se basearem em rotas biotecnológicas avançadas.

Em todos os casos prováveis e conhecidos, os níveis de rendimento mássico se mantêm elevados, com aproveitamento praticamente integral da matéria prima, utilizando recursos energéticos disponíveis no próprio sistema produtivo. Nesse sentido, o processo industrial utiliza uma matéria prima resultante de um processo agrônômico de alto desempenho, acumulando energia solar de forma eficiente e permitindo atender todas necessidades de processo produtivo e ainda gerar excedentes significativos.

Análise e comentários dos cenários estudados

Certamente as oportunidades de incremento da produtividade e da eficiência energética na área industrial da agroindústria energética da cana-de-açúcar não apresentam perspectivas tão elevadas como observadas na área agrícola, mas nem por isso são menos importantes. Além do valor do incremento da produção, são igualmente decisivos os valores dos custos associados e dos efeitos de diversificação alcançados, bem como são relevantes os aspectos estratégicos das novas tecnologias no sentido de ampliar a sustentabilidade dessa agroindústria. Desse modo, por exemplo, a utilização de sistemas de extração por difusão, embora não signifique expressivos ganhos em níveis de extração, comparativamente às moendas, corresponde a menores demandas de energia mecânica e maiores consumos de vapor de baixa pressão, que favorece a produção de excedentes de energia elétrica nos sistemas de cogeração.

Os cenários estabelecidos pelos valores de rendimento industrial confirmam as assertivas iniciais: na produção de etanol, como efetuada na atualidade e considerando a evolução prevista para os próximos anos, os processos industriais apresentam nexos ambientais sem impactos relevantes, com elevada reciclagem de subprodutos e um nível de perdas de açúcares efetivamente muito baixo. A grande incerteza, na direção favorável, ainda se dá com relação à introdução das tecnologias inovadoras, cujo amadurecimento era esperado com maior velocidade do que aparentemente se mostra na atualidade, em ambos os casos mais destacados, hidrólise/gaseificação de resíduos para a produção de biocombustíveis e gaseificação para geração de energia elétrica. Cabe reconhecer que as dificuldades inerentes à transição das escalas de pesquisa e desenvolvimento, nas quais os controles das variáveis e as condições de assepsia (no caso dos processos bioquímicos) são mais fáceis, para as escalas necessárias na agroindústria energética, representam desafios consideráveis. O importante esforço da

comunidade científica mundial nessa direção, com aportes em nível de ciência básica e aplicada, efetivamente mostra um avanço significativo na compreensão e modelagem desses processos, que oportunamente deverão conduzir à sua desejável implementação prática. Além disso, e possivelmente mais importante, as condições de contorno, determinadas basicamente pelos preços das energias convencionais e disposição a investir, não foram as mais favoráveis, sobretudo devido às instabilidades e volatilidades nos últimos anos. Nesse sentido cabe reiterar o papel do Estado como agente mitigador das incertezas econômicas, visando fomentar investimentos que, sem uma expectativa razoável de rentabilidade, não irão ocorrer de forma saudável.

De todo modo, os principais fatores que tem promovido os biocombustíveis e principalmente o etanol de cana-de-açúcar com uma das mais promissoras alternativas energéticas, como a necessidade de reduzir as emissões de gases de efeito estufa e reduzir a dependência dos combustíveis fósseis, permanecem crescentemente vigentes e impõem a sua expansão, seja no marco de avanços tecnológicos incrementais ou revolucionários.

1.2 Comentários sobre a "renovabilidade" efetiva dos combustíveis

1.2.1 Introdução

Como definido pela Comissão Brundtland nos anos 1980, espera-se que os sistemas energéticos sejam capazes de "satisfazer às necessidades das gerações atuais sem comprometer as futuras, atendendo ao equilíbrio social e ecológico bem como às necessidades dos mais pobres" (United Nations, 1987). Contudo, determinar a sustentabilidade de um sistema energético não é uma tarefa simples e depende não apenas do vetor energético em si, mas, fundamentalmente, do contexto de sua produção e utilização.

Não obstante, o estudo quantitativo da sustentabilidade da bioenergia se impõe de forma crescente, para delimitar sua racionalidade e instrumentar os processos de análise dos impactos associados às diversas formas e cadeias de produção dessa forma de energia. Devido à heterogeneidade própria da bioenergia, são bastante diversificados os contextos a considerar, que incluem desde os casos onde o acréscimo da participação de bioenergéticos na matriz energética pode ocorrer em bases racionais, como na utilização de resíduos lignocelulósicos para produção de eletricidade, até as situações onde é preciso restringir seu uso devido aos impactos ambientais, como na produção de lenha associada ao desmatamento de formações nativas. Entre esses casos limite, onde a bioenergia é vista como a solução mais factível e sustentável ou como um problema a superar, existe uma larga faixa de possibilidades a analisar, ainda não bem definidas quanto à viabilidade e necessitando de um instrumental de avaliação e indicadores, para orientar a produção e uso adequados de produtos bioenergéticos bem como para determinar os contextos onde a bioenergia potencialmente significa uma opção robusta e desejável.

Essa temática ganha ainda mais relevo ao ser discutir a adoção de metas de redução das emissões de gases de efeito estufa, algumas vezes associadas à participação das energias renováveis, no âmbito dos acordos internacionais relacionados ao meio ambiente e ao desenvolvimento. Com efeito, há uma fundamentada convicção de que ao substituir as formas fósseis e convencionais de

suprimento energético, as energias renováveis aportam vantagens ambientais locais e globais, cabendo prover os mecanismos para superar os obstáculos que eventualmente se antepõem à sua expansão, relacionados principalmente à informação e à viabilidade econômica. Nesse sentido, o caso da biomassa é particularmente importante, por significar uma forma energética relativamente bem conhecida e de grande potencial, capaz de fornecer soluções efetivas e viáveis, porém paradoxalmente podendo também ser a causa de impactos irreversíveis quando os biomas são explorados além de sua capacidade de regeneração. Exatamente por essa falta de clareza em seus benefícios e limites que as bioenergias tem sido consideradas com compreensível dificuldade nos mencionados acordos, sugerindo-se uma subdivisão das bioenergias em tradicionais e modernas, sendo apenas essas últimas incluídas no grupo das “novas energias renováveis” (Goldemberg e Coelho, 2003).

O fato concreto é que realmente existem muitos e diversificados contextos para as bioenergias, sendo imperioso evidenciar os casos positivos a reproduzir e os casos negativos a combater. A sustentabilidade das bioenergias tem sido objeto de intensa discussão na comunidade energética e estas notas pretendem contribuir com uma breve revisão conceitual e um delineamento metodológico para avaliar o nível de sustentabilidade de sistemas bioenergéticos. Nesse sentido se considera particularmente útil a conceituação de renovabilidade e sustentabilidade, como se procura desenvolver a seguir, oferecendo elementos para a eventual certificação de biocombustíveis sob tais critérios.

1.2.2 Energias renováveis e sustentabilidade: fundamentos e conceitos

A vertiginosa evolução da demanda energética nas sociedades modernas, em quantidade e complexidade de vetores energéticos utilizados, associada à crescente consciência das implicações ambientais e econômicas de um modelo energético extrativista, explica o interesse pelas fontes renováveis de energia. Estas fontes podem ser definidas como as formas primárias de energia obtidas a partir de fluxos naturais, como a radiação solar e o fluxo de calor geotérmico, sendo evidente que tais formas energéticas devem ser exploradas de forma adequada e responsável, pois níveis exagerados de utilização podem ser predatórios e exaurir o recurso, que pode ser renovável, mas não é necessariamente ilimitado. Este é, por exemplo, o caso dos campos geotérmicos, que quando sobre explorados se esfriam e perdem a capacidade de gerar energia útil. Analogamente, uma reserva florestal natural ou uma área cultivável pode ser explorada de forma permanente, desde que dentro de níveis de produção associados ao incremento anual de biomassa disponível em bases sustentáveis, além do que se passa a esgotar o recurso energético.

Renovabilidade

Como ponto de partida, é interessante constatar que, conforme postulado pela Primeira Lei da Termodinâmica, a quantidade de energia do Universo é constante, apenas modificando-se de uma forma a outra mediante processos de conversão energética. Desse modo, em princípio, energia não se consome, não desaparece e ao referir-se ao esgotamento ou reposição de uma reserva energética, efetivamente se estaria considerando as taxas de saída e eventual reposição de energia através de processos naturais em um dado intervalo de tempo, o que poderia impor a menção ao tempo na definição da renovabilidade. Adicionalmente, é preciso também observar que, em escala universal, os estoques energéticos tem sido permanentemente abastecidos a partir das reações nucleares e conseqüente

conversão de massa em energia no material estelar, fazendo com que, a rigor, o que se conserva é a soma da energia e de parte da massa do Universo, em seu equivalente energético.

Não obstante, como impõe a Segunda Lei da Termodinâmica, os processos de conversão energética são necessariamente irreversíveis e em sua inexorável geração de entropia e tempo, "consomem" de forma permanente e irrecuperável qualquer que seja a reserva energética, que paulatinamente se converte em energia térmica de baixa temperatura, que não pode ser mais convertida em outras formas de energia. Em síntese, pela Primeira Lei da Termodinâmica todas as energias seriam renováveis, mas como mostra a Segunda Lei, todas formas energéticas seriam realmente esgotáveis e finitas, em uma escala universal. Estes aspectos aparentemente controversos podem ser compatibilizados através do tratamento exergético dos recursos naturais (Nogueira, 1997), entretanto além dos limites do presente estudo.

Escapando desse dilema, e aceita de um modo quase implícito pela comunidade energética, a definição a seguir permite classificar sem dificuldades as fontes energéticas:

renovabilidade: característica associada à possibilidade física de reposição, mediante processos naturais e em escalas de tempo humanas, das reservas associadas a uma determinada fonte energética.

Assim, as energias renováveis compreendem a ampla gama de energias primárias baseadas na radiação solar incidente sobre a Terra (energia hidráulica, eólica, solar, bioenergias, das ondas, etc.) e algumas outras energias renováveis "não solares", como a geotérmica e a das marés. Naturalmente que as energias renováveis não incluem as energias de estoque ou fósseis, como o petróleo, o gás natural e os materiais de interesse para reações atômicas ou nucleares.

Sustentabilidade

O conceito de sustentabilidade envolve aspectos ambientais, energéticos, sociais e econômicos, correspondendo ao envoltório de restrições que devem cumprir as cadeias de produção e uso de energia para serem aceitas como desejáveis, especialmente em bases comparativas. Efetivamente, como já adiantado, não se trata de conceito delimitável de forma simples, associando-se a aspectos muitas vezes pouco conhecidos ou susceptíveis de alterações segundo a forma de ponderação, como pode ser a aceitabilidade social e as emissões de gases de efeito estufa, cujas metodologias de avaliação ainda estão em fase de consolidação. Nesse quadro, a renovabilidade é um pressuposto necessário, mas não suficiente, podendo se sugerir preliminarmente a seguinte definição:

sustentabilidade: possibilidade dos sistemas energéticos se manterem saudáveis, estáveis e produtivos sem deplecionar suas reservas naturais, dentro de um marco de viabilidade econômica e aceitabilidade social.

Abstraindo os condicionantes sócio-econômicos e sob o pressuposto básico do atendimento aos requerimentos ambientais na concepção, implementação e operação, que poderiam ser expressos pela legislação ambiental, os sistemas

energéticos baseados em fontes renováveis podem ter sua sustentabilidade energética (restrita nesse caso aos aspectos da oferta) avaliada de modo preliminar e qualitativo com auxílio de alguns critérios:

Energias solar, eólica, geotérmica: em princípio renováveis e sustentáveis, podendo a sustentabilidade ser avaliada localmente, de acordo com as implicações caso a caso.

Energia hidrelétrica: renovável e sustentável, podendo as unidades geradoras de grande capacidade balizar sua sustentabilidade de acordo conforme diretrizes como aquelas apresentadas pela World Commission on Dams (Palmieri, 2001).

Bioenergias: em suas diversas formas, os vetores bioenergéticos podem ser considerados renováveis quando o carbono emitido em sua combustão puder ser majoritariamente reabsorvido no processo fotossintético de produção da matéria prima (BERC, 2004). Além do requisito de renovabilidade, a sustentabilidade da bioenergia deve ser avaliada caso a caso, regionalmente ou localmente, como se comenta a seguir.

Sustentabilidade das bioenergias

No âmbito das fontes energéticas, as bioenergias se apresentam possivelmente como os casos mais complexos na determinação da sustentabilidade. Estão disponíveis na literatura alguns estudos analisando conceitualmente esse tema, sendo interessante mencionar o esforço pioneiro envolvendo um grupo de países de clima temperado, buscando estabelecer indicadores de sustentabilidade para as atividades florestais, sobretudo após a Conferência sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento no Rio de Janeiro em 1992. Este debate levou ao compromisso firmado na Declaração de Santiago em 1995, estabelecendo critérios (biodiversidade, manutenção da capacidade produtiva, manutenção da sanidade e vitalidade dos ecossistemas, conservação dos solos e dos recursos hídricos, contribuição ao ciclo de carbono e benefícios sócio-econômicos) e 67 indicadores para balizar a certificação ambiental de produtos dessas formações florestais, a partir de tais pressupostos de sustentabilidade (Forest Service/USDA, 1996). Mais recentemente, abordagens similares têm sido sugeridas para os biocombustíveis líquidos, como se verá adiante.

Hoje em dia a sustentabilidade ainda permanece um tema aberto. Sobretudo quando envolve ecossistemas e aproveitamento dos fluxos bioenergéticos, se observa uma polarização entre as visões utilitarista e preservacionista, a ser mediada e harmonizada, de forma manter e promover em níveis desejáveis as atividades produtivas e a proteção ambiental, certamente dependentes da perspectiva política e ideológica adotada. Tal discussão extrapola os propósitos da presente nota, mas cabe constatar que adicionalmente aos aspectos técnicos e quantificáveis, existem inúmeros fatores subjetivos e conceitos ainda pouco definidos, como equilíbrio de ecossistemas, processos auto-organizados e qualidade de vida, que cumpre aprofundar. Não obstante, buscando pragmaticamente um modo de escapar da cilada das indefinições e dos temas controversos e abstratos, uma conceituação mais restrita de sustentabilidade, operacional e de aplicação imediata estaria associada à possibilidade dos sistemas bioenergéticos manterem sua produção em largo prazo, sem depleção sensível dos recursos que lhe dão origem, como a fertilidade do solo e os recursos hídricos. Tal enfoque se sustenta em uma das definições clássicas de sustentabilidade: "the amount of consumption

that can be continued indefinitely without degrading capital stocks - including natural capital stocks" (Goodland et al., 1992).

Ainda são limitados os estudos aplicados sobre a produtividade de sistemas bioenergéticos desde uma perspectiva de longo prazo, mas é interessante constatar como essa forma de analisar a viabilidade da exploração dos recursos naturais é antiga. Segundo algumas tribos americanas, uma floresta bem tratada "deve servir a sete gerações", o que poderia ser considerado como uma síntese mensurável do conceito de sustentabilidade (IEA/Task 29, 2007). Um exemplo nessa direção é o trabalho do Canadian Forest Service, considerando ciclos produtivos de 70-80 anos e avaliando a evolução das condições edafoclimáticas em função das taxas de produção dendroenergética (CFS Bioenergy Research, 2004). Também os estudos sobre o custo energético ao longo do ciclo de vida das tecnologias bioenergéticas podem prover informações relevantes sobre sua sustentabilidade, desde um ponto de vista estritamente energético, mas capaz de abranger níveis elevados de regressão ao longo das cadeias produtivas e incluir aspectos como a reposição dos nutrientes (SMASP, 2004).

Frente a tais limitações, os estudos e as avaliações da sustentabilidade de sistemas bioenergéticos tem sido realizados a partir de avaliações para menores intervalos de tempo, como um ponto de partida para posteriores e mais detalhados estudos. Mesmo assim, apesar do significativo esforço empreendido nos últimos anos, infelizmente ainda são esparsos e reduzidos os contextos onde se dispõe de informações recentes, representativas e fundamentadas para sistemas de produção de bioenergias. Além do Brasil e Estados Unidos, onde o etanol já é relevante, em poucos países tais informações estão sistematizadas ou são levantadas regularmente, impondo a adoção de métodos estimativos ou indiretos. Eventuais pesquisas de campo podem reforçar a base de conhecimento sobre a cadeia bioenergética, desde que conduzidas de forma estatisticamente consistente para que possam ser generalizadas de algum modo.

Um último e relevante aspecto sobre o conceito de sustentabilidade refere-se à *possibilidade de reconhecer claramente quando os sistemas energéticos são não sustentáveis, sendo por outro lado praticamente impossível afirmar de forma cabal que são sustentáveis*. De fato, embora seja difícil afirmar de modo irretorquível que um sistema é sustentável, em grande parte dos casos reais é possível identificar os contextos predatórios e não renováveis, inclusive para as bioenergias. Colocada dessa forma, a sustentabilidade lembra os ensinamentos de Karl Popper sobre as verdades científicas, cujo valor é sempre relativo e susceptível a novos paradigmas que lhe venham a superar e corrigir. Essa observação empírica não retira o interesse nas avaliações de sustentabilidade, mas exatamente aponta seu potencial como ferramenta comparativa nas análises de sistemas energéticos.

Por exemplo, frente à relevante necessidade de atender a demanda de mobilidade de bens e pessoas, mesmo eventualmente considerando tecnologias não excludentes como o incremento da eficiência dos motores, redesenho das estruturas viárias e adoção de modais mais apropriados, os combustíveis veiculares seguirão sendo necessários pelo menos em médio prazo, e as formas de suprimento para atender essa demanda, como diferentes combustíveis convencionais e biocombustíveis podem ser cotejadas convenientemente com base em indicadores comparativos de sustentabilidade. Em poucas palavras, há pouco sentido em buscar indicadores absolutos de sustentabilidade e os biocombustíveis devem ser avaliados frente às demais alternativas e ao "status quo".

1.2.3 Certificação e sustentabilidade na agroindústria do bioetanol (BNDES, 2008, resumido)

Como uma das formas de assegurar a observância dos critérios de sustentabilidade na produção de biocombustíveis líquidos, têm sido propostos, principalmente por países industrializados, sistemas de certificação visando assegurar, explicitamente, que os biocombustíveis sejam produzidos e distribuídos de modo suficientemente sustentável, podendo, conseqüentemente, ser utilizados com propósitos ambientais. Além da dificuldade básica associada à complexidade intrínseca aos sistemas bioenergéticos, os sistemas de certificação para biocombustíveis, em bases voluntárias ou mandatárias, não dispõem ainda de um arcabouço legal internacional para sua sustentação, não obstante tais sistemas serem eventualmente necessários no âmbito dos compromissos de mitigação da mudança climática, proteção à biodiversidade e tratados comerciais.

A certificação é tipicamente uma exigência colocada pelos consumidores aos produtores. Desse modo, a concepção de sistemas de certificação impõe um tratamento objetivo e cuidadoso dos aspectos de sustentabilidade, e sua adoção implica, necessariamente, a existência de agentes monitoradores independentes, que assegurem o equilíbrio e a isenção imprescindíveis. Não é desprezível o risco de que sistemas de certificação mal desenhados sirvam como barreiras comerciais adicionais e atuem como medidas protecionistas, restringindo o espaço das alternativas efetivamente sustentáveis e privilegiando as bioenergias ineficientes. Outra preocupação, pelo lado dos produtores, é o custo dos sistemas de certificação, que pode inviabilizar a produção em pequena escala.

A seguir se apresentam os principais esforços em curso para avaliar e eventualmente certificar a sustentabilidade de biocombustíveis:

- Associado ao requerimento de um teor de 5% de combustível de origem renovável em todo combustível automotivo vendido no Reino Unido em 2010, conforme definido na Renewable Transport Fuel Obligation (RTFO), os produtores de biocombustível deverão reportar o balanço de gases de efeito estufa e o impacto ambiental de seus produtos (The House of Commons, 2008).
- Na Holanda, teve início em 2006 o desenvolvimento de critérios de sustentabilidade para bioenergia, com atividades em curso para testar tais critérios em projetos-piloto e definir sistemas de monitoramento e certificação. Um extenso exercício sobre os possíveis indicadores apresenta um juízo favorável ao bioetanol produzido no Brasil, em particular no Estado de São Paulo (Smeets et al., 2006).
- No âmbito do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (Unep), encontra-se em discussão a definição de critérios de sustentabilidade para os biocombustíveis, com sugestões de que sejam adotadas metas concretas e instrumentos para sua implementação. Nesse sentido, o Unep vem trabalhando em estreita colaboração com instituições governamentais, entidades privadas e representantes da sociedade civil, incluindo o Global Bioenergy Partnership e a Roundtable on Sustainable Biofuels, comentados adiante (UNEP, 2008).

- A Organização das Nações Unidas para a Agricultura e a Alimentação (FAO) está desenvolvendo o projeto "Segurança Alimentar e Bioenergia" (Bioenergy and Food Security), com o propósito de estabelecer um arcabouço analítico para a avaliação dos impactos sobre o suprimento alimentar determinados pela expansão da produção de bioenergia, considerando os sistemas baseados em produtos alimentares e os denominados sistemas bioenergéticos de segunda geração (BFS/FAO, 2008).
- A Mesa Redonda sobre Biocombustíveis Sustentáveis (Roundtable on Sustainable Biofuels – RSB), liderada pelo Centro de Energia da Escola Politécnica Federal de Lausanne, na Suíça, é uma iniciativa internacional envolvendo agricultores, empresas, organizações não-governamentais, especialistas, agências internacionais e de governo interessados em garantir a sustentabilidade da produção e da conversão dos biocombustíveis. Nesse sentido, vem promovendo uma série de reuniões, teleconferências e debates buscando construir um consenso em torno dos princípios e critérios na produção de biocombustíveis sustentáveis. Os princípios considerados para a avaliação da sustentabilidade na produção dos biocombustíveis estão disponíveis para análise (EPFL, 2008).
- O grupo de trabalho internacional IEA Task 40, no âmbito do Acordo de Bioenergia da Agência Internacional da Energia, desenvolve atividades focadas no comércio internacional de biomassa e bioenergia, suas implicações e perspectivas, trabalhando especificamente no desenvolvimento de sistemas de certificação, padronização e terminologia para a promoção do comércio internacional de vetores bioenergéticos em bases sustentáveis, provendo análise e informações importantes sobre os esforços em curso nesse campo (IEA Bioenergy, 2008).
- No âmbito do programa norte-americano para incrementar o uso de biocombustíveis veiculares nesse país Ato de Segurança e Independência Energética (Energy Independence and Safety Act – EISA), com expectativas de atingir progressivamente uma demanda de 136 bilhões de litros de bioetanol e outros biocombustíveis até 2022 (USDA, 2008), foram estabelecidas três categorias de combustíveis renováveis, com cotas e estímulos definidos exatamente em função de sua capacidade de mitigar as emissões de gases de efeito estufa.

Como uma última iniciativa a mencionar, voltada para assegurar padrões de sustentabilidade na produção de bioetanol, o Protocolo Agro-Ambiental, assinado em 2006 pelo governo do Estado de São Paulo e a Unica, implementou o Programa Bioetanol Verde, para fomentar as boas práticas do setor sucroalcooleiro por meio de um certificado de conformidade e determinar um padrão positivo a ser seguido pelos produtores. Em fase de operacionalização e aplicação em larga escala em todo o estado, o instrumento cobre alguns dos principais pontos de redução de impactos da cultura, como a antecipação dos prazos de eliminação da queima da palha da cana, a proteção de nascentes e dos remanescentes florestais, o controle das erosões e o adequado gerenciamento das embalagens de agrotóxicos (Lucon, 2008).

Sistemas de certificação da sustentabilidade com esse perfil, se adequadamente desenhados e bem implementados, poderão servir como efetivos instrumentos para

que a produção dos biocombustíveis se desenvolva em um marco desejável de racionalidade, como tem sido demonstrado que o bioetanol de cana-de-açúcar pode atender competitivamente.

1.3 Sustentabilidade dos Recursos Hídricos em Bacias Hidrográficas com Cobertura Predominante de Cana-de-Açúcar⁶

1.3.1 Sustentabilidade dos Recursos Hídricos

Os ciclos naturais bioquímicos e energéticos são fortemente relacionados com o ciclo de água. Os recursos hídricos integram esses ciclos como meio de ligação ou de transformação. A água, notadamente, participa e afeta diretamente a circulação de massa e energia na atmosfera, de maneira a contribuir para a definição do clima à nível continental, regional e local. As condições da superfície terrestre apresentam, também, uma influência capital para a circulação da água na atmosfera (Teixeira Filho 1995).

No decorrer dos dois últimos séculos a ação humana direta sobre a superfície terrestre, os oceanos e a atmosfera causou modificações locais e regionais importantes. Essas novas condições da superfície terrestre ocasionaram alterações importantes na circulação das águas à nível local e regional, produzindo alterações climáticas complexas. Essas perturbações climáticas são dinâmicas, apresentando um mecanismo interativo importante com o meio ambiente. Assim, o conhecimento das interações com as condições da superfície terrestre, principalmente, em relação às variações da cobertura vegetal e a atmosfera é fundamental para a previsão das alterações climáticas e, especialmente, para as conseqüências no balanço hídrico em todas as escalas espaciais (Teixeira Filho et al. 1995).

A cobertura vegetal representa o ponto de conexão entre as condições do solo e a atmosfera. A cobertura vegetal se adapta às condições locais a partir de mecanismos particulares a cada ecossistema e a cada espécie vegetal (Teixeira Filho 1995). O estudo do funcionamento dos ecossistemas terrestres propicia a construção de modelos mais adaptados para a simulação dos balanços hídricos. A vegetação influencia no ciclo hidrológico principalmente através: da redistribuição e evaporação das precipitações interceptadas na cobertura vegetal, do controle biofísico da evaporação e da extração da água pelo sistema radicular.

Dentro desse contexto, as mudanças climáticas terão conseqüências diretas sobre os balanços hídricos nas bacias hidrográficas. As ações induzidas por essas alterações irão se repercutir em diversos níveis de escalas espaciais e temporais. Entretanto, os hidrólogos são confrontados freqüentemente às alterações de ocupação do solo localizadas, que em curto espaço de tempo modificam sobremaneira o meio ambiente. Essas alterações de ocupação do solo apresentam impactos ecológicos de grande importância, em função da modificação da biodiversidade, tanto em termos de número de espécies vivas como em termos de habitat.

A destruição das florestas, o desenvolvimento da agricultura, a construção de grandes reservatórios, o desenvolvimento urbano apresentam conseqüências fundamentais nos sistemas naturais em geral e em particular no ciclo hidrológico

⁶ Pesquisador Responsável: Prof. José Teixeira Filho (Feagri/ UNICAMP).

(Roger et al. 2005). O impacto dessas modificações não é distribuído uniformemente nem ao longo do espaço e nem ao longo do tempo, o que aumenta a complexidade das análises, notadamente no meio ambiente da produção agrícola. Assim, a utilização dos mecanismos do sistema solo-planta-atmosfera é essencial para a modelagem hidrológica das disponibilidades hídricas em bacias.

A água é um recurso natural, e sua renovação é garantida pelos processos físicos do ciclo hidrológico. No entanto, essa renovabilidade pode ser comprometida de acordo com a utilização do recurso. Assim, o termo renovável e não renovável deve ser substituído por sustentável e não sustentável. O fato de um recurso ser renovável não garante que ele não se esgote, da mesma forma que um recurso não renovável não está necessariamente sujeito à exaustão (Roger et al. 2005, Hunter et al. 2008). A questão da disponibilidade de recursos está mais relacionada a custos do que à exaustão propriamente. Também os recursos sustentáveis – água e solo, por exemplo - poderão estar sujeitas às limitações caso os custos de provisão de suprimentos adicionais se elevem. Ainda é importante observar que a ameaça ao bem estar humano, associada à exaustão de recursos, é mais importante com relação a água e solo do que a energia e minerais. A escassez daqueles representaria um desafio mais imediato às sociedades, pelo menos em muitas regiões do mundo (Muttiah et al. 2002).

O conceito de desenvolvimento sustentável, difundido a partir da divulgação do relatório da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento da Organização das Nações Unidas (ONU, 1991), baseia-se no atendimento às necessidades humanas fundamentais, sendo que as estratégias adotadas com relação ao meio ambiente e desenvolvimento devem levar em conta os interesses não apenas desta, mas também os das futuras gerações. O desenvolvimento humano leva em consideração, portanto, que aquelas necessidades sejam satisfeitas, e que isto ocorra de maneira sustentável.

Se o desenvolvimento sustentável relaciona-se ao atendimento de necessidades, cabe estabelecer quais são as necessidades humanas fundamentais e se os sistemas econômicos e sociais existentes têm servido a este propósito. As necessidades básicas das pessoas não são exclusivamente materiais, no entanto deve estar garantida, em primeiro lugar, a necessidade de subsistência. Do consumo de água depende diretamente a sobrevivência de todos os seres vivos.

No entanto observa-se que uma grande parcela da população mundial sequer tem atendidas as mínimas necessidades que a permitam subsistir. O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) adotado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) é calculado a partir de indicadores de educação (alfabetização e taxa de matrícula), saúde (esperança de vida) e renda (PIB per capita). Este índice, associado ao Índice de Pobreza Humana, pode fornecer uma idéia razoável sobre as condições de vida das populações, com relação a seus aspectos materiais. O Índice de Pobreza Humana (IPH) considera a porcentagem da população que não chegará aos 40 anos, a taxa de analfabetismo e a porcentagem da população sem acesso a serviços de saúde, esgoto e água potável. Entram no cálculo, ainda, a porcentagem de crianças com menos de 5 anos com peso abaixo do esperado, a distribuição de renda e a porcentagem da população que se encontra abaixo da linha de pobreza. O acesso à água potável, portanto, reflete-se na esperança de vida das populações, entrando no cálculo dos indicadores de saúde das nações, de acordo com a metodologia adotada pela ONU. Mas não é apenas

nesse ponto que reside à importância dos recursos hídricos para o desenvolvimento sustentável.

Para uma atividade produtiva deve atingir a sustentabilidade: social, econômica e ambiental. A sustentabilidade social tem como principal objetivo a redução da pobreza. Entretanto, isso não será conseguido estendendo o padrão de consumo de alguns para todos. A redução da pobreza é atingida mais pelo desenvolvimento qualitativo, redistribuição e partilha e pela estabilidade populacional do que pelo crescimento quantitativo. A sustentabilidade econômica pressupõe que o desenvolvimento suplante o crescimento. No desenvolvimento sustentável o crescimento não deve ir além da capacidade de suporte do ambiente, então os padrões de consumo e poluição dos países ricos não podem ser generalizados. A sustentabilidade ambiental se preocupa com o bem estar do homem ao se preocupar com a proteção dos materiais necessários ao atendimento das necessidades humanas e com que os resíduos produzidos pelo homem não venham a prejudicá-lo. O homem precisa aprender a viver com as limitações do meio físico.

Os recursos hídricos se relacionam com os três aspectos da sustentabilidade. Baixa disponibilidade de água, seja quantitativa ou qualitativamente, afeta diretamente a sobrevivência dos ecossistemas e das populações humanas. Nos ecossistemas produtivos, relacionados à produção agrícola, pode-se analisar se os parâmetros de sustentabilidade estão sendo contemplados tomando-se como base o balanço hídrico das bacias hidrográficas.

O ciclo hidrológico é o fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, estimulado pela energia solar associada à força da gravidade e ao movimento de rotação da terra. As trocas entre as superfícies terrestre e atmosférica, fechando o ciclo hidrológico, ocorrem tanto no sentido superfície-atmosfera, em que o fluxo de água se dá fundamentalmente na forma de vapor, em decorrência dos fenômenos de evaporação e transpiração, como no sentido atmosfera-superfície, em que a transferência de água ocorre mais significativamente na forma de precipitações (Bennie et al. 2001). O ciclo hidrológico é fechado apenas em nível global. À medida que se considere áreas de drenagem menores, o ciclo hidrológico fica caracterizado como aberto em nível local.

Uma das características dos recursos hídricos é sua distribuição irregular no tempo e no espaço. Da mesma forma, o consumo de água não é equitativo entre os países do mundo e mesmo entre os habitantes de um mesmo país, em função de sua condição econômica. Os dados de consumo de água do Estado de São Paulo mostram que 30% do total consumido são utilizados na indústria, 46% no abastecimento urbano e 24% na agricultura. Os fertilizantes e defensivos utilizados na agricultura podem causar sérios impactos pela contaminação de aquíferos, rios e mananciais. Em muitas regiões, em que há escassez de água, a demanda para o uso agrícola afeta o consumo doméstico. Atividades humanas que alterem os fatores básicos que determinam o balanço hídrico influenciam a disponibilidade dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica. O uso da terra com remoção da cobertura vegetal e implantação de agricultura sem controle da erosão, por exemplo, degrada os recursos hídricos, pelo aumento do escoamento superficial que promove o assoreamento de rios, lagos e represas. Daí a importância do estudo dos impactos causados pelas práticas agrícolas sobre os recursos hídricos (Roger et al. 2005).

Os estudos envolvendo recursos naturais, especialmente quando existe o interesse em aspectos ligados à qualidade e/ou disponibilidade de água, são, preferencialmente, executados na escala de bacias hidrográficas. Essa escala espacial pode ser considerada como uma unidade de paisagem capaz de integrar os principais componentes relacionados com a qualidade e disponibilidade de água, como cobertura vegetal, solos, geologia e paisagem circundante (Silva et al. 2002, Sparovek et al. 2001, Timm et al. 2003). O estudo em bacias hidrográficas possibilita a integração dos fatores que condicionam a qualidade e a disponibilidade dos recursos hídricos, com os seus reais condicionantes físicos e antrópicos. Essa escala também se mostra compatível para as ações políticas relacionadas à conservação do solo e à gestão dos recursos hídricos (Walton et al. 2000, Green et al. 2006). A determinação das disponibilidades dos recursos hídricos em uma bacia hidrográfica apresenta uma grande complexidade, em função das interações existentes entre os diferentes fatores condicionantes do ciclo hidrológico, notadamente os fatores físicos. A compreensão dos mecanismos hidrológicos envolvidos entre os diferentes fatores pode possibilitar condições suficientes para a avaliação da dinâmica desses recursos, especialmente em áreas agrícolas, em que as alterações provocadas nos fatores físicos podem afetar diretamente os processos hidrológicos. A intensificação do uso do solo para o desenvolvimento agrícola produz um fato muito comum e pouco enfrentado, o aumento da erosão superficial dos solos.

Os processos de erosão estão relacionados com os mecanismos de desagregação e de transporte de sedimentos, cuja mensuração apresenta grande complexidade, assim como a avaliação da degradação das terras. Esses processos são o produto da interação dos mecanismos hidrológicos, pedológicos, geológicos, de utilização e ocupação do solo, e das características do relevo, os quais são fortemente acelerados para terras de menor potencial agrícola, apesar de que também em terras de elevado potencial agrícola esses processos podem ser intensos. A desagregação e o transporte de sedimentos têm como uma de suas fontes de origem o escoamento na superfície do solo. Esse escoamento superficial transporta, até os corpos d'água, partículas soltas ou solúveis, que podem também se transformar em cargas de poluição significativas. O material transportado pode assorear as baixadas dos vales, os reservatórios de água e os rios, bem como contaminar os recursos hídricos superficiais com fertilizantes e defensivos agrícolas. Essas cargas representam uma fonte não pontual ou dispersa de poluição, caracterizando os principais problemas da atividade agrícola em relação ao meio ambiente, por meio da aplicação de defensivos e fertilizantes. Disto constata-se a interdependência dos aspectos quantitativos e qualitativos na definição de diretrizes para a gestão de manejo e proteção dos recursos naturais, e sobretudo a estimativa dos impactos ambientais nas regiões de produção e adjacentes devido às atividades agrícolas.

1.3.2 Balanço Hídrico

O balanço hídrico representa a quantificação dos fluxos de água em uma determinada região, ou especificamente em bacias hidrográficas. Em bacias hidrográficas, com cobertura predominante de cana-de-açúcar, a partir das chuvas incidentes (P_i) os volumes de água se distribuem em escoamento superficial (P_{sp}), escoamento subterrâneo (P_{sb}), evaporação da água armazenada no solo (E_s), evaporação armazenada na cobertura vegetal (interceptação - E_i) e a transpiração vegetal (T_r). Uma bacia com cobertura predominante de cana-de-açúcar os valores

de cada parcela podem se distribuir em função da chuva incidente da seguinte maneira (Castilho 2004, Ferreira 2004):

$$P_{sp} + P_{sb} = 0,30 \text{ a } 0,35 P_i$$

$$E_i = 0,20 \text{ a } 0,25 P_i$$

$$E_s = 0,03 \text{ a } 0,05 P_i$$

$$T_r = 0,40 \text{ a } 0,45 P_i$$

A soma de duas das parcelas principais, interceptação e transpiração, correspondentes à evaporação, representam entre 0,60 a 0,70 da chuva incidente. Assim, o conhecimento dessas parcelas é fundamental para determinar o balanço hídrico de uma bacia.

Interceptação de chuva na cultura de cana-de-açúcar

A interceptação é o processo pelo qual parte da precipitação é temporariamente retida pelas copas das árvores, sendo subseqüentemente redistribuída em água que respinga no solo, água que escoar pelo tronco e água que volta à atmosfera por evaporação. É denominada perda por interceptação a quantidade de água interceptada que evapora diretamente das copas, não atingindo o solo. A interceptação das precipitações pela cobertura vegetal constitui um dos fatores de maior importância no estabelecimento de balanço hídrico, notadamente como componente da evapotranspiração (STEWART, 1977/1984/1988; CALDER, 1977). A maioria dos estudos foi conduzida em cobertura florestal, sendo escassos os trabalhos sobre interceptação realizados com culturas, anuais ou perenes. Também são poucas as pesquisas que modelam o processo de interceptação sendo que alguns modelos não podem ser utilizados em condições distintas da realização do experimento, por não apresentarem relação com o grau de desenvolvimento da cultura.

VIEIRA (1982) pesquisou a repartição das águas das chuvas na cultura de cana-de-açúcar durante o período de 25 de setembro de 1981 a 30 de março de 1982. O trabalho foi desenvolvido em uma área da Companhia Industrial Agrícola Ometto, Usina Iracema, município de Iracemópolis, SP, cultivada com a variedade CB41-76, terceira soca. Para medida da precipitação interna foram instalados, ao acaso, 30 pluviômetros em duas áreas de 5m x 5m (15 por área). Para medir a precipitação incidente (a céu aberto) foram instalados em um carreador, 10 pluviômetros distanciados 10m entre si. Coletores foram instalados ao redor de todos os colmos de 7 touceiras, 4 em uma área e 3 na outra. Dados meteorológicos foram obtidos junto ao posto da usina Iracema, distante cerca de 2km do local. A precipitação interna foi considerada a média do posto enquanto as plantas apresentavam altura inferior a 50cm. Medidas feitas no próprio local tiveram início em 30 de novembro. No período de análise, a precipitação incidente total foi de 1139,5mm, a precipitação interna e escoamento pelo colmo representaram 64% (734,1mm) e 12% (131,1mm), respectivamente. A precipitação efetiva atingiu 76% da precipitação incidente o que equivaleu a 865,2mm e as perdas por interceptação, 24% (274,03mm).

CASTILHO (2000) monitorou a perda por interceptação durante o período de 05 de fevereiro a 20 de dezembro de 1999. O experimento foi implantado em uma área da Faculdade de Engenharia Agrícola – UNICAMP, município de Campinas, SP, cultivada com a variedade NA 72454. Foram instaladas 29 calhas coletoras abaixo da folhagem da cultura, entre as linhas de plantio, cada qual conectada a um reservatório de armazenamento. Medidas diárias do volume armazenado forneceram a quantidade da precipitação que atingia o solo. Medidas mensais do índice de área foliar (IAF) foram executadas para cada uma das calhas e para toda a parcela. O valor da parcela de chuva interceptada foi calculado a partir de um modelo linear no qual a precipitação que atinge o solo é função da precipitação incidente e do IAF: $PL = a PI + b$, onde PI representa a precipitação incidente e PL, a precipitação que atravessa a vegetação atingindo o solo; o coeficiente angular (a) está relacionado ao índice de área foliar da cultura e o coeficiente linear (b) representa as características médias da cultura estudada. A quantidade de chuva interceptada pela cultura (PP) foi obtida subtraindo da precipitação incidente (PI) o valor da lâmina de água no solo (PL). Estabeleceram-se classes de IAF nas quais foram agrupadas as calhas experimentais. Para cada classe foi determinado o valor médio de IAF, para o qual foi estabelecido um modelo linear. Posteriormente, foi determinado o modelo linear representativo da parcela experimental considerada em sua totalidade. No período de estudo, a precipitação incidente total analisada foi de 778,9mm, dos quais 39,5% foram interceptados e 60,5% representaram a lâmina de água no solo (valores médios). O valor médio do IAF nas calhas foi de 1,95 e o valor médio da superfície de IAF na parcela foi de 2,86.

Transpiração vegetal da cultura de cana-de-açúcar

As perdas de água por um vegetal ocorrem de duas formas: a gasosa (vapor de água) ou líquida. A predominância é a gasosa, por transpiração e do tipo denominada estomática, ou seja, por intermédio dos estômatos (80 a 90% da perda de água total de um vegetal). Com relação à transpiração, todas as superfícies de um vegetal, em contato direto ou indireto com a atmosfera, estão sujeitas a perder maior ou menor quantidade de água por transpiração. Caules, flores, frutos, transpiram, mas a perda maior de água por transpiração se dá por meio das folhas. O grau de abertura dos estômatos é variável nas diferentes horas do dia e vai determinar as variações de perdas de água pelo vegetal ao longo do dia. A transpiração é um processo que ocorre, essencialmente, em duas fases, a evaporação da água para os espaços intercelulares e após, a difusão da água para a atmosfera. O principal meio de transpiração, são pelos estômatos, as suas aberturas irão depender do grau de saturação hídrica das células estomáticas, podendo haver grande restrição da transpiração quando o déficit de água na planta for muito grande. A folha é o organismo vegetal onde se efetuam a fotossíntese e a transpiração. Todas as trocas gasosas são executadas pelos vegetais em nível foliar. A passagem dos resultados dos mecanismos desse nível para a cobertura vegetal será feita a partir do índice de folhas (LAI). A análise e a modelagem dos processos relacionados com a vegetação são mais fáceis de serem associados por unidade de superfície do solo, do que por unidade de superfície foliar. Outros recursos utilizados pelos vegetais também são correlacionados com a unidade de superfície do solo, como: a radiação solar, as disponibilidades hídricas e os nutrientes. Assim, o emprego da definição do índice de folhas (LAI) representa um aspecto chave para a espacialização dos mecanismos, tendo em vista as bacias hidrográficas. O índice de folhas também pode ser aliado ao grau de desenvolvimento para uma determinada cultura. Esse índice tem sido estimado através de sinais obtidos por sensoriamento remoto orbital. As medidas do índice

de folhas serão realizadas pelo analisador do dossel de plantas. Esse equipamento de campo poderá estimar o índice de área foliar - LAI e assim avaliar a superfície foliar fotossinteticamente ativa. Esse dado é importante para relacionar a condutância estomática com a condutância da cobertura vegetal e, fundamental para a modelagem da transpiração vegetal. A avaliação da transpiração em qualquer escala é um processo complexo, pois os mecanismos de controle dos fluxos de água variam para cada cultivar de cana-de-açúcar. Assim, é necessário a caracterização de cada cultivar de cana-de-açúcar para a avaliação do impacto da cultura no ambiente. Esse impacto pode ser simulado por modelos de simulação do balanço hídrico para diversas escalas de espaço.

1.3.3 Modelagem do balanço hídrico proposta para as áreas de cultura de cana-de-açúcar

Modelagem da cobertura vegetal

A cobertura vegetal participa do ciclo da água no controle da passagem de água na interface solo-vegetação-atmosfera. Essa componente do ciclo da água, que denomina-se evapotranspiração, representa uma parcela fundamental para o estabelecimento dos balanços hídricos (Muttiah et al. 2002). Entretanto, a evaporação da água na interface vegetação-atmosfera resta um dos aspectos menos conhecidos do ciclo hidrológico. A passagem da água na interface vegetação-atmosfera se realiza na superfície foliar a partir da perda de vapor no processo de transpiração. Os estômatos são os componentes dos vegetais responsáveis pelo controle da perda de água, através de seus movimentos de abertura e fechamento. Os estômatos são submetidos a mecanismos complexos que controlam a abertura em resposta a fatores fisiológicos e ambientais. A estrutura das formações vegetais é reveladora das condições do meio e dos processos existentes. Os estudos de transferências hídricas podem ser realizados em diversos níveis (folha - cobertura vegetal - bacia hidrográfica - região).

Da folha para cobertura vegetal

A mudança de escala dos processos da folha para a cobertura vegetal objetivando estimar os fluxos de transpiração do sistema vegetação-atmosfera apresenta duas componentes principais: (a) a componente biológica que compreende a arquitetura da cobertura vegetal e as características fisiológicas de cada espécie; (b) a componente da dinâmica dos fluídos que consiste dos gradientes físicos.

A integração dos fenômenos de perda de água, por transpiração, da folha para a cobertura vegetal, pode ser realizada através de um índice, que permite estimar a quantidade de superfície fotossinteticamente ativa (Teixeira Filho 1995). Esse índice representa a relação entre a superfície foliar total e sua área de projeção, geralmente expresso por LAI (Leaf Area Index). A utilização do LAI tem como objetivo estimar a área dos tecidos ativos transpirantes para determinar o fluxo de transpiração em uma cobertura vegetal. No momento em que as folhas da cobertura vegetal estão praticamente sobre a mesma condição de radiação solar (valores de LAI pequenos) a resposta da transpiração à radiação aproxima-se a resposta foliar. Entretanto, se os valores de LAI são elevados, somente as folhas no alto da cobertura vegetal irão receber uma quantidade saturante de energia radiante. Para as outras folhas, a transpiração será limitada pela quantidade de

radiação solar que poderá atingir suas superfícies. A quantidade de radiação dependerá da estrutura vegetal e da posição do vegetal em relação à cobertura vegetal, ao seu espaço vital.

Da cobertura vegetal para bacia hidrográfica

O LAI representa o parâmetro chave para a espacialização das condições da cobertura vegetal em uma bacia hidrográfica ou uma região. Esse índice pode ser estimado a partir de estudos de teledetecção, os quais permitem o cruzamento das dimensões espaciais e temporais com a finalidade de incorporar a dinâmica dos fenômenos de superfície aos modelos de simulação (Teixeira Filho et al. 1995). Assim, abre-se a possibilidade de determinação de balanço hídrico de bacias hidrográficas utilizando-se modelos aplicados à cobertura vegetal, a partir de esquema hierarquizado e dependente (folha - cobertura vegetal - bacia hidrográfica). Em cada nível os mecanismos de transferência de água podem ser quantificados, a fim de integrá-los a uma escala superior.

Modelagem dos fluxos hídricos em bacias hidrográficas

A utilização de modelos de simulação representa uma ferramenta fundamental para o estabelecimento do balanço hídrico e hidrológico em bacias hidrográficas. Esses modelos são empregados para estimar possíveis impactos de modificações da superfície do solo sobre o meio ambiente, notadamente em áreas rurais. Diversos modelos hidrológicos foram desenvolvidos para simulação de bacias (Singh, 1989). A escolha do modelo depende do objetivo, da precisão desejada, da disponibilidade e da qualidade de dados. Em relação à estrutura de modelagem espacial em hidrologia, podem-se considerar dois tipos de modelos, em função de sua configuração espacial: os modelos globais e os modelos distribuídos.

Os modelos hidrológicos globais consideram a superfície geográfica, sem admitir as particularidades locais. Nos modelos hidrológicos distribuídos a simulação resulta da integração das funções locais sobre toda a área geográfica da bacia. Esses modelos apresentaram uma evolução importante nos últimos anos, com o desenvolvimento de outras áreas do conhecimento, como: os sistemas de gestão de base de dados, os sistemas de informação geográfica, os modelos digitais de terreno e a aplicação de sensoriamento remoto (Rouet, 1991; Bonn & Rochon, 1992; Laurini & Milleret-Raffort, 1993). A esquematização espacial dos modelos hidrológicos distribuídos pode ser baseada em malhas regulares, malhas não regulares seqüenciais, planos na forma de V, toposseqüências e outras (Beven & Kirkby, 1979; Girard et al., 1981; Morel-Seytoux & Alhassoun, 1987; Fortin et al., 1990; Risson, 1995; Teixeira Filho, 1995). Nesses modelos encontra-se uma estrutura mais complexa e detalhada na esquematização espacial das bacias, o que se traduz por um conjunto de programas de computador mais elaborados. Essa estrutura permite considerar a variabilidade da geomorfologia, as características do solo e da vegetação das bacias, propiciando um melhor ajustamento da modelagem do ciclo hidrológico com outros sistemas do meio ambiente, especialmente o sistema integrado solo-planta-atmosfera (Band et al., 1993; Wigmosta et al., 1994).

Esse estudo desenvolverá um modelo hidrológico para uma parcela de cana-de-açúcar, o qual poderá ser utilizado para a simulação de bacias hidrográficas com cobertura vegetal predominante de cana-de-açúcar. A estrutura do modelo resultará da integração dos dados obtidos nas diversas escalas do dispositivo experimental, e principalmente das informações sobre o funcionamento do sistema solo-planta-atmosfera. Nesse sistema a cobertura vegetal participa do ciclo

hidrológico a partir do controle da transferência hídrica na interface vegetação-atmosfera. Essa componente do ciclo hidrológico, que se denomina evapotranspiração, representa uma parcela decisiva no estabelecimento dos balanços hídricos (Stewart, 1984; Calder, 1977). Entretanto, a evaporação da água na interface vegetação-atmosfera permanece como um dos aspectos menos conhecidos do ciclo hidrológico. A perda de água por evaporação vegetal se produz através dos estômatos (Morison, 1987; Jones, 1992), os quais permitem a difusão do CO₂ para os tecidos foliares, assim como limitam a perda de vapor de água para a atmosfera. A regularização das trocas de vapor de água e de CO₂ representa a função central dos estômatos (Zimmermann, 1983). Os estômatos são controlados por mecanismos complexos que condicionam o fechamento ou a abertura estomática em resposta aos fatores fisiológicos e ambientais (Sharkey & Ogawa, 1987; Schulze, 1994). Os principais fatores que controlam o fechamento e a abertura estomática são: radiação solar, déficit de pressão de saturação, temperatura, disponibilidades hídricas no solo (Farquhar & Wong, 1978; Jarvis & Morison, 1981; Farquhar & Cowan, 1987; Jones, 1992). Poucos estudos foram realizados relacionando os fatores fisiológicos e ambientais com os fluxos de água para a cultura de cana-de-açúcar em condições de campo. Santos Filho (1984) realizou um estudo em casa de vegetação com três variedades, com a finalidade de determinar as variações do estado hídrico do vegetal, correlacionando o comportamento estomático, o potencial hídrico na folha, o crescimento e a temperatura foliar. Machado (1981) desenvolveu um modelo matemático fisiológico simplificado para simular o acúmulo de matéria orgânica seca para a cultura de cana-de-açúcar.

Os estudos de transferência de fluxos de água podem ser efetuados em diferentes níveis de escalas, onde cada nível apresenta aspectos particulares. Esses estudos podem ser conduzidos em nível de folha, em nível de cobertura vegetal e em nível de bacia hidrográfica ou regional (Jarvis & McNaughton, 1986). A mudança de escala dos processos em nível da folha para a cobertura vegetal, com a intenção de estimar o fluxo de transpiração do sistema planta-atmosfera, apresenta duas componentes principais: (a) a componente biológica, que leva em conta a arquitetura da cobertura vegetal e as características fisiológicas de cada espécie; (b) a componente da dinâmica de fluxo, que considera os gradientes das grandezas físicas em vários níveis (Brutsaert, 1984). A modelização das trocas em nível da cobertura vegetal é geralmente realizada segundo a hipótese que considera a cobertura como uma única folha, como o modelo de Penman-Monteith (Jarvis & McNaughton, 1986). Esse tipo de modelo pode ou não levar em conta as trocas de água entre o solo e a vegetação, e freqüentemente é utilizado em estudos regionais para a avaliação da transpiração vegetal e da fotossíntese, com a colaboração do sensoriamento remoto (Choudhury & Idso, 1985; Choudhury, 1987). Teixeira Filho (1995) utilizou uma modelagem da transpiração vegetal baseada no modelo de Penman-Monteith e no modelo de Jarvis (1976) modificado. O modelo de Jarvis (1976), modificado por Stewart (1988), foi aplicado para simular a condutância da cobertura vegetal condicionada às variações climáticas e às disponibilidades de água no solo. Shuttleworth & Wallace (1985) e Choudhury & Monteith (1986) desenvolveram modelos integrados solo-planta, onde a transpiração e a evaporação do solo são tratadas simultaneamente. A integração dos fenômenos das trocas hídricas em nível foliar e em nível de cobertura vegetal pode ser realizada com a ajuda de um índice que permite estimar a superfície fotossinteticamente ativa. Esse índice pode ser expresso geralmente pelo índice de folhas, normalmente denominado LAI (leaf area index). O índice de folha (LAI) representa a relação entre a superfície fotossinteticamente ativa de todas as folhas

e a sua superfície de projeção sobre o solo. O índice de folhas também é o parâmetro-chave para a espacialização das condições da cobertura vegetal em uma bacia hidrográfica ou região (Wigmosta et al., 1994). Esse índice pode ser estimado por teledeteção (Nemani & Running, 1989; Peterson et al., 1987; Wiegand & Richardson, 1990; Teixeira Filho et al., 1995) e possibilita a realização de cruzamentos das dimensões espaciais e temporais na dinâmica dos fenômenos de superfície, como a evolução da vegetação.

1.3.4 Conclusão

- as usinas de álcool não têm disponibilidade de informações ecofisiológicas suficientes da cultura de cana-de-açúcar para implementar manejos que podem minimizar os impactos negativos da cultura sobre os recursos hídricos;
- as novas tecnologias de simulação dos fluxos de água podem colaborar na definição de estratégias para minimizar os impactos negativos na disponibilidade de água em bacias hidrográficas;
- o objetivo de atender índices de sustentabilidade o setor sucroalcooleiro deve colocar esforços manutenção das disponibilidades de águas nas bacias hidrográficas;
- a alteração dos manejos agrícolas com o objetivo de conservação do solo e da água para minimizar a pressões futura sobre os recursos naturais;
- a definição de um zoneamento agro-ambiental para as regiões de produção agrícola é um instrumento fundamental para gestão ambiental;
- o zoneamento agro-ambiental deve balizar as estratégias de manejo agrícola para o setor sucroalcooleiro, sendo assim, um instrumento importante para controlar contaminação das águas superficiais/subterrâneas e dos solos por agrotóxicos;

1.4 Estudo das formas de redução do consumo de água nas fases agrícola e industrial⁷

1.4.1 Objetivo

Os objetivos específicos da presente seção são:

- Caracterização da demanda de água na fase agrícola
- Mapeamento do consumo de água nas diversas etapas do processo industrial;
- Estudar as possibilidades de reuso, levando-se em conta as características da água utilizada;

⁷ Gilberto De Martino Jannuzzi (NIPE/UNICAMP), Silvia Azucena Nebra (NIPE/UNICAMP), Mauro Francisco Chávez (NIPE/UNICAMP), Rodolfo Dourado Maia Gomes (NIPE/UNICAMP).

- Estudar a regulação existente sobre captação e disponibilização de água pelas usinas, levantando os valores praticados atualmente;
- Apresentar um estudo de caso do potencial de reuso e de redução da captação da água a partir da simulação de uma planta de produção de etanol e açúcar;

1.4.2 Introdução

A produção de etanol de cana-de-açúcar no Brasil tem evoluído nos últimos anos e as expectativas indicam forte tendência de sua expansão nos próximos anos. Isso se explica em parte pelo crescimento do mercado interno devido aos veículos flex, pela observação da volatilidade dos preços do petróleo e também pela necessidade de se estabelecer um mercado, agora internacional, para um combustível líquido renovável para o setor automotivo e pelo atendimento às metas do Protocolo de Quioto pelos países industrializados.

Além da cultura da cana-de-açúcar ser um potencial gerador de energia renovável, contribuindo para a substituição de combustíveis fósseis e desenvolvendo um cenário agroenergético promissor, essa atividade é reconhecidamente também uma grande transformadora das regiões onde atua. Uma expansão da produção de etanol na escala pretendida pelo Brasil durante as próximas décadas deverá ocasionar diversos tipos de impactos, sejam eles diretos ou indiretos. Seus efeitos cumulativos ao longo do tempo, incluindo maior povoamento, introdução de serviços de infra-estrutura, comércio e atividades industriais irão conjuntamente exercer pressão sobre recursos locais, entre eles os recursos hídricos. Estes efeitos devem ser considerados em uma avaliação de sustentabilidade uma vez que são decorrentes da principal atividade que se está delineando: a produção de etanol.

A produção de cana-de-açúcar no Brasil é principalmente irrigada pela chuva. Dessa maneira, há o menor uso da água para irrigação. Entretanto, o uso da irrigação está aumentando com a crescente demanda pela incorporação de novas áreas de cana no Centro-Sul do Brasil. Além da fase de produção agrícola, o processamento industrial é um grande demandante de recursos hídricos.

O uso de água no processo industrial de produção de etanol é um dos elementos-chave para atingir maiores índices de sustentabilidade no uso deste biocombustível em grande escala. No estado de São Paulo, a indústria sucroalcooleira seria responsável por aproximadamente 23% da demanda de água do setor industrial, encontrando-se valores de captação entre a faixa de 1,83 e 5,50 m³/t de cana moída (Macedo, 2005), mostrando uma grande variação nas práticas de gerenciamento. Apesar dos altos valores de água coletada, este setor apresenta grandes oportunidades de melhorias no gerenciamento do recurso.

O presente relatório foi largamente baseado em informações reunidas a partir das apresentações realizadas no seminário *Uso da água na Produção de Etanol de Cana-de-açúcar* e diferentes fontes de literatura especializada. As seções seguintes tratam dos seguintes temas:

- A sustentabilidade e o uso de água
- Revisão da legislação pertinente ao uso de água.

- A Capacidade de Suporte, o Consórcio de Bacias e o Licenciamento de Novas Usinas no Estado de São Paulo
- Revisão de Literatura: O Re-Uso da Água
- Novas Tecnologias Mitigadoras no Uso de Água na Produção de Etanol: a Incorporação da Palha para Redução do Estresse Hídrico.
- Potencial de Redução de Consumo de Água numa Usina Sucroalcooleira

1.4.3 A sustentabilidade e o uso de água

De uma maneira geral a agricultura é responsável por grande parte da demanda de água doce no mundo, conforme pode ser observado da Tabela 13. Embora a demanda industrial não seja a principal, existe uma tendência recente de seu crescimento nos anos recentes e conseqüentemente maior preocupação em desenvolver sistemas que proporcionem uma redução do consumo de água.

Tabela 13: Distribuição do consumo de água no Brasil

Setor	Consumo de água (%)
Agropecuária	61
Urbano	21
Indústria	18

Fonte: Carmo (2008).

A busca pela sustentabilidade na produção de etanol passou a olhar de forma completa o processo produtivo desse biocombustível e o “uso da água” é uma das questões que deve ser melhor analisada, especialmente no direcionamento das chamadas tecnologias de segunda geração.

A metodologia mais adequada para se analisar e quantificar o uso de água para a produção de um produto como o etanol é a chamada “Análise de Ciclo de Vida” (ACV). Essa metodologia quantifica o fluxo de materiais e energia em todo o ciclo de produção até o destino final do produto. No caso do etanol isso inclui a parte agrícola (plantio, colheita, transporte, etc.), a parte industrial (lavagem, fermentação, destilação, etc.) e seu uso final em veículos. A parte agrícola e, em especial, a fase industrial são as mais relevantes para o caso de uso de água.

1.4.3.1 Sustentabilidade

Sustentabilidade é um conceito normativo, contendo valores, percepções e preferências que precedem uma análise técnica ou científica⁸. Muitas das soluções que usualmente são propostas através de estudos têm o propósito de serem tecnicamente e/ou economicamente viáveis dentro do horizonte previsto.

⁸ A definição mais utilizada e citada é aquela mencionada no chamado relatório Brundtland (World Commission for Environment and Development WCED, 1987), que diz que uma sociedade pode ser considerada sustentável quando ela atende às necessidades da geração atual e ainda preserva ou mantém a possibilidade de gerações futuras satisfazerem as suas.

Os respectivos impactos ambientais podem ser apreciados dentro da perspectiva disciplinar do técnico, no entanto a demanda de água possui profundas implicações de desenvolvimento regional no médio e longo prazos e isso também deve ser incluído para caracterizar melhor o conceito de sustentabilidade.

De certo modo a responsabilidade de um técnico é limitada no sentido que ele está sendo responsável pela legitimidade científica das soluções apontadas, mas não pela implementação das estratégias e seus impactos no âmbito sócio-ambiental. Cabe ao tomador de decisão ou o formulador de políticas públicas essa função e responsabilidade. O processo de decisão a esse nível requer informação qualificada e tempo para examinar as implicações e aceitação das decisões.

Portanto dentro do âmbito técnico, acompanhamos Leite (2008) observando a necessidade de um esforço para se definir indicadores para melhor analisar as questões relacionadas com a sustentabilidade do uso da água no sistema de produção de etanol da cana. Ele destaca dois tipos de indicadores para caracterizar sustentabilidade: *necessidade* de água para os processos e *limites* (disponibilidade) de água para o sistema de produção.

1.4.3.2 Necessidades de água

Com relação à necessidade de água para a produção de etanol, tem-se que durante a fase agrícola ela é mínima em grande parte do Brasil onde se pratica essa cultura. Praticamente toda a cana produzida no estado de São Paulo é cultivada sem irrigação e onde se utiliza o plantio com umidade natural. A irrigação começa a ser mais empregada em áreas de expansão onde há insuficiência ou má distribuição de chuvas. No estado de São Paulo onde se pratica o chamado plantio de ano e meio, ou plantio de ano, não se utiliza a irrigação. O chamado plantio de inverno, com ocorrência no período seco, requer a irrigação de salvamento como segurança, com recomendação de duas lâminas de 30 a 40 mm de água, sendo pouco utilizado na região Sudeste.

A irrigação é mais necessária na região Nordeste, onde se pratica a irrigação de salvamento após o plantio da cana, e quando for o caso aplica-se também a "irrigação suplementar" para atenuar os déficits hídricos. Na medida em que a cultura de cana também avança para o Centro-Oeste, maiores necessidades de irrigação são também previstas. O desenvolvimento de variedades de cana mais resistentes a períodos de seca irá contrabalançar o requisito de irrigação adicional (Bernardo,2007).

Já a necessidade de água para os processos industriais é bem mais significativa e existem variações entre as usinas dependendo do tipo de sistema empregado. Usinas que utilizam ciclo aberto (não reutilizam a água) possuem uma necessidade de 21 m³ de água/t de cana. Em uma usina típica operando em ciclo aberto e destinando 50% da cana para produção de açúcar e 50% para etanol tem-se a distribuição da água pelos usos finais conforme é mostrada na Ilustração 1.

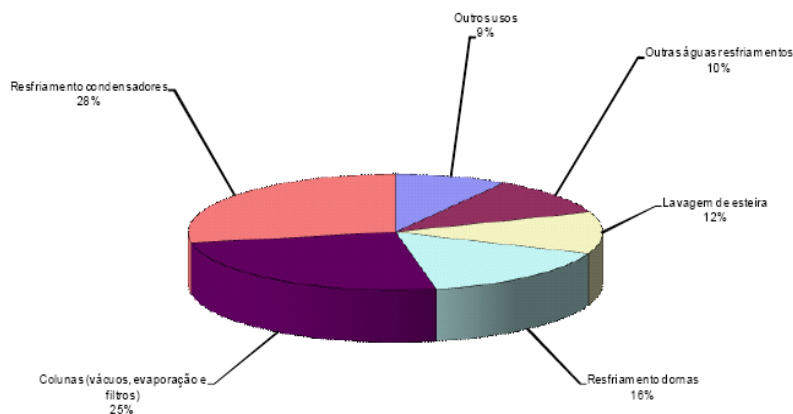


Ilustração 1: Usos finais de água na fase industrial de produção de etanol

Fonte: Leite (2008).

Três usos finais respondem por quase 80% do consumo industrial de água: resfriamento de condensadores (28%), produção de vácuo nas colunas barométricas (25%) e resfriamento de dornas (16%).

Leite (2008) apresenta a seguinte evolução verificada nos diferentes sistemas das usinas no que se refere ao consumo de água:

Águas de resfriamento de condensadores e dornas – Este circuito passou a ser utilizado em conjunto através do efeito cascata – utilizando a água nas dornas e posteriormente nos condensadores, de tal forma a termos uma redução de volume de água necessário em cerca de 16%. O circuito passou a ser fechado, sendo adotados sistemas de resfriamento evaporativo – torres de resfriamento, com necessidade de água apenas para reposição das perdas por evaporação e arraste – cerca de 2 a 3% da água em circulação.

Existem estudos em andamento, com intenção de utilizar água mais fria neste circuito – denominado “geladinho”, com ganhos em relação à redução do volume de água em circulação (há necessidade de intensificar os estudos).

Águas de lavagem de cana e esteira – A lavagem de cana passou em um primeiro momento a operar em circuito fechado através de caixas de decantação ou decantadores circulares, estando em desenvolvimento e implantação de sistemas de limpeza de cana a seco (experiência inicial mal conduzida – sistema ineficiente). A lavagem de cana somente é realizada se houver uma quantidade de matéria inorgânica muito elevada na cana. O sistema de limpeza de esteiras continua a ser utilizado, porém com volumes menores (o circuito foi reduzido de 10 m³/TC - mesa convencional, para 1 a 2m³/TC).

Água das colunas barométricas – Este circuito sofreu alterações, de tal forma a serem substituídos os multijatos por colunas barométricas, para produção de vácuo na fase de concentração do caldo, levando à redução de 30% da necessidade de água nesta operação. O fechamento do circuito é prática implantada há muitos anos, sendo utilizados sistemas de resfriamento evaporativo por aspersão (spray) ou torre de resfriamento. As pesquisas e novas tecnologias continuam em andamento, havendo estudos para a instalação de equipamentos denominados condensadores evaporativos, nos quais o vácuo nas caixas de evaporação é

produzido a partir de bomba de vácuo, sendo o vapor condensado em trocador de calor tubular montado no interior de uma torre de resfriamento, levando a uma redução, quase total, do uso de água bruta (captação).

Águas de resfriamento – Nesta categoria se enquadram as águas de resfriamento de mancais da moenda e turbogeradores. Circuito que, tradicionalmente, era aberto passa a ser fechado com torres de resfriamento, principalmente nos sistemas envolvendo cogeração.

Os demais usos referem-se a: águas de limpeza de equipamentos, abatimento de material particulado, águas para preparo de produtos, águas de embebição da moenda ou difusor, etc. Para estes usos a indústria pode utilizar águas condensadas dos evaporadores – a água da cana.

O processo de obtenção de açúcar consiste, basicamente, na concentração de uma solução de sacarose (caldo de cana), o que é feito através de evaporação da água em sistemas de múltiplo-efeito e nos tanques de cozimento (cristalizadores), resultando na obtenção da chamada massa cozida, onde temos os cristais de sacarose e mel residual, como também água condensada – água da cana. Quando se produz álcool a partir de caldo, a “água da cana” é incorporada na vinhaça.

Tem havido progresso na direção de redução de necessidades de água para os processos industriais. Em 2005 um valor médio de captação de água para usinas era de cerca de 1,83 m³/t. cana. Leite (2008) mostrou que houve uma redução entre as safras de 1990/91 e 2007/2008 de 26% de captação de água contra um aumento de 125% de tonelada de cana processada no Estado de São Paulo.

As discussões demonstraram as possibilidades de acelerar essa redução e o papel do Estado como regulador através de assinaturas de protocolos voluntários com a indústria sucroalcooleira como o Protocolo Etanol Verde e atendimento ao Plano Técnico de Conservação de Recursos Hídricos.

1.4.3.3 Limites ou disponibilidade de água

No Estado de São Paulo, dependendo do porte e/ou alterações das atividades das usinas, existe necessidade de instrumentos prévios de análise (inclusive EIA/RIMA) para submissão e aprovação do sistema ambiental do Estado.

A Resolução SMA - 88, de 19-12-2008, define as diretrizes técnicas para o licenciamento de empreendimentos do setor sucroalcooleiro no Estado de São Paulo e considera um Zoneamento Agroambiental para o setor sucroalcooleiro, classificando regiões no Estado de São Paulo onde é permitido o plantio da cana-de-açúcar e o tipo de Estudo Ambiental a apresentar. A figura 2 mostra o mapa de zoneamento agroambiental para o estado de São Paulo.

Com respeito ao uso da água, a Resolução SMA - 88, de 19-12-2008, define para áreas classificadas como *Adequadas* e *Adequadas com Limitações Ambientais* para o plantio de cana um limite máximo de captação de 1 m³ (um metro cúbico) de água por tonelada de cana moída para os novos empreendimentos; e uma apresentação de Plano de Minimização de consumo de água, com cronograma de adequação para atingir o limite máximo de 1 m³ (um metro cúbico) por tonelada de cana moída para ampliações de empreendimentos existentes. Nas áreas classificadas como *Adequadas com Restrições Ambientais*, o limite máximo para captação de água é de 0,7 m³ de água por tonelada de cana moída para novos

empreendimentos; e apresentação de Plano de Minimização de consumo de água, com cronograma de adequação para atingir consumo de 0,7 m³ por tonelada de cana moída para ampliações de empreendimentos existentes e também se exige a adoção da melhor tecnologia prática disponível visando à minimização da geração de vinhaça (Ilustração 2).

Finalmente, para áreas classificadas como *Inadequadas*, não serão mais aceitos pedidos de licenciamento ambiental, protocolados após a publicação da Resolução SMA - 67, de 18 de setembro de 2008, para instalação ou ampliação de empreendimentos existentes do setor sucroalcooleiro. E para a renovação da Licença de Operação dos empreendimentos do setor sucroalcooleiro regularmente existentes nestas áreas, será exigido plano de adequação às condicionantes estabelecidas para as áreas classificadas como *Adequadas com Restrições Ambientais*.

Em setembro deste ano, o Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento, em conjunto com a Embrapa, publicou o Zoneamento Agroecológico Nacional da Cana-de-Açúcar (ZAC) (Manzatto et al 2009) com o objetivo de fornecer subsídios técnicos para formulação de políticas públicas visando o ordenamento da expansão e a produção sustentável de cana-de-açúcar no território brasileiro. Entre as diretrizes gerais do estudo, encontra-se a indicação de áreas com potencial agrícola (solo e clima) para o cultivo de cana-de-açúcar sem restrições ambientais. Neste estudo foram excluídas áreas para cultivo nos biomas da Amazônia, Pantanal e na Bacia do Alto Paraguai.

Tendo em conta as características da cultura da cana-de-açúcar, para a elaboração desse estudo e seleção das áreas aptas para o seu cultivo, foi considerada a disponibilidade hídrica nos ambientes produtivos, devido ao fato que em condições de déficit hídrico, há redução do crescimento radicular, o que conseqüentemente influencia negativamente na produtividade.

Diferentemente do ZAC feito para o Estado de São Paulo, o ZAC Nacional não considera na sua metodologia a situação das bacias hidrográficas e das águas subterrâneas e não restringe a captação de água pelas unidades industriais sucroalcooleiras por quantidade de cana moída. Porém, é desejável que no futuro este fator seja introduzido a nível nacional também com o objetivo de regular a minimização dos impactos ambientais negativos da atividade sucroalcooleira, com medidas de, por exemplo, adoção de melhores práticas de gerenciamento do consumo de água.

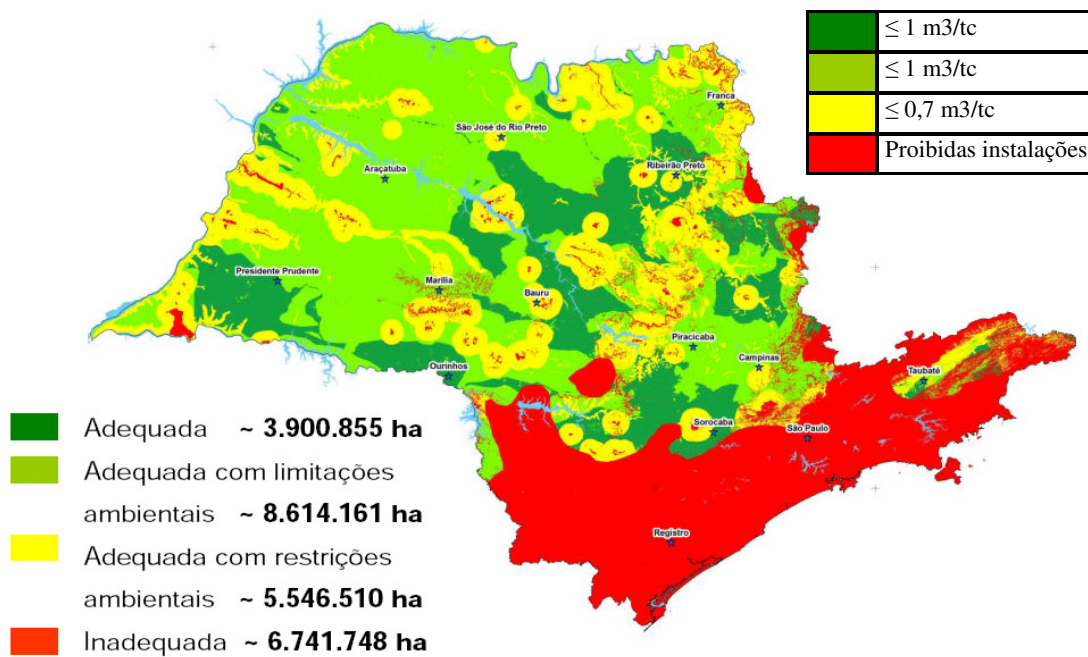


Ilustração 2: Zoneamento Agroambiental para o Setor Sucroalcooleiro do Estado de São Paulo

De acordo com o Zoneamento Agroambiental para o Setor Sucroalcooleiro do Estado de São Paulo, o Estado possui 3,9 milhões de ha de áreas adequadas, 8,9 milhões de ha de áreas adequadas com limitações ambientais, 5,5 milhões de ha de áreas adequadas com restrições ambientais e 6,7 milhões de ha de áreas inadequadas.

Existem quatro programas de monitoramento ambiental no estado com impactos diretos para as atividades do setor sucroalcooleiro: 1) Monitoramento da qualidade das águas superficiais e subterrâneas (contaminação por agrotóxicos); 2) monitoramento da fauna (verificação da manutenção de áreas de preservação e zonas de amortecimento); Emissões atmosféricas (queimadas) e qualidade do solo nas áreas agrícolas (fertilização).

É parte integrante do trabalho de Zoneamento Agroambiental um diagnóstico da situação das bacias hidrográficas (águas superficiais) e das águas subterrâneas (Ilustração 3), bem como o seu monitoramento ao longo do tempo.

No entanto, quando questionada sobre o volume de água utilizado para irrigação da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, principalmente com o aumento por sua demanda nas áreas de expansão (oeste do Estado), a CETESB informou que esse levantamento não é feito atualmente e que há discussões internas ainda incipientes sobre a matéria.

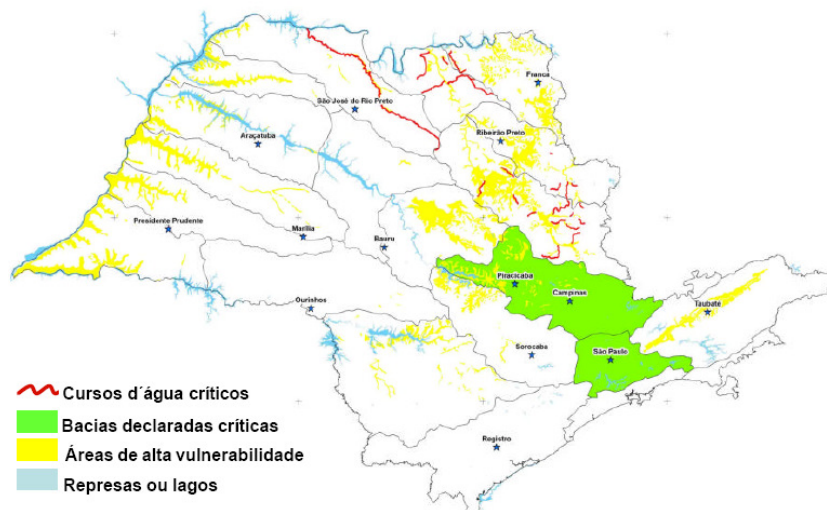


Ilustração 3: Zoneamento Agroambiental: disponibilidade de águas superficiais e vulnerabilidade das águas subterrâneas

Segundo Carmo (2008), as usinas atuais são perdulárias no consumo de água, apresentando o seguinte balanço de água numa usina média no setor: para cada tonelada de cana entram inicialmente 700 litros de água na usina, são captados mais 1830 litros para processamento dessa tonelada e a água sai da usina em forma de perdas, calculadas em 1919 l/t de cana (por evaporação, no bagaço, nas purgas da lavagem de cana e outras), e nos produtos e subprodutos: açúcar (0,03 l/t), etanol (0,26 l/t), vinhaça (570 l/t), torta de filtro (40 l/t de cana). Conforme o mesmo autor, mesmo com tecnologias convencionais já disponíveis, o consumo de água pode ser significativamente reduzido.

1.4.3.4 Legislação de uso da água

De acordo com a Agência Nacional das Águas (ANA), a cobrança pelo uso da água é um instrumento de gestão de recursos hídricos que tem como um de seus objetivos estimular o uso racional da água e gerar recursos financeiros para a preservação e a recuperação das bacias. Este instrumento não pode ser confundido com um imposto, pois se trata de um preço público fixado a partir de um pacto entre os usuários de água, sociedade civil e poder público no âmbito do comitê de bacia, com o apoio técnico da ANA.

A cobrança pelo uso da água se configura por vezes como o último instrumento de gestão dos recursos hídricos. Apesar disso, este tipo de cobrança já estava prevista no Código de Águas de 1934 e na Lei sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, de 1981. No Estado de São Paulo este instrumento de gestão aparece na Lei Estadual nº 7.663/91 e em inúmeras outras leis estaduais promulgadas, estabelecendo um reforço institucional e jurídico para sua aplicação (DAEE, 2007).

A Política Nacional de Recursos Hídricos criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos em 1997 com a Lei 9.433. Com ela, é feita a cobrança destes recursos com os objetivos de reconhecer a água como um bem econômico para dar ao usuário uma indicação de seu valor real, incentivar a racionalização do uso da água e obter recursos financeiros para o financiamento dos programas e intervenções contemplados nos planos de recursos hídricos. O valor cobrado leva em conta o volume retirado nas captações e o volume de lançamentos de efluentes. Os valores arrecadados são aplicados prioritariamente na bacia hidrográfica em que

foram gerados. Em 2000, através da Lei 9.984, foi criada a Agência Nacional das Águas (ANA), entidade federal incumbida do controle e da gestão do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Cabe a ela implementar a política nacional destes recursos, conceder outorgas na esfera federal e organizar o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (Freitas, 2008).

Segundo o CRHi (Coordenadoria de Recursos Hídricos), são medidos três elementos para aferir o uso da água: a captação, que representa todo o volume de água bruta (antes do tratamento) retirado diretamente dos rios ou do subsolo, o volume devolvido e o lançamento de efluentes, que é o volume restituído aos rios associado à carga da poluição nele contida. A cobrança total é calculada através da soma do volume de água captado, do volume de água não devolvido e do tipo de poluente lançado nas águas.

O preço da água é definido pelos Comitês de Bacias Hidrográficas, de acordo com a necessidade de custeio dos planos e projetos aprovados para um período de quatro anos. Tais comitês são órgãos criados para gerenciar os recursos hídricos nas bacias hidrográficas. Fazem parte desses Comitês representantes do governo estadual, municípios e da sociedade civil (empresários, trabalhadores, universidades e ONGs dedicadas à proteção do meio ambiente). Também são levados em consideração a quantidade de água disponível, o número de consumidores pagadores e sua média de consumo. Isto é, cada comitê estabelece seu plano de ação e pode contar com os recursos recebidos através da cobrança pelo uso da água para financiá-lo. Desta forma, o preço cobrado pela água pode ser diferente em cada bacia hidrográfica (DAEE, 2007).

O uso industrial da água refere-se à retirada de água tanto superficial quanto subterrânea. Quanto ao uso superficial, faz-se necessário o cadastro de outorga emitido pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), estes deverão conter os dados das principais indústrias do Estado de São Paulo sobre volume captado e lançado aos corpos hídricos (Lopes, 2006).

1.4.3.5 Cobrança e Legislação no Estado de São Paulo

A cobrança pelo uso dos recursos hídricos de domínio do Estado de São Paulo foi regulamentada pelo governador Geraldo Alckmin no dia 30 de março de 2006, através do decreto nº 50.667, publicado no Diário Oficial do Estado. Cabe aos comitês de bacias (no estado são 22) definirem, com base na lei de cobrança nº 12.183/05 e em seu decreto de regulamentação, quais serão os valores da cobrança pelo uso dos rios de domínio estadual (com nascente e foz dentro do estado) e das águas subterrâneas. O dispositivo funciona como um incentivo aos usuários, para que adotem tecnologias e hábitos que proporcionem uso mais eficiente e possam reduzir as perdas, além de estabelecer hábitos de consumo mais racional. Caso continuem com os mesmos padrões de uso terão de arcar com os custos decorrentes de suas ações (Lopes, 2006).

Nesse sentido, estimando uma captação de 5,6 m³/t de cana numa usina que mói 2 milhões de toneladas de cana por safra e considerando um custo de 0,01 R\$/m³ de água, os gastos que incorreriam por este conceito seria de aproximadamente R\$ 112.000,00.

1.4.3.6 Legislação referente ao descarte de efluentes

A CETESB (Companhia de Saneamento e Meio Ambiente do Estado de São Paulo) desenvolve ações de controle e fiscalização das fontes de poluição, incluindo o impedimento do lançamento de efluentes que possam comprometer a qualidade das águas de rios, lagos e represas, e também do mar, e que prejudiquem o uso para abastecimento, atividades industriais, recreação e outras finalidades (Lopes, 2006).

Segundo o CNRH (Conselho Nacional de Recursos Hídricos), em janeiro de 1934 o chefe do governo provisório do Brasil regulamentou, através do Decreto nº 23.777/34, o lançamento de resíduo industrial das usinas açucareiras (vinhaça) nas águas fluviais. Nele é decretada a obrigatoriedade do lançamento dos resíduos industriais das usinas açucareiras nos rios principais, longe das margens, em lugar fundo e com correntes suficientes para dispersar o produto rapidamente. Se isso não fosse possível, dever-se-ia tratar os efluentes previamente ao descarte em cursos d'água, lagoas ou em quaisquer águas paradas. É obrigatória a decantação dos resíduos e sua transformação em adubos. Em fevereiro 1967, no governo Jânio Quadros, a Lei nº 303 proibia a disposição de vinhaça *in natura* nos rios e lagos, buscando evitar a poluição das águas e do meio ambiente. Em 1976 o governo de São Paulo expediu a Lei Estadual 997 e o Decreto nº 8468 instituindo o Sistema de Prevenção e Controle da Poluição do Meio Ambiente. Em março de 1979, a Portaria nº 53 do MINTER proíbe a aplicação de resíduos *in natura* na agricultura, alimentação de animais e corpos d'água (Piacente, 2004).

1.4.4 Fase agrícola

Segundo Braunbeck (2008), a incorporação da palha para cobertura do solo como uma prática possui diversos benefícios sobre a conservação da água e do solo, quais sejam: retenção da umidade e redução das perdas de solo, de água e de matéria orgânica por erosão e incorporação gradativa de matéria orgânica. A quantidade de palha disponível na cana-de-açúcar permite uma cobertura do solo suficiente para evitar perdas significativas de água e de solo.

No entanto, preconiza-se, para atender a produção de cana-de-açúcar com critérios de sustentabilidade, uma mudança significativa das tecnologias e processos atualmente empregados. Essa mudança passa pela adoção do plantio direto, colheita da cana crua, utilização de estruturas de tráfego controlado, incorporação da palha no campo, processos intrinsecamente ligados. E muito investimento e políticas públicas.

O plantio direto se apresenta como um caminho muito promissor para conseguir conservação da água e do solo na agricultura canavieira. As perdas de água no plantio convencional são de cerca de 140 mm/ano, ao passo que no plantio direto é de pouco mais de 40 mm/ano. As perdas de solo no plantio convencional e no direto são de cerca de, respectivamente, 23 t/ha.ano e pouco mais de 5 t/ha.ano.

O tráfego gerado pela mecanização canavieira atual impede a utilização do plantio direto pleno dado o elevado grau de pisoteamento das máquinas agrícolas sobre a área plantada, fora que intensifica o processo de erosão e conseqüente arraste de solo e água. Atualmente, 60% da área plantada são trafegados, ocorrendo compactação do solo. Utilizando-se uma Estrutura de Tráfego Controlado (ETC), o pisoteamento cai para 5-10% da área plantada. É importante mencionar que as

ETCs são estruturas de grande porte direcionadas para os grandes produtores, tanto por escala de produção quanto pelos elevados custos de aquisição.

A colheita da cana crua é uma das pré-condições para a prática do plantio direto. No entanto, segundo Braunbeck, a não ser que aconteça uma grande alteração nos padrões tecnológicos, as metas do protocolo agro-ambiental de redução das queimadas não serão atendidas para declividades inferiores a 12% e muito menos para as acima delas. Um dos motivos é o desinteresse econômico dos fabricantes de veículos agrícolas de desenvolverem tecnologias como as ETCs, para as quais o mercado se restringiria a uma quantidade pouco expressiva.

O custo da palha resultante da colheita mecânica de cana integral ou da recuperação da palha com equipamentos de fenação, ou forrageiros, é pouco atrativo para a produção de energia elétrica.

A cobertura vegetal proporcionada pela incorporação da palha no campo incorpora matéria orgânica ao solo de forma gradativa e com isso melhora sua estrutura e sua capacidade de retenção de água. No entanto, o manejo da "cana na palha" apresenta desafios relacionados principalmente a pragas e brotação de soqueira que demandam aprendizado, melhoramento genético e desenvolvimento de insumos específicos.

- Desvantagens da cana crua:
- Retardo na brotação (função da variedade);
- Mudança no perfil de pragas e doenças;
- Maiores perdas na colheita;
- Redução da longevidade do canavial (eliminação de soqueiras e tráfego);
- Maior investimento em equipamentos;

1.4.5 Fase industrial

1.4.5.1 Revisão da Literatura: o reuso e a qualidade da água

Reuso da água

A tendência do reuso de água é algo que está se acentuando desde a década de oitenta com uma estratégia de redução da captação total de água. Esses esforços não só têm resultado em economias no tratamento da água bruta de captação, como também tem reduzido os custos de tratamento de efluentes (Bagajewicz, 2000).

No entanto, comparada com a literatura disponível relativa á integração térmica de processos industriais, o tópico de integração de águas e reuso tem sido estudado somente por poucos autores. Jensen & Schumann (2001) relatam ações tomadas pela usina de açúcar Maidstone com o objetivo de diminuir o impacto negativo causado pelos efluentes, fazendo o descarte dos "melhores" efluentes e reciclando os "piores" para o processo. Eles alcançaram o objetivo de efluente zero na sua produção, porém isto resultou em 0,13% de perdas de açucares adicionais devido ao maior conteúdo de cinzas no processo de moagem.

Kesserlingh (2002) estudou o caso de uma usina localizada em Ribeirão Preto, no Estado de São Paulo, com uma taxa de captação de 5,56 m³ de água/t de cana moída. A autora mapeou os pontos de coleta de água, os respectivos usos no processo industrial e os pontos de descartes de efluentes. Tomando as ações de reuso da água propostas pela autora, esta usina conseguiria atingir 0,64 m³ de água/t de cana-de-açúcar, porém não foram consideradas as perdas de água nos circuitos de resfriamento e nos condensadores barométricos, o que incrementaria esta taxa. Este estudo é um dos poucos que caracterizou a qualidade da água em alguns circuitos da usina, discutindo também o seu gerenciamento industrial e os conceitos de *housekeeping*⁹.

Tenório e Callado (2007) estudaram uma usina sucroalcooleira localizada no Estado de Alagoas, que mói 1.700.000 toneladas de cana por ano e capta 400 m³ de água/h. Nesta usina os principais reusos são: a saída de água nos condensadores barométricos da etapa de evaporação, o uso da água saindo do condensador na destilaria para a lavagem de cana, os condensados de vapores vegetais para o processo de embebição nas moendas e para a reposição da água dos lavadores de gases da caldeira.

Rein (2007) possui um capítulo de seu livro dedicado aos sistemas de água e condensado de uma usina de açúcar e no qual também apresenta um balanço de utilização de água. O balanço total para essa usina de açúcar, desconsiderando-se a lavagem de cana, resulta num excesso de cerca de 20 a 30% da água entrando com a cana. Além disso, o autor discute o tópico de recuperação dos condensados e sua possível contaminação com açúcares e das diferentes tecnologias para o tratamento de efluentes.

Elia Neto apud Macedo (2005), por sua parte, identifica os usos de água nas usinas sucroalcooleiras do Estado de São Paulo, fornecendo vazões médias reportadas no setor. Destacam-se a lavagem de cana (5,33 m³/t de cana), os condensadores multijatos/barométricos e cozedores (2 e 4 m³/t de cana, respectivamente), a água utilizada no resfriamento dos condensadores na destilaria (4 m³/t de cana) e resfriamento das dornas de fermentação (3m³/t de cana). De acordo com Elia Neto (apud Macedo, 2005), as usinas no Brasil têm um uso médio da água de 2 m³/t de cana, e nas destilarias de 15 m³/t de cana. O autor propõe uma meta de captação de água para o setor de 1 m³/t de cana, consumo de 1 m³/t de cana e efluente zero.

Ravagnani et al. (2007) fizeram um análise pinch, ferramenta que visa à integração térmica mediante a troca de calor entre correntes quentes e frias, propondo algumas modificações, os autores enunciam num novo circuito de água reduções de 12 m³ a 1 m³/t de cana. Através de maior integração térmica entre os processos, eles propõem o uso da vinhaça para esquentar a água vinda da Estação de Tratamento. Esta água é utilizada para a reposição de água na caldeira com o objetivo de evitar o uso de vapor de escape para este fim. Isto resultou em economias de aproximadamente 10% no uso de vapor de escape.

⁹ Objetiva melhorar a organização e limpeza na indústria, reduzindo riscos de contaminação de produtos, melhorando o ambiente de trabalho, a disposição de resíduos, além de proporcionar benefícios com relação ao uso de materiais (redução de perdas e retrabalhos).

Piazza et al. (1999) mostram procedimentos de cálculo para o uso de água, classificação das correntes externas e internas¹⁰, a disponibilidade da água e os requerimentos para o processo. Além disso, algumas medidas de redução de consumo e incrementos de geração de condensados são apresentadas, como: incremento do número de sangrias na evaporação, instalação de pré-evaporador para o circuito da destilaria, instalação de trocadores de calor mistos caldo/água de condensado e uso deste último para embebição nas moendas, substituição da água na diluição dos polímeros por caldo clarificado, melaço e méis e colocar em série água de resfriamento das dornas e condensadores.

As medidas enunciadas por Leite (2008) no Workshop "*Uso da água na produção de etanol de cana-de-açúcar*" (vide item 1.4.3.2), também foram propostas por Kesserlingh (2002), Tenório e Callado (2007), Elia Neto (apud Macedo, 2005) e Ravagnini et al.(2007). Nesse mesmo Workshop, Carmo (2008) focaliza novos desenvolvimentos tecnológicos empreendidos pela Dedini, com significativa redução das perdas de água por evaporação, assim como empregando a concentração da vinhaça, limpeza a seco e purga do vapor nos múltiplos efeitos. Essas reduções, de acordo com a empresa, permitem que somente a água que entra com a cana (~700 litros por tonelada de cana) seja necessária numa usina de açúcar e álcool, ou seja, zera-se a captação de água (usina auto-suficiente em água).

Qualidade da Água

A identificação da qualidade da água nos diversos pontos dentro da usina é necessária para adotar as estratégias de seu reuso e tratamento. Isso também evita comprometer equipamentos e processos que requerem qualidades de água mínimas.

Para o caso da qualidade da água, dois estudos são mencionados. Um deles é o estudo realizado pela COPERSUCAR (1985), baseado em dados de indústrias cooperadas, que identificou e caracterizou os efluentes gerados nas usinas sucroalcooleiras em termos de DBO e temperatura (Tabela 14).

¹⁰ Correntes externas: toda água captada em mananciais para complementar circuitos fechados ou utilização direta. Correntes internas: água contida na cana (águas condensadas na evaporação e todas as águas condensadas provenientes de sangria dos evaporadores).

Tabela 14: Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e temperatura de efluentes da indústria

Efluente	DBO (mg/l)	Temperatura (°C)
Águas de colunas barométricas (circuito fechado)	50 - 1000	40 - 45
Águas de lavagem de cana (circuito aberto)	120 - 300	25 - 35
Águas de lavagem de cana (circuito fechado)	2000 - 4000	
Águas condensadas ou amoniacais	100 - 500	70 - 80
Águas de lavagem de piso e equipamentos	800 - 1500	25 - 50
Águas de resfriamento de dornas e condensadores	-	35 - 45
Vinhaça	20.000	85 - 90

Fonte: COPERSUCAR (1985).

Porém, em outubro de 2009, a ANA, juntamente com o CTC, publicará o Manual da Conservação e Reuso da Água na Agroindústria Sucroenergética (atualmente no prelo), cujo editor é o Sr. André Elia Neto. Essa publicação apresentará também, além das melhores práticas no setor, caracterização atual e mais detalhada da qualidade da água em diversos processos de fabricação do açúcar e álcool.

1.4.5.2 Algumas soluções para a redução de consumo industrial de água

A Ilustração 4 apresenta o fluxo de captação e uso de água no processo convencional industrial de produção do etanol. Os pontos mais importantes são: a etapa de lavagem da cana-de-açúcar; as etapas de evaporação/condensação nos processos de produção de açúcar e etanol; a destilação (águas residuais, água aquecedora, lavagens de pisos e tanques e descartes); os lavadores de gases; o resfriamento de mancais e nas caldeiras.

TECNOLOGIA TRADICIONAL E PROCESSO DE PRODUÇÃO DE ETANOL E BAGAÇO EXCEDENTE

FLUXOGRAMA DE PRODUÇÃO – ETANOL E BAGAÇO EXCEDENTE

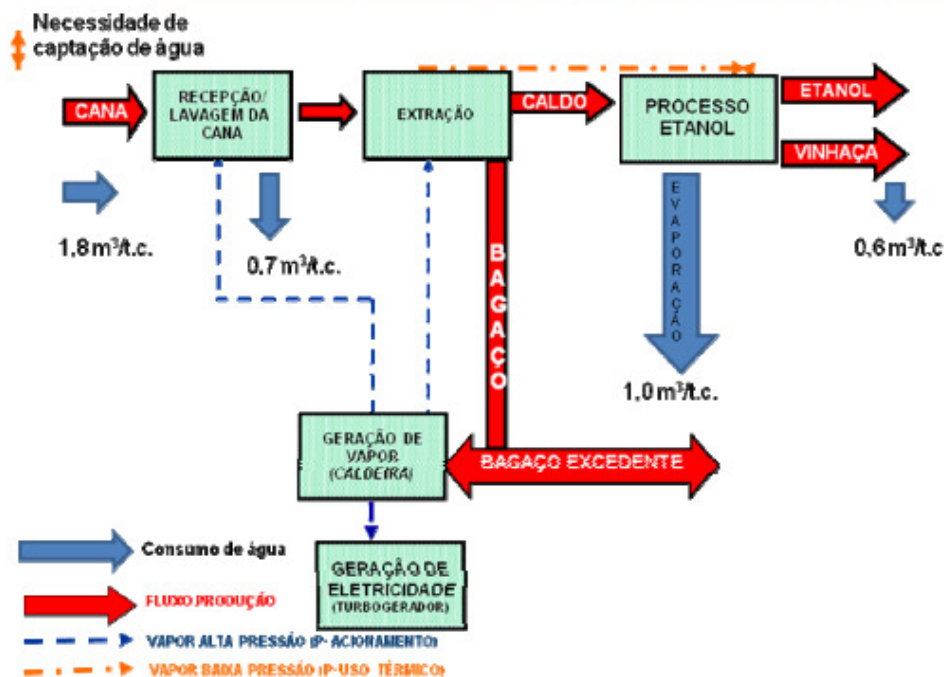


Ilustração 4: Requerimentos e consumo de água no processo industrial de produção do etanol

Fonte: Carmo (2008)

Apresentam-se algumas soluções para a redução de consumo industrial de água:

Substituir, por exemplo, o sistema de lavagem da cana-de-açúcar por sistema de limpeza a seco.

Pode-se otimizar a etapa de evaporação, utilizando sangrias de vapor no evaporador de múltiplos efeitos para aquecimento de outras correntes da planta, aproveitando os vapores condensados para "produção" de água.

Com relação à destilação e desidratação, o uso de novas tecnologias com a utilização de membranas reduz a necessidade de consumo de água.

Também no sentido de minimizar o consumo interno de água, a concentração da vinhaça integrada à destilação poderá contribuir sensivelmente para a redução da necessidade de água.

Já outra solução tecnológica desenvolvida pela Dedini, de produção de açúcar, álcool e biofertilizante organo-mineral, propõe-se exportadora de água. Ou seja, dos 700 litros de água que entram com a cana, utilizam-se 409 litros (consumo e água contida nos produtos). Os restantes 291 litros são "exportados" (Carmo, 2008).

Mesmo com tecnologias convencionais já disponíveis, o consumo de água pode ser significativamente reduzido. A captação (que não considera a água que entra com a cana) pode cair de 1,83 m³/TC para 1 m³/TC utilizando tecnologias disponíveis,

podendo chegar a 0,5 m³/TC, de acordo com Adriano Viana Ensinas (FEM/UNICAMP), panelista convidado do Workshop "Uso da água na produção de etanol de cana-de-açúcar".

De acordo com Carlos Eduardo Vaz Rossell, também presente no workshop, os avanços nos últimos anos na racionalização do uso da água (redução na captação de 5 para 1,8 m³/TC) foram relativamente fáceis, ou seja, não exigiram grandes investimentos. De agora em diante, os esforços e recursos serão muito maiores para uma redução menor.

Há tecnologias já disponíveis no mercado, como as apresentadas, que tornam as usinas auto-suficientes ou até exportadoras de água. No entanto, os custos são ainda proibitivos.

1.4.5.3 Modelagem: Potencial de Redução de Consumo de Água numa Usina Sucroalcooleira

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos a partir de uma simulação de um modelo de uma planta com práticas comuns encontradas na indústria sucroalcooleira. A simulação foi desenvolvida por Ensinas (2008) utilizando o software Engineering Equation Solver® (EES, 2007), baseados em dados coletados em usinas reais e na literatura.

Foi considerada uma primeira etapa comum para produção de açúcar e etanol, incluindo recepção de cana, lavagem, preparação e extração do caldo. O caldo cru extraído passa por uma etapa de tratamento para a produção de açúcar e etanol, sendo consumido nas etapas subseqüentes de acordo a sua destinação. A produção de açúcar é completada com a evaporação do caldo, cozimento, centrifugação e secagem. A produção de álcool hidratado, por sua vez, conta com uma etapa de preparação do caldo para a etapa de fermentação, além de destilação e retificação.

Para a distribuição dos açúcares presentes na cana, considerou-se que 50% foram utilizados na produção de açúcar e 50% para a produção de etanol, sendo estas contabilizadas com o melaço da produção de açúcar, além da quantidade de xarope e caldo tratado. As características gerais da planta modelada, como os parâmetros utilizados para a simulação, são descritos na Tabela 15.

Tabela 15: Parâmetros de Operação da usina sucroalcooleira modelada

Parâmetro	Valor
Capacidade de moagem ao ano (t cana/ano)	2.000.000
Taxa de moagem (t cana/h)	500
Horas de operação por safra (h/ano)	4000
Conteúdo de fibra da cana (%)	14,0
Pol da cana (%)	14,0
Produção de açúcar (kg/t cana)	65,0
Produção de álcool hidratado (l/t cana)	40,0

Usos da água na usina sucroalcooleira do modelo

Em relação ao uso da água no processo industrial, se procura comparar as demandas de água entre o uso da água na usina e a captação efetiva, sendo a primeira resultado da soma de todos os usos nos processos, como se todos os circuitos de água estivessem abertos, e o segundo resultado da captação efetiva para a reposição nos circuitos existentes.

O uso da água no processo industrial foi analisado considerando todas as necessidades de água. Para representar estas demandas, a usina foi simulada sem circuitos fechados e considerando uma taxa de consumo de água média encontrada na literatura e usinas reais. A Tabela 16 mostra as correntes de água e seus parâmetros.

Tabela 16: Usos da água na usina de açúcar e etanol modelo

Usos da água	m (kg/s)	T (°C)	P (bar)	m (kg/t cana)
Lavagem da Cana	416.7	25	1.01	3000
Embebição	41.7	50	6.00	300
Resfriamento de Mancais	6.9	25	1.01	50
Resfriamento de óleo de lubrificação	55.6	25	1.01	400
Resfriamento da Sulfatação	3.1	25	1.00	22
Calagem	3.2	107	6.00	23
Lavagem de torta de filtro	9.7	107	6.00	70
Lavagem das centrifugas	2.3	107	6.00	17
Diluição de méis pobres	0.3	107	6.00	2
Diluição de açúcar	1.2	107	6.00	9
Aos Cozedores	0.4	107	6.00	3
Condensadores			1.01	
Barométricos da Evaporação	360.3	30		2594
Vácuo dos Filtros	12.5	30	1.01	90
Resfriamento de caldo para fermentação	151.3	25	6.00	1089
Vácuo nos cozedores	337.6	30	1.01	2431
Diluição do fermento	17.0	25	6.00	122
Resfriamento de Dornas de Fermentação	242.7	25	6.00	1747
Condensador de Destilação	7.9	30	1.01	57
Condensador de Retificação	105.7	30	1.01	761
Resfriamento de Etanol Hidratado	7.0	30	1.01	50
Lavagem de gases da caldeira	169.8	25	1.01	1222
Reposição de água na caldeira	97.0	128	22.00	701
Limpezas gerais	6.9	-	1.01	50
Usos potáveis	4.2	25	1.01	30
Resfriamento de Turbogeradores	27.8	30	1.01	200
Resfriamento dos cozedores	4.2	30	1.01	30
			TOTAL	15071

O uso total de água de 15 m³/t de cana moída é menor do que o de 22 m³/t de cana reportado por Elia Neto (2009) para a mesma distribuição de produção da usina: 50% açúcar e 50% etanol. Isto se deve ao fato de que o modelo considerou para a lavagem da cana uma mesa de inclinação com um ângulo de 45°, que utiliza menos água (3 m³/t de cana, segundo Rein (2007)) quando comparado com o valor apresentado por Elia Neto (2008) (5,33 m³/t de cana). Outra diferença é que na simulação é considerado o uso de condensadores barométricos ao invés de condensadores multijatos.

Como pode ser observado na Ilustração 5, o vácuo nos cozedores e os condensadores barométricos de evaporação respondem por 33% da água utilizada na usina. Este consumo, agregado com a água para a lavagem da cana (20%) e para o resfriamento das dornas (12%), representa 65% do total. Desta análise, nota-se que a primeira ação para poupar água seria a de fechar estes circuitos. Somente com esta medida, sem considerar as perdas nos circuitos fechados (evaporação, fugas, etc.), é possível diminuir o consumo de 15,00 m³/t de cana para 5,25 m³/t de cana.

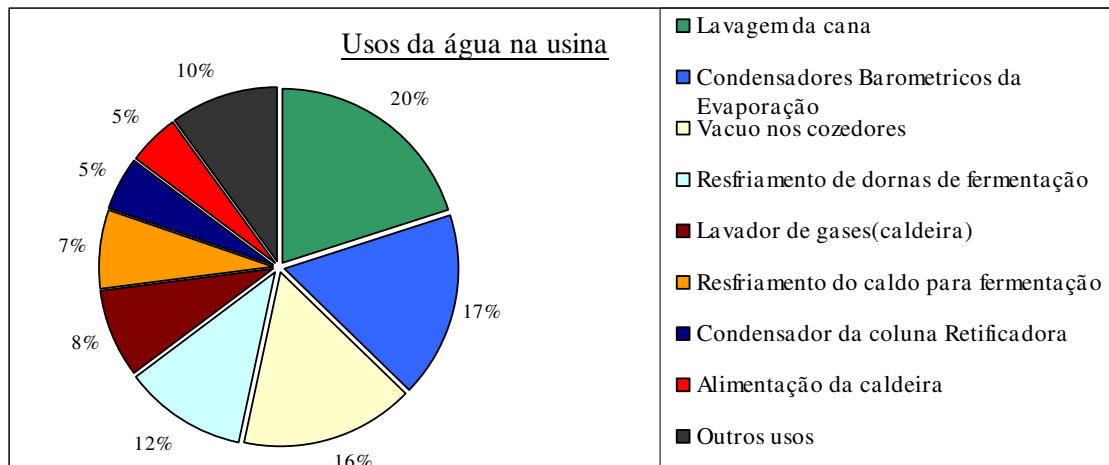


Ilustração 5: Usos da água na usina sucroalcooleira modelada

As fontes de água na usina foram identificadas e quantificadas. Estas correntes de água possuem o potencial, depois de tratadas (caso necessário de acordo a sua qualidade e destino), de serem re-utilizadas para suprir as demandas da usina. A Tabela 17 mostra estas "fontes de água", suas vazões, temperaturas e pressões.

Tabela 17: Corrente de água para reuso

Fontes de Água	m (kg/s)	T (°C)	P(bar)	m (kg/t cane)
Condensado de filtração	0.4	70	0.31	3
Condensado de Vapor de 1º Efeito (coletado na saída da calandra de 2º efeito)	7.9	115	1.69	57
Condensado de Sangria do Vapor de 1º efeito para esquentar no tratamento do caldo	20.2	115	1.69	145
Condensado de Sangria do Vapor de 1º Efeito a esquentar o Cozedor A	11.8	115	1.69	85
Condensado de Sangria de Vapor de 1º Efeito a esquentar o Cozedor B	2.2	115	1.69	16
Condensado de Vapor de 2º Efeito	8.5	107	1.31	61
Condensado de Vapor de 3º Efeito	9.1	98	0.93	65
Condensado de Vapor de 4º Efeito	9.7	83	0.54	70
Condensado de Vapor de 5º Efeito no Condensador Barométrico	10.5	50	1.01	75
Condensado de Vapor do Cozedor A	8.3	50	1.01	60
Condensado de Vapor do Cozedor B	1.5	50	1.01	11
Purga da Caldeira	4.9	25	1.01	35
Perdas da Lavagem de Cana	20.8	25	1.01	150
Perdas de água do Lavador de Gases	8.5	25	1.01	61
Vinhaça	61.5	76	6.00	570
Água de limpeza coletada (50%)	3.5	25	1.01	25
TOTAL				1489
Sem vinhaça nem perdas da lavagem de cana				769

A Tabela 17 mostra o valor total da água disponível e indica que a usina possui um potencial de reuso de aproximadamente 1,49 m³/t de cana moída. O leitor não deve confundir este valor com a água contida na cana, pois ele considera somente a água externa captada que é agregada em diferentes etapas do processo que podem ser reutilizadas. Sem considerar a água contida na vinhaça e as perdas de lavagem de cana, isto resultaria em 0,769 m³/t de cana. A menos que a água contida na vinhaça seja separada por evaporação ou por outros métodos, como osmose reversa utilizando membranas especiais (devido à alta carga orgânica e alta temperatura), um reuso direto desta água seria muito difícil devido à alta carga de sólidos dissolvidos, ao alto índice de Demanda Biológica de Oxigênio (DBO) e ao baixo pH. Tanto as perdas na lavagem de cana como a vinhaça são altamente poluentes e devem ser tratadas antes do reuso dentro da usina. Pela Ilustração 6, verifica-se também que os condensados são a principal fonte de água na usina e que os condensados da seção de evaporação representam 43% do potencial total de reuso.

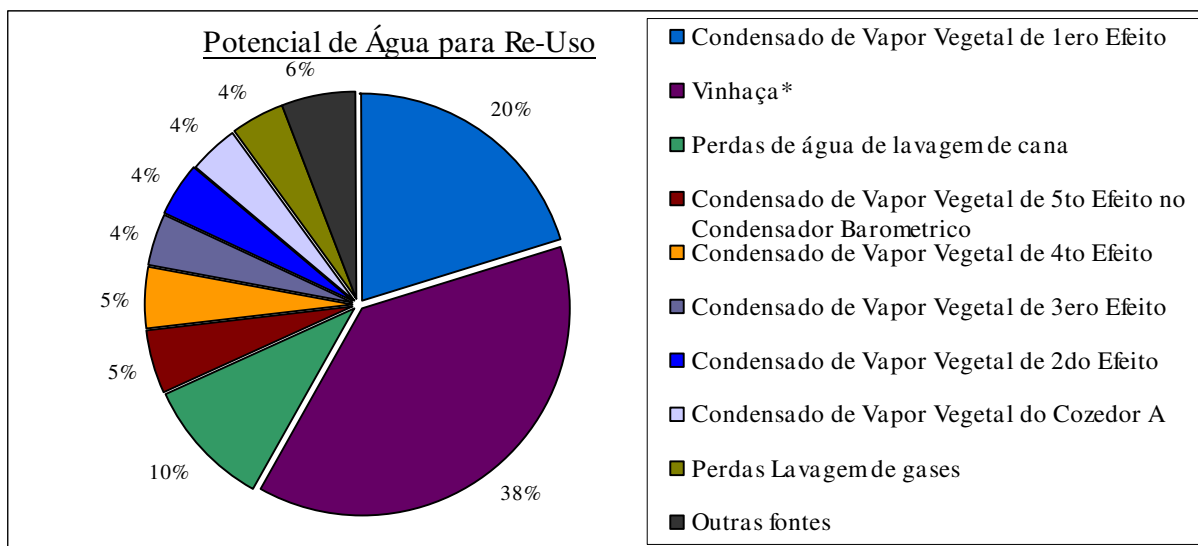


Ilustração 6: Potencial de correntes de água para Reuso

Fechamento de circuitos

Para ilustrar a captação efetiva de água para atender os processos, foi considerada uma usina onde existe tratamento e/ou recirculação em circuitos fechados. A Tabela 18 apresenta as perdas nestes circuitos.

Tabela 18: Perdas de Água em Circuitos Fechados. Baseados em Rein (2007)

Circuitos Fechados	Perdas de água (%)
Tratamento da água de Lavagem	5
Tratamento de água de resfriamento de mancais	3
Tratamento de água de resfriamento de óleo lubrificante	3
Tratamento de Água de Resfriamento de Sulfitação	3
Água para resfriar nas Lagoas de Resfriamento	4
Água nas Torres de Resfriamento	3
Tratamento da água de lavador de gases	5
Recirculação de água de alimentação da caldeira (purgas)	5

Para a simulação, foi considerado que a água proveniente das lagoas de resfriamento atende os sistemas de vácuo nos filtros, evaporadores e cozedores, condensadores nas colunas de destilação e retificação, e o resfriamento do etanol. Estas correntes de água foram assumidas retornando a 50,0°C e sendo resfriadas até 30,0°C, sendo depois utilizadas novamente. O resfriamento com torres é destinado para as etapas de resfriamento das dornas e do caldo para produção de etanol, para a etapa de sulfitação, dos turbogeradores, de mancais e do óleo de

lubrificação, considerando a temperatura de entrada a 30,0°C e de saída a 25,0°C (Ensinas, 2008).

A captação efetiva de água é composta pela reposição de água nos circuitos fechados e pela água requerida para atender as demandas de diluição do fermento, usos potáveis e limpeza geral. Outros consumos de água no processo são atendidos pelos condensados, sendo eles:

- Água de embebição
- Preparo de leite de cal
- Lavagem da torta do filtro
- Diluição de méis e lavagem das centrífugas.

A Ilustração 7 mostra o diagrama de processo das correntes d'água a fim de ilustrar a planta simulada.

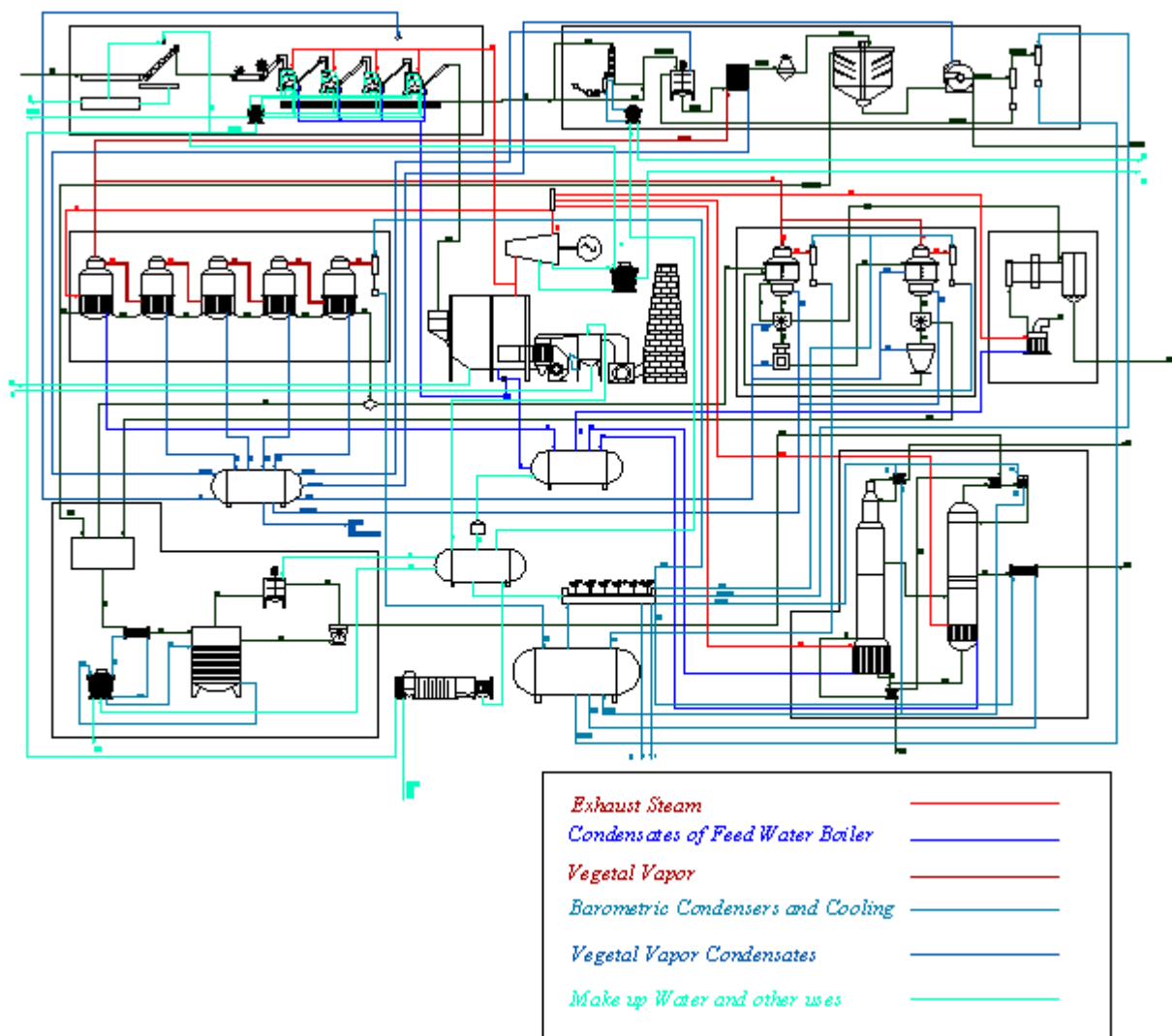


Ilustração 7: Diagrama de Processo da Usina Sucroalcooleira modelada (Chavez, 2009)

A Tabela 19 mostra a captação efetiva de água por processo. Estes valores representam a demanda de água em tempo real, sem considerar o conteúdo da água na cana refletida nas fontes de água. Em teoria, a ETA tem que suprir estas quantidades da água captadas em rios, lagos etc. Pode ser deduzido que se reutilizando as correntes das fontes de água na usina resultará numa menor capacidade de planta.

Tabela 19: Captação Efetiva de Água por Processo

Captação de água por processo	m (kg/s)	T (°C)	P (bar)	m (kg/t cana)
Reposição Lavagem da Cana	20,8	25,0	1,01	150
Imbibição	41,7	50,0	6,00	300
Reposição de Resfriamento de mancais	0,2	25,0	1,01	2
Reposição de Resfriamento de óleo lubrificante	1,7	25,0	1,01	12
Reposição de Resfriamento de Sulfitação	0,1	25,0	1,00	1
Preparo de leite de cal	3,2	107,4	6,00	23
Lavagem de torta de filtro	9,7	107,4	6,00	70
Lavagem das Centrifugas	2,3	107,4	6,00	17
Diluição de meis	0,3	107,4	6,00	2
Diluição de açúcar B	1,2	107,4	6,00	9
Para Cozedor B	0,4	107,4	6,00	3
Reposição para Condensadores Barométricos de Evaporação	14,8	30,0	1,00	107
Reposição para vácuo nos filtros	0,5	30,0	1,00	4
Reposição para resfriamento de caldo para etanol	4,5	25,0	6,00	33
Reposição dos circuitos de vácuo dos cozedores	13,9	30,0	1,00	100
Diluição de fermento	17,0	25,0	6,00	122
Reposição de resfriamento das dornas	7,3	25,0	6,00	52
Reposição do Condensador da coluna de Destilação	0,3	30,0	1,00	2
Reposição do Condensador da coluna de Retificação	4,2	30,0	1,00	30
Resfriamento de Alcool hidratado	0,3	30,0	1,00	2
Reposição de lavagem dos gases	8,5	25,0	1,00	61
Reposição de água de alimentação da caldeira	4,9	25,0	1,00	35
Limpezas Gerais	6,9	-	1,01	50
Usos potáveis	4,2	25,0	1,01	30
Reposição de resfriamento de turbogeradores	1,4	30,0	1,01	10
Reposição de resfriamento dos cozedores	0,2	30,0	1,01	2
			TOTAL	1228

Se subtraímos o valor de 0,769 m³/t de cana da água potencial para reuso, sem considerar a vinhaça nem as perdas de lavagem de cana (Tabela 17), dos 1,228 m³/t de cana, obtém-se a captação líquida efetiva de água de 0,459 m³/t de cana. Este valor considera que as correntes das "fontes de água" foram previamente tratadas para seu reuso.

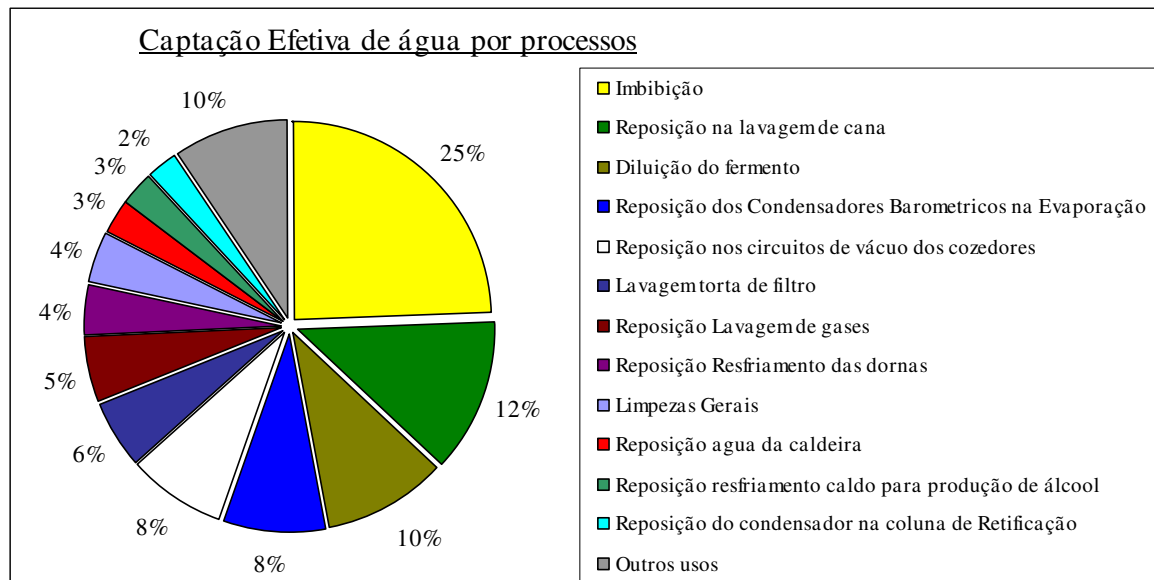


Ilustração 8: Captação Efetiva de água por processo na usina sucroalcooleira modelada.

Como pode ser observado na Ilustração 8, o principal consumidor de água na usina sucroalcooleira modelada é o processo de embebição. Porém, grande parte desta água seria recuperada dos condensados da evaporação. Perdas por evaporação pelo uso nos circuitos de condensadores barométricos e vácuo dos cozedores representam, juntas, 16%. Isto pode ser evitado se torres de resfriamento a seco forem utilizadas, mas isto, na prática, seria muito difícil de ocorrer já que elas são muito mais caras, requerendo maiores áreas que as torres úmidas.

Outro importante consumidor de água é o uso na diluição do fermento. Esta água termina no conteúdo de água na vinhaça. Se um sistema de limpeza a seco para a cana é utilizado, em vez de lavagem de cana, isto resultaria numa demanda efetiva de captação de 1,078 m³/t de cana, subtraindo os 0,769 m³/t de cana de água potencial para reuso, resultaria numa taxa de 0,309 m³/t de cana de captação externa, muito próximo do objetivo de captação zero.

Muitos autores como Vignes (1980), Birkett e Stein (2004) e Eijsberg (2006) reportam perdas de sacarose na operação de lavagem de cana. De acordo com Procknor (2002), os circuitos de lavagem de cana tendem ao fim a serem reduzidos a usos esporádicos durante dias chuvosos, como uma consequência da intensificação da colheita mecânica.

A exceção de uma mudança para limpeza a seco, nesta etapa, ações mais "fáceis" de tomar tem se mostrado para evitar perdas de água, como o fechamento de circuitos e reuso de correntes disponíveis de água, como os condensados. Além disso, correntes a altas temperaturas tem um conteúdo energético que pode ser recuperado como uma fonte de calor dentro do processo. Esta capacidade seria utilizada numa segunda etapa de medidas a serem tomadas para diminuir as perdas de água utilizando a integração térmica para reduzir as demandas de água.

Deve ser destacado que estes valores de captação efetiva líquida relatados neste capítulo são o resultado de um balanço de massa, considerando que a água para reuso passou por um tratamento prévio (se for necessário) para ser re-utilizada num processo específico. Nesse sentido, estudos devem ser feitos de maneira a caracterizar as diferentes correntes de água na usina.

1.4.6 Conclusões

1. Há cerca de 20 anos as usinas de álcool do Estado de São Paulo consumiam 5,6 mil l de água para cada tonelada de cana processada, hoje essa relação é de 1,8 mil litros para cada tonelada, ou seja, uma redução de 32%, mas ainda podemos e devemos fazer mais. As novas tecnologias, as chamadas tecnologias de segunda geração poderão demandar mais recursos hídricos caso não investiguemos novas rotas e novos processos de produção.
2. A efeito de atingir melhores índices de sustentabilidade, o setor sucroalcooleiro deve colocar esforços na diminuição do consumo de água.
3. Mudanças significativas em tecnologias e processos são necessárias para a conservação do solo e da água, recursos sobre os quais as pressões serão ainda maiores no futuro.
4. Tem havido significativas reduções no consumo de água para os processos industriais, e existem no Estado de São Paulo metas negociadas entre a indústria e a Secretaria do Meio Ambiente, além do zoneamento agro-ambiental que deve ser observado para instalação de novas unidades produtoras.
5. Novas tecnologias de aproveitamento de água nos processos industriais têm sido introduzidas como limpeza a seco da cana, sistema de membranas para os processos de destilação e desidratação, e que deverão progressivamente disseminar-se entre as unidades produtoras. Métodos que procuram também utilizar a própria água contida na cana estão sendo desenvolvidos, e espera-se que exista um excedente de água que possa ser utilizada posteriormente na própria área agrícola para irrigação ou outras finalidades.
6. A redução observada na captação de água para os processos industriais em São Paulo podem ser atribuídas a diversos fatores que ocorreram simultaneamente: curva de aprendizagem com operação e aumento de escala de produção, escassez de reservas de água, início de cobrança pelo uso da água, esforços regulatórios e monitoramento ambiental do Estado e processos de licenciamento ambiental de novos empreendimentos.
7. O zoneamento agro-ambiental realizado para o setor sucroalcooleiro é um instrumento importante para controlar contaminação de aquíferos, águas superficiais e solos por agrotóxicos. Além disso, estão mapeadas no estado a disponibilidade hídrica, níveis de contaminação atmosférica e unidades de conservação. Essas informações geográficas disciplinam, em particular, o planejamento da expansão e operação da indústria sucroalcooleira no estado.
8. Esse zoneamento classifica regiões no Estado de São Paulo onde é permitido o plantio da cana-de-açúcar, inclusive com parâmetros indicando os níveis permitidos de captação de água para os processos industriais que variam de

0,7 m³/t de cana a 1 m³/t de cana. O Estado de São Paulo possui 3,9 milhões de ha de áreas adequadas para as atividades sucroalcooleiras, 8,9 milhões de ha de áreas adequadas com limitações ambientais, 5,5 milhões de ha de áreas adequadas com restrições ambientais e 6,7 milhões de ha de áreas inadequadas.

9. O plantio direto se apresenta como um caminho muito promissor para conseguir conservação da água e do solo na agricultura canavieira. As perdas de água no plantio convencional são de cerca de 140 mm/ano, ao passo que no plantio direto é de pouco mais de 40 mm/ano. As perdas de solo no plantio convencional e no direto são de cerca de, respectivamente, 23 t/ha.ano e pouco mais de 5 t/ha.ano.
10. A modelagem da usina de açúcar - etanol permitiu a identificação dos diferentes usos de água e o potencial reuso no processo.
11. Valores de 0,46 m³/t de cana foram atingidos na usina modelada fechando-se circuitos e reutilizando-se as correntes de água como os condensados. Utilizando-se limpeza de cana a seco, este valor cairia para 0,31 m³/t de cana.

Pesquisas devem ser feitas na caracterização físico-química das correntes de água na usina de maneira a avaliar os tratamentos a serem feitos para poder serem reutilizadas. Considerando a possibilidade da indústria sucroalcooleira apresentar excedentes no balanço de água industrial, instrumentos legislativos poderiam ajudar a estimular tecnologias como a da evaporação da vinhaça utilizando-se incentivos econômicos para as usinas que retornassem excedentes de águas superficiais com maior ou igual qualidade do que as que foram captadas. Desta maneira, poderia-se vislumbrar um novo "produto" para o setor que seria a água.

1.5 Uso de fertilizantes na cultura da cana-de-açúcar¹¹

1.5.1 Avaliação das necessidades de nutrientes para a produção de cana-de-açúcar e quantidade e tipos de fertilizantes e corretivos efetivamente empregados na cultura

Nutrientes minerais são componentes essenciais do processo de produção vegetal (Figura 20). Sem eles, as plantas não conseguem transformar a energia solar em energia química por meio da fotossíntese.

Os nutrientes minerais compõem cerca de 5% da matéria seca dos vegetais, são imprescindíveis e não têm sucedâneos (Tabela 20). A classificação como macronutrientes e micronutrientes diz respeito apenas às quantidades em que os elementos estão presentes nos vegetais e não tem relação com suas funções ou importância. Na ausência de qualquer um dos nutrientes essenciais, as plantas não completam seu ciclo. Além dos minerais, absorvidos do solo, as plantas contêm carbono (C), oxigênio (O) e hidrogênio (H), que representam aproximadamente 96% de sua massa, e são absorvidos do ar, na forma de CO₂, e da água.

¹¹ Pesquisadores responsáveis: Raffaella Rosseto e Heitor Cantarella (APTA - Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios).

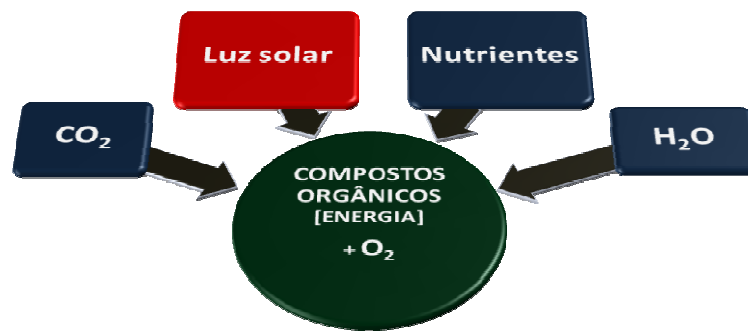


Figura 20. Componentes essenciais para a síntese de compostos orgânicos pelas plantas.

Para a produção agrícola comercial, os macronutrientes primários têm papel preponderante pelas grandes quantidades exigidas pelas plantas. Eles são fundamentais para manter ou aumentar a produtividade das culturas, representam a maior parcela de custo com relação à adubação e, por isso, normalmente são o foco das discussões das questões relacionadas ao fornecimento e custo deste fator de produção vegetal. A referência aos três elementos classificados como macronutrientes primários, nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), é feita na forma de "NPK", ou adubação NPK. Por questões de tradição, o fósforo e o potássio são representados nas formulações de fertilizantes e nas estatísticas de produção e consumo por seus óxidos, P_2O_5 e K_2O , respectivamente, embora não existam nessas formas nos fertilizantes ou minerais que os originam.

Os nutrientes secundários, embora também utilizados em quantidades elevadas, têm uma particularidade que justifica a designação: eles são geralmente supridos por meio de produtos que têm outra finalidade na agricultura e, por isso, têm pouco valor comercial. O cálcio e o magnésio são carregados para o solo como corretivos da acidez, ou calcário e, portanto, o que se compra é o corretivo da acidez e não os nutrientes Ca e Mg. Da mesma forma, o enxofre é fornecido às culturas através de fertilizantes que suprem qualquer um dos macronutrientes primários, N, P ou K. e de gesso, utilizado como condicionador de subsolo.

Os micronutrientes, utilizados em proporções menores pelas plantas, adquirem importância crescente para o aumento da produtividade da cana-de-açúcar, mas, têm menor relevância na cadeia de suprimento de matérias primas para a produção agrícola e geralmente não fazem parte das estatísticas de produção vegetal. Há poucos dados publicados sobre produção e consumo de micronutrientes. Assim, neste texto a discussão será feita somente com dados dos macronutrientes primários.

Tabela 20. Nutrientes minerais essenciais aos vegetais⁽¹⁾

Classe de nutriente	Nome	Símbolo químico
Macronutrientes primários	Nitrogênio	N
	Fósforo	P
	Potássio	K
Macronutrientes secundários	Cálcio	Ca
	Magnésio	Mg
	Enxofre	S
Micronutrientes	Boro	B
	Cloro	Cl
	Cobre	Cu
	Ferro	Fe
	Manganês	Mn
	Molibdênio	Mo
	Níquel	Ni
	Zinco	Zn

(1) Além desses, são essenciais às plantas o carbono (C), o oxigênio (O) e o hidrogênio (H), os quais as plantas obtêm do ar e da água. O silício (Si) não é elemento essencial, mas considerado elemento útil. A cana-de-açúcar absorve grandes quantidades de Si do solo.

Tabela 21. Conteúdo de nutrientes minerais presentes em 100 t de colmo fresco de cana-de-açúcar⁽¹⁾.

Macronutriente	Conteúdo	Micronutriente	Conteúdo
	kg		g
N	80-140	B	235
P ₂ O ₅	12-25	Cu	339
K ₂ O	85-250	Fe	7.318
S	18-49	Mn	2.470
CaO	16-50	Cu	590
MgO	20-53		

(1) Teores de alguns nutrientes expressos como óxidos. Dados para os macronutrientes são médias obtidas com diferentes variedades, com cana planta e soca, por vários autores cujos trabalhos foram compilados por Rossetto et al. (2007). Os dados de micronutrientes são de Orlando Filho (1993).

As quantidades médias de nutrientes contidas nos colmos de plantas de cana-de-açúcar são apresentadas na Tabela 21 e dão uma idéia das exportações desses elementos realizadas com as colheitas. As faixas de variação relativamente largas refletem diferenças de variedades, condições de cultivo e tipos de solos. Para alguns nutrientes, em especial o potássio, pode haver consumo de luxo, ou seja, a planta acumular quantidades do nutriente acima de suas necessidades, dependendo das condições de produção.

As exigências das plantas são muito maiores das que as apresentadas na Tabela 21, pois os nutrientes também fazem parte de outras estruturas vegetais tais como

folhas, raízes e rizomas. Porém, as quantidades de nutrientes presentes nos colmos têm maior relevância na presente discussão, pois são aquelas removidas do campo e que precisam ser repostas para manter a qualidade do solo e a preservação de sua capacidade produtiva.

O calcário e o gesso também são importantes insumos utilizados na produção de cana-de-açúcar. O calcário é empregado para corrigir a acidez do solo, e o gesso para melhorar o ambiente químico no subsolo por meio do fornecimento de cálcio e da redução da atividade do alumínio, que pode prejudicar o desenvolvimento das raízes. A acidez é uma característica de grande parte dos solos brasileiros e também é produzida pelo uso de fertilizantes ou como resultante de processos de lixiviação de cátions básicos, um processo natural e inevitável na agricultura.

O presente texto tratará exclusivamente das questões relacionadas às exigências e fornecimento de NPK, pelas razões expostas acima. O calcário é abundante no Brasil e seu suprimento para a produção de cana-de-açúcar não corre riscos. Segundo levantamento recente realizado por Lopes et al (2009), as reservas totais de calcário do Brasil em 2005 – medidas e inferidas – são da ordem de 106 bilhões de toneladas, as quais, à taxa de consumo atual da agricultura brasileira, de 70 milhões de toneladas por ano (aproximadamente 20 Mt para a agricultura e 50 Mt para usos industriais, especialmente cimento), são suficientes para 1500 anos.

O Brasil tem abundantes depósitos de gipsita, mineral que dá origem ao gesso. Os maiores depósitos de gipsita no Brasil ocorrem nas regiões Norte e Nordeste. As reservas, incluindo as medidas e inferidas, são da ordem de 1.700 milhões de toneladas (Raij, 2008). Porém, a maior parte do material utilizado na agricultura das regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste é um resíduo da produção de ácido fosfórico na indústria de fertilizantes, conhecido como fosfogesso. São produzidas cerca de 11 t de fosfogesso para cada tonelada de P na forma de ácido fosfórico (Raij, 2008). Há grandes depósitos desse gesso nas fábricas de fertilizantes fosfatados e, até pouco tempo, esse produto era tratado como resíduo e doado a quem se dispusesse a apanhá-lo. Atualmente o produto tem valor comercial, mas é abundante. Além disso, o aumento da produção de fertilizantes fosfatados pela rota do ácido fosfórico também resultará no aumento da produção de fosfogesso. De qualquer modo, o gesso não pode ser considerado um insumo essencial e sem sucedâneo e não será objeto de outras discussões no presente estudo.

A Tabela 22, Tabela 23 e Tabela 24 são exemplo de recomendações de adubação para a cultura da cana-de-açúcar. Há outras opções de tabelas de recomendação disponíveis no Brasil, mas, todas tendem a confluir para valores comuns ou muito próximos, pois foram geradas com base em dados experimentais produzidos no país.

Sem entrar em detalhes, irrelevantes para o presente estudo, deve-se chamar a atenção para alguns pontos. Primeiramente, as quantidades de N aplicadas no ciclo da cana planta são relativamente modestas em comparação com a exportação desse nutriente. Este fato reflete a longa experiência brasileira mostrando baixas respostas em produtividade à aplicação de N nesta fase. Entre as razões para tal está a possibilidade de que a matéria orgânica do solo e a reserva de N do colmo semente tenham capacidade de suprir boa parte do N necessário no primeiro ano. A possibilidade de ocorrência de fixação biológica de N (FBN), ou seja, contribuição de bactérias associadas à cana-de-açúcar capturando N₂ da atmosfera para a nutrição da planta, não pode ser descartada e será discutida em item à parte neste texto.

Para a adubação das soqueiras, as doses de N são substancialmente mais altas (Tabela 24)

O fósforo, um nutriente no qual os solos brasileiros são normalmente deficientes, é aplicado em grandes quantidades apenas no plantio da cana-de-açúcar. Nas soqueiras, que respondem por 4/5 ou 5/6 do ciclo da cultura até o próximo plantio, recebem quantidades relativamente modestas ou nenhum adubo fosfatado.

Tabela 22. Recomendação da adubação nitrogenada e fosfatada para a cana planta. IAC

Produtividade esperada	Nitrogênio ⁽¹⁾	P resina, mg/dm ³			
		0 - 6	7 - 15	16 - 40	>40
t/ha	N, kg/ha	----- P ₂ O ₅ , kg/ha -----			
<100	30	180	100	60	40
100 - 150	30	180	120	80	60
> 150	30	⁽²⁾	140	100	80

⁽¹⁾ Além dos 30 kg/ha de N do plantio, recomenda-se aplicar de 30 a 60 kg/ha de N em cobertura, 30 a 60 dias após o plantio ou após o início da estação das chuvas. ⁽²⁾ Não é provável obter a produtividade dessa classe, com teor muito baixo de P no solo.

Fonte: Spironello et al. (1997)

Tabela 23. Recomendação da adubação potássica para a cana planta

Produtividade esperada	K ⁺ trocável, mmol _c /dm ³				
	0 - 0,7	0,8 - 1,5	1,6 - 3,0	3,1 - 6,0	>6,0
t/ha	----- K ₂ O, kg/ha -----				
<100	100	80	40	40	0
100 - 150	150	120	80	60	0
> 150	200	160	120	80	0

Fonte: Spironello et al. (1997)

Tabela 24. Recomendação da adubação nitrogenada e fosfatada para a cana soca.

Produtividade esperada	Nitrogênio	P resina, mg/dm ³		K ⁺ trocável, mmol _c /dm ³		
		0-15	> 15	<0,15	1,5-3,0	> 3,0
t/ha	N, kg/ha	P ₂ O ₅ , kg/ha		----- K ₂ O, kg/ha -----		
< 60	60	30	0	90	60	30
60 - 80	80	30	0	110	80	50
80 - 120	100	30	0	130	100	70
> 100	120	30	0	150	120	90

Fonte: Spironello et al. (1997)

As recomendações de potássio são altas tanto na adubação da cana planta quanto na das soqueiras em razão das altas exportações desse nutriente. Para o P e para o K, a análise do solo representa uma importância ferramenta para o diagnóstico do estoque do nutriente disponível no solo e determina as doses a serem aplicadas. Para os três nutrientes (NPK) a expectativa de produtividade de colmos é um fator determinante para o estabelecimento das doses de adubos a aplicar.

A adubação da cana-de-açúcar no Brasil tem algumas diferenças daquelas praticadas em outros países, que refletem as peculiaridades de solo, clima e manejo de cada local. As recomendações de N no Brasil são geralmente mais baixas e as de P e K, mas altas do que em outras regiões. Em outros países produtores de cana-de-açúcar com produtividades comparáveis, as doses de N são geralmente superiores a 120 kg ha^{-1} de N e, em alguns casos, atingem 200 kg ha^{-1} de N (Donzelli, 2005; Garcia et al, 2003; Rice et al., 2006).

A dose média de P no Brasil é de aproximadamente 120 e 30 kg ha^{-1} de P_2O_5 em cana planta e cana-soca, respectivamente (Donzelli, 2007; Rossetto et al., 2008a). Valores correspondentes para cana-planta e soca na Austrália são 58 e 57 g ha^{-1} P_2O_5 (Donzelli, 2007, Hartemink, 2008), no México 60 e 60 e na Costa Rica 150 e 75 kg ha^{-1} de P_2O_5 , respectivamente (Rossetto et al., 2008a).

As doses médias de K aplicadas em cana-de-açúcar - cana-planta e soqueiras, respectivamente - em alguns países são de 120 e 145 kg ha^{-1} K_2O na Austrália, 175 e 150 kg ha^{-1} de K_2O na Costa Rica (Rossetto et al., 2008c). Na Flórida, EUA as doses variam de 0 a 280 kg ha^{-1} K_2O na cana planta a 0 a 170 kg ha^{-1} K_2O nas soqueiras (Rice et al., 2006), mas, em Louisiana, EUA as doses utilizadas são mais baixas - até 55 e 67 kg ha^{-1} de K_2O para cana planta e soca, respectivamente (Legendre, 2001), refletindo a capacidade de suprimento de K dos solos de diferentes locais.

Merecem registro, embora não sejam o tema central deste trabalho, informações acerca da eficiência de uso de nutrientes na cultura da cana-de-açúcar. Além dos aspectos econômicos, há implicações ambientais que devem ser levadas em consideração.

A presença de grande quantidade de palha em áreas de cana colhida sem despalha a fogo (cana crua) pode resultar na alteração das necessidades de adubação nitrogenada. A palha tem relação C/N alta e sua decomposição requer N, que os microrganismos retiram do solo. Em um primeiro momento, quando da implantação do sistema de cana crua, há a necessidade de aumento das doses de N. Posteriormente, quando um novo equilíbrio for estabelecido no solo, é possível que as doses de adubo nitrogenado possam ser reduzidas. Modelos de simulação desenvolvidos na Austrália mostram que o sistema deve se estabilizar em 30 ou 40 anos (Meier et al., 2002; Thorburn et al., 2002). Porém, é possível que isso possa ocorrer em um intervalo de tempo menor no Brasil devido às maiores precipitações pluviais médias neste último. À semelhança da Austrália, não há consenso no Brasil sobre alterações na necessidade de adubação nitrogenada nesse sistema (Cantarella et al., 2007).

A uréia - fertilizante que representa 60% das fontes de N no mercado - está sujeita a perdas de N na forma de NH_3 podem atingir de 20 a 40% ou mais do N aplicado sobre palhas de cana-de-açúcar, de acordo com estudos realizados no Brasil (Cantarella et al., 1999; Costa et al., 2003) e em outros países produtores (Prammanee et al., 1989; Freney et al., 1992). A principal medida para prevenir ou

reduzir bastante as perdas de NH_3 é a incorporação do fertilizante ao solo, por meio mecânico ou por irrigação. A grande quantidade de palha presente no solo no momento da adubação das soqueiras quando a cana é colhida sem despalha a fogo – que deve predominar no Brasil – é um fator complicador para a incorporação mecânica. Irrigação é pouco viável para tal fim e pouco utilizada na cultura da cana-de-açúcar. A adição de inibidores de urease à uréia pode reduzir as perdas de NH_3 , mas, a magnitude das reduções depende de fatores tais como temperatura, umidade e ocorrência de chuvas (Cantarella et al., 2008). Fontes não sujeitas a perdas de NH_3 em solos ácidos, tais como o nitrato de amônio ou o sulfato de amônio, são mais caras ou, no caso do nitrato de amônio, devem ter participação decrescente no mercado devido a restrições de uso desse produto, que pode ser empregado como explosivo. O nitrogênio dos fertilizantes também pode ser perdido por desnitrificação, ou seja, na forma de N_2 e N_2O , dois gases. Essas perdas tendem a diminuir a eficiência de uso dos fertilizantes nitrogenados pelas plantas e têm também implicações ambientais.

Alguns autores têm criticado o uso de fertilizantes nitrogenados da agricultura – inclusive da cana-de-açúcar – para a produção de biocombustíveis argumentando que os custos ambientais agregados, em termos da emissão de gases de efeito estufa (GEE) são maiores do que os da queima de gasolina (Field et al., 2007, Scharlemann & Laurance, 2008). Recentemente, Crutzen et al. (2008) afirmaram que a liberação de N_2O derivado do solo e de fertilizantes nitrogenados para a produção de biocombustíveis poderia não compensar os benefícios obtidos em termos de redução de emissão de CO_2 pela substituição dos combustíveis fósseis, embora, no caso da cana-de-açúcar, os autores considerassem que ainda havia um pequeno ganho ambiental. No entanto, os métodos de cálculos realizados por Crutzen et al. (2008) não são consensuais.

O fósforo também é um nutriente que freqüentemente é associado à eutrofização de águas superficiais. No entanto, há poucos relatos de problemas de excesso de P em áreas de cana-de-açúcar no Brasil, pois os solos tropicais são geralmente pobres nesse nutriente e com grande capacidade de retenção de P. Em tais solos, o principal meio de contaminação de águas superficiais se dá por erosão laminar ou superficial, pois o P praticamente não se move em profundidade. O transporte de P pela superfície do solo, resultando em perdas por escorrimento superficial, é dificultado pelo fato da maior parte do P ser aplicada no sulco de plantio e pouco ou nenhum P ser empregado em soqueiras. Além disso, as práticas conservacionistas normalmente utilizadas nas áreas cultivadas com cana são relativamente eficientes para prevenir erosão laminar.

As doses de nutrientes empregadas em cana-de-açúcar são muito próximas ou, em alguns casos, inferiores às quantidades removidas pela colheita. Parte da explicação é o uso de resíduos agroindustriais no campo, que permitem reciclar nutrientes, conforme discutido no item 1.8.

1.5.2 Formulações de fertilizantes mais comuns para a cana-de-açúcar

Para a adubação da cana-de-açúcar são comuns as formulações listadas abaixo (Tabela 25). Em geral entre 400 e 600 kg/ha do formulado são suficientes para aplicar quantidades próximas às recomendadas pela análise de solo, tanto em cana planta como em soqueiras. As formulações são menos concentradas em N e em P para a cana planta e para as soqueiras, respectivamente.

A cana-de-açúcar é a terceira cultura que mais consome fertilizantes no Brasil, cerca de 14% do fertilizante utilizado no País, de acordo com a ANDA (2009, Tabela 26), ou 17%, segundo a IFA (International Fertilizer Industry Association, Tabela 27). A cana-de-açúcar perde para a soja (34% do consumo) e para o milho (19% do consumo). Proporções apreciáveis do consumo nacional de N e de K vão para a cana-de-açúcar: cerca de 23% do N e 21% do K.

Tabela 25: Fórmulas comerciais mais utilizadas na produção de cana-de-açúcar na região Sudeste do Brasil. Os números nas formulações se referem à porcentagem de nutrientes nas formas de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente

Ciclo da cana planta	Ciclo da cana soca
N-P ₂ O ₅ -K ₂ O	N-P ₂ O ₅ -K ₂ O
05-20-20	18-00-27
05-25-25	18-00-36
00-20-25	20-00-20
05-20-30	20-00-25
04-10-20	20-05-20
04-20-20	20-05-25
04-25-25	18-06-24
04-20-15	15-08-25

Tabela 26: Entrega de fertilizantes para uso nas principais culturas no Brasil e projeção de consumo para 2015 e 1020, segundo estimativas da ANDA e Simprifert.

Cultura	Uso de fertilizantes por cultura no período				Aumento no período 2007-2020 %
	2000	2007	2015	2020	
	----- porcentagem do total -----				
Soja	29,0	33,9	33,6	33,7	4,22
Milho	20,7	19,3	20,2	20,9	4,86
Cana-de-açúcar	12,2	13,8	16,6	17,8	6,31
Café	8,7	6,4	5,3	4,8	2,03
Algodão	4,3	4,9	4,7	4,4	3,29
Arroz	3,3	3,1	3,1	3,0	4,10
Trigo	2,4	2,1	2,1	2,0	3,87
Fumo	1,6	1,9	2,0	1,8	4,14
Laranja	2,1	1,8	1,7	1,5	2,82
Outros	15,7	12,8	10,7	10,1	-

Fonte: ANDA 2009.

Tabela 27. Fertilizantes utilizados no Brasil para a produção de cana-de-açúcar em 2006/2007. Os valores se referem a fertilizantes utilizados para a produção de sacarose e etanol.

Nutrientes	Quantidade de nutrientes (1000 t)	Porcentagem do fertilizante usado no Brasil
N	535	23,3
P₂O₅	274	8,7
K₂O	713	20,6
Total	1.522	17,1

Fonte: Heffer & Prud'homme (2008).

Tabela 28. Projeções de aumento da produção agropecuária brasileira para o ano de 2018/19 em comparação com 2007/08, com base em dados oficiais do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

Produto	2007/2008	2018/2019	Taxa de crescimento médio anual
	----- Milhões t -----		%
Arroz	12,1	13,5	0,94
Milho	58,6	73,2	2,33
Soja	60,1	80,9	2,43
Trigo	5,4	7,9	3,69
Carne de frango	11,1	17,4	4,22
Carne bovina	10,4	15,5	3,50
Carne suína	3,1	4,2	2,84
Açúcar	32,8	47,3	3,25
	----- Bilhões L -----		%
Etanol	21,5	58,8	9,58
Leite	27,4	36,9	2,75

Fonte: Gasques et al., 2009.

Pelas projeções da Associação Nacional para a Difusão de Adubos (ANDA), a participação da cana-de-açúcar no consumo de fertilizantes deve aumentar nos próximos anos, atingindo 18% do total em 2020, com um aumento de 6,31% no período de 2007 a 2020 (Tabela 26).

O Ministério de Agricultura e Pecuária e Abastecimento (MAPA) projeta uma taxa de crescimento anual de produção de 9,58% para o etanol e de 3,25% para o açúcar entre 2008 e 2019 (Tabela 28). Por outro lado, os cenários desenhados pelo ICONE/EPA para o presente projeto, prevêm taxas anuais de crescimento da área plantada com cultura de cana-de-açúcar de 2008 a 2022 da ordem de 1,8 a 2,5%, com aumento da produção de cana-de-açúcar a taxas de 2,9 a 3,7% ao ano, para o cenário base o alternativo, respectivamente. Levando em conta os dois cenários acima para a expansão da cana-de-açúcar no Brasil, preparados pelo ICONE/EPA, o consumo de fertilizantes foi projetado para diferentes intervalos (Tabela 29). No caso do cenário base, mais conservador, o consumo de nutrientes (N, P₂O₅ e K₂O) passaria de cerca de 1,45 milhões de toneladas em 2008 para 2,16 milhões de toneladas em 2022; para o cenário alternativo, este valor se elevaria para 2,41 milhões de toneladas.

Projeções adicionais foram feitas para outros três cenários possíveis, tomando por base o cenário alternativo do ICONE/EPA. No primeiro, foi considerada a possibilidade de elevar em 10% as doses de N na cana soca devido à presença de palha em função do corte de cana sem despalha a fogo. O outro cenário considera a possibilidade de melhoria na reciclagem de nutrientes no sistema agro-industrial, com diminuições das necessidades de N, P e K em 20, 20 e 30%, respectivamente. Este cenário é plausível com algum esforço de melhorar aproveitamento da torta de filtro e, principalmente, da vinhaça. A preservação da palhada na colheita, que atualmente acontece em cerca de 40 a 50% da área de produção de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, mas, que deve atingir 100% da área dentro de alguns anos, também pode contribuir para a maior reciclagem de nutrientes. Um terceiro cenário prevê uma melhoria adicional no aproveitamento da vinhaça e na contribuição da fixação biológica de N (vide item 1.7). Neste caso, a redução das doses de nutrientes, que ocorreria a partir de 2013, seria de 30, 30 e 40% do N, P e K, respectivamente. Este último cenário é um tanto otimista e pode não ocorrer em curto prazo (Tabela 29).

No cenário que prevê o aumento da dose de N devido à colheita de cana crua, o consumo de N passaria de 503 mil toneladas em 2008 para 921 mil toneladas em 2022, já considerando o aumento da área plantada de 40%. Nos cenários com aumentos da reciclagem, haveria uma redução relativa no uso de fertilizantes minerais. O consumo de NPK passaria de 1,5 Mt em 2008 para 1,8 e 1,6 Mt em 2022 para o cenário com aumento de reciclagem, com e sem crédito para a fixação biológica de N, respectivamente. Ao mesmo tempo, a elevação prevista da área plantada é de 40% e a da produção de cana-de-açúcar de 67%. Os resultados relativos às doses que seriam utilizadas nos cenários acima, por unidade de área cultivada, são apresentados na Tabela 30.

Tabela 29. Previsão da evolução do consumo de nutrientes pela cultura da cana-de-açúcar em diferentes cenários. Dados se referem à área total de cana-de-açúcar cultivada no Brasil.

Cenários ⁽¹⁾	Ano	Consumo de nutrientes			
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Total
		----- 1000 t -----			
Base	2008	503	227	717	1.447
	2013	558	252	795	1.605
	2018	669	302	953	1.924
	2022	751	339	1.071	2.161
Alternativo	2013	561	253	800	1.614
	2018	739	334	1.054	2.127
	2022	839	379	1.197	2.415
Elevar N em cana crua	2013	615	253	800	1.668
	2018	811	334	1.054	2.198
	2022	921	379	1.197	2.496
Reciclagem	2013	452	203	560	1.215
	2018	596	267	738	1.601
	2022	677	303	838	1.818
Reciclagem II + FBN	2013	380	177	480	1.037
	2018	501	234	632	1.367
	2022	569	265	718	1.552

⁽¹⁾ Cenários Base e Alternativo desenvolvidos pela ICONE/EPA para este projeto. **Base:** Evolução da área plantada, produção de cana e produtividade agrícola de 2008 a 2022 de 8,2 Mha para 10,5 Mha, de 649 Mt para 969 Mt e de 79 t/ha para 92,1 t/ha, respectivamente. Taxas médias anuais de crescimento de 1,8, 2,9 e 1,1% para a área plantada, produção de cana e produtividade média; **Alternativo:** Evolução da área plantada, produção de cana e produtividade agrícola de 2008 a 2022 de 8,2 Mha para 11,6 Mha, de 649 Mt para 1.083 Mt e de 79 t/ha para 94,0 t/ha, respectivamente. Taxas médias anuais de crescimento de 2,5, 3,7 e 1,2% para a área plantada, produção de cana e produtividade média; Elevar em 10% as doses de N em cana soca para prever maior demanda devido ao corte sem queima; Redução devido à melhoria na reciclagem de nutrientes nas usinas: redução da adubação de 20%, 20% e 30% para N, P e K, respectivamente; Redução devido a melhoria na reciclagem e nas condições de fixação biológica de N: redução na adubação de 30, 30 e 40% para N, P e K, respectivamente.

Tabela 30. Previsão da evolução do consumo de nutrientes pela cultura da cana-de-açúcar em diferentes cenários. Dados em kg/ha na média do ciclo da cana-de-açúcar (6 cortes).

Cenários ⁽¹⁾	Ano	Consumo de nutrientes			
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Total
		----- kg/ha -----			
Base	2008	61	28	87	176
	2013	64	29	91	183
	2018	68	31	96	194
	2022	71	32	102	205
Alternativo	2013	64	29	91	183
	2018	68	31	97	196
	2022	73	33	104	209
Elevar N em cana crua	2013	70	29	91	189
	2018	75	31	97	203
	2022	80	33	104	216
Reciclagem	2013	51	23	63	138
	2018	55	25	68	148
	2022	59	26	72	157
Reciclagem II + FBN	2013	43	20	54	118
	2018	46	22	58	126
	2022	49	23	62	134

⁽¹⁾ Cenários Base e Alternativo desenvolvidos pela ICONE/EPA para este projeto. Base: Evolução da área plantada, produção de cana e produtividade agrícola de 2008 a 2022 de 8,2 Mha para 10,5 Mha, de 649 Mt para 969 Mt e de 79 t/ha para 92,1 t/ha, respectivamente. Taxas médias anuais de crescimento de 1,8, 2,9 e 1,1% para a área plantada, produção de cana e produtividade média; Alternativo: Evolução da área plantada, produção de cana e produtividade agrícola de 2008 a 2022 de 8,2 Mha para 11,6 Mha, de 649 Mt para 1.083 Mt e de 79 t/ha para 94,0 t/ha, respectivamente. Taxas médias anuais de crescimento de 2,5, 3,7 e 1,2% para a área plantada, produção de cana e produtividade média; Elevar em 10% as doses de N em cana soca para prever maior demanda devido ao corte sem queima; Redução devido à melhoria na reciclagem de nutrientes nas usinas: redução da adubação de 20%, 20% e 30% para N, P e K, respectivamente; Redução devido a melhoria na reciclagem e nas condições de fixação biológica de N: redução na adubação de 30, 30 e 40% para N, P e K, respectivamente.

1.6 Suprimento de fertilizantes, corretivos e matérias-primas¹²

Os números disponíveis para oferta e consumo de fertilizantes, bem como as projeções futuras variam ligeiramente conforme a fonte consultada. Alguns dados são considerados sensíveis e as empresas e associações de produtores fazem divulgações apenas parciais.

Os aumentos de consumo de nutrientes para a agricultura como um todo no Brasil, previstos pelo MAPA (Tabela 31), são compatíveis com as previsões feitas para a cultura da cana-de-açúcar. Caso as previsões obtidas com os cenários com melhor reciclagem dos nutrientes na cana-de-açúcar aconteçam, é provável que o consumo de fertilizantes no Brasil deva ser revisto para baixo, porém, levando em conta que esta cultura representa menos do que 20% do consumo.

¹² Pesquisadores responsáveis: Raffaella Rosseto e Heitor Cantarella (APTA - Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios).

Os dados disponíveis mostram que a previsão do crescimento do consumo de fertilizantes não é dependente somente da expansão da área com cana-de-açúcar, pois a agricultura brasileira como um todo deverá crescer. Assim, quaisquer problemas no suprimento de fertilizantes afetarão também outros setores da economia agrícola (Tabela 28).

A produção de fertilizantes no Brasil vem crescendo continuamente (Tabela 32), especialmente a de fosfatos. A produção de nitrogenados está relativamente estagnada desde os anos 1990. Apesar do elevado crescimento nominal na produção de potássio, a produção nacional deste tipo de fertilizante é pouco relevante, pois parte de uma base muito pequena em 1990. As reservas brasileiras de rochas potássicas facilmente exploráveis são pequenas e os grandes depósitos encontram-se em outros países (vide item 1.6.1)

Tabela 31: Estimativa de evolução da demanda por fertilizantes no Brasil. Projeções do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).

Período	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	----- milhões de t -----		
2009	2,43	3,24	3,66
2020	3,87	5,26	5,81
Aumento no período, %	59	62	59
Taxa anual de aumento, %	4,3	4,5	4,3

Fontes: Gasques et al, 2009

Tabela 32: Produção de Fertilizantes no Brasil de 1990 a 2007 (mil t).

Anos	Produção de fertilizantes (1000 t)			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	NPK
1990	737	1.057	68	1.862
1991	704	1.097	101	1.902
1992	665	1.076	77	1.818
1993	709	1.254	174	2.137
1994	768	1.393	229	2.390
1995	796	1.242	224	2.262
1996	779	1.269	241	2.289
1997	808	1.319	281	2.408
1998	733	1.295	322	2.350
1999	847	1.359	355	2.561
2000	772	1.496	353	2.621
2001	658	1.445	357	2.460
2002	752	1.480	376	2.608
2003	702	1.820	390	2.912
2004	739	1.923	384	3.046
2005	804	1.722	372	2.898
2006	848	1.847	424	3.119
2007	757	2.107	389	3.253
Taxa de aumento¹ (%)	0,4	3,7	11,2	3,2

¹ Taxa anual média de crescimento da produção de fertilizantes para 17 anos, calculada com base na linearização da produção em função do tempo

Fonte: ANDA, 2009.

1.6.1 Análise da dependência de importação e da evolução do mercado internacional de fertilizantes

Os dados da Tabela 33 indicam que o suprimento de fertilizantes e matérias primas para a agricultura brasileira vem, crescentemente, sendo feito por meio de importações. Para o nitrogênio há limitações no parque industrial e no fornecimento de matéria prima; para o potássio, a limitação maior é na disponibilidade interna de recursos minerais facilmente exploráveis. No caso do fósforo, o Brasil tem produção interna relativamente expressiva, mas, o consumo é alto, resultando na necessidade de importação de altos volumes de rochas fosfáticas e fertilizantes acabados.

Tabela 33: Importação de Fertilizantes no Brasil de 1990 a 2007 (mil t) e estimativa da taxa anual de aumento de importação no período.

Anos	Importação de fertilizantes (1000 t)			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	NPK
1990	176	120	1134	1.430
1991	232	180	1178	1.590
1992	287	262	1273	1.822
1993	474	417	1569	2.460
1994	494	517	1643	2.654
1995	426	341	1539	2.306
1996	495	446	1826	2.767
1997	686	703	2132	3.521
1998	855	703	1955	3.513
1999	844	681	1833	3.358
2000	1262	1120	2567	4.949
2001	1080	1151	2527	4.758
2002	1176	1297	2692	5.165
2003	1782	1857	3603	7.242
2004	1694	2102	3942	7.738
2005	1430	1297	3093	5.820
2006	1490	1326	3122	5.938
2007	2317	2198	4096	8.611
Taxa de aumento¹ (%)	15,6	17,9	7.6	10,6

¹Taxa anual média para 17 anos, calculada com base na linearização da produção em função do tempo

Fonte: ANDA, 2009.

A preocupação para cana-de-açúcar é a garantia de suprimento de fertilizantes. Na realidade, essa é uma preocupação da agricultura de uma forma geral. A Tabela 34 apresenta um balanço da produção e da disponibilidade de fertilizantes no Brasil nos três últimos anos. Em geral, o País importa cerca de dois terços das quantidades necessárias de matérias primas ou fertilizantes acabados (Tabela 35), mas, a dependência de importação é diferente para cada nutriente. Cerca de 75% do N, 50% do P e 92% do K são comprados no exterior. A cana-de-açúcar demanda quantidades mais elevadas de K e N, aqueles com maior porcentagem de importação.

Tabela 34: Balanço da produção, estoque e importação de fertilizantes e matérias primas no Brasil

	N		P ₂ O ₅		K ₂ O		Total	
	2007	2008	2007	2008	2007	2008	2007	2008
----- 1000 t de nutrientes -----								
1 Estoque inicial	216	436	321	791	384	545	921	1.772
2 Produção	757	686	2.107	1.970	389	352	3.253	3.008
3 Importação	2.322	1.899	2.208	1.704	4.068	4.014	8.598	7.717
4 Disponibilidade (1+2+3)	3.295	3.021	4.636	4.465	4.841	4.011	12.772	12.397
5. Exportação	41	21	138	83	75	46	254	150
6. Entregas	2.751	2.502	3.659	3.196	4.175	3.689	10.585	9.387
7. Quebras e ajustes	67	36	48	38	46	42	161	116
Estoque final (4+5+6+7)	436	462	791	1.248	545	1.134	1.772	2.744
Porcentagem Importação	75	73	51	46	91	92	73	83

Fonte: ANDA

Tabela 35: Produção brasileira e importação de fertilizantes e matérias primas no período em 2001 e 2007. Os valores se referem a produtos e não a nutrientes. Fonte: ANDA 2009.

Ano	Fertilizantes (em 1.000 t)			% Importação
	Importação	Nacional	Total	
2001	9.773	7.597	17.370	56,3
2002	10.491	8.071	18.562	56,5
2003	14.679	9.240	23.919	61,4
2004	15.424	9.784	25.208	61,2
2005	11.723	8.534	20.257	57,9
2006	12.102	8.778	20.880	58,0
2007	17.580	9.817	27.397	64,2

A indústria de fertilizantes no Brasil tem capacidade instalada satisfatória para o processamento de matérias primas importantes para atender a demanda interna de fertilizantes. Esses são os casos da amônia, das rochas fosfáticas e do ácidos fosfórico e sulfúrico. A capacidade instalada para a produção de enxofre é baixa (Tabela 36). Porém, a capacidade instalada para a produção de fertilizantes para uso final é relativamente pequena. Exceto para o superfosfato simples e para o termofosfato, parte significativa da demanda é atendida pela importação de fertilizantes acabados (Tabela 37)

A limitação para o aumento da produção de fertilizantes no Brasil, em grandes linhas, está relacionada com a disponibilidade de matérias primas. Para alguns

fertilizantes não há vantagem em trazer o minério para fabricação local, por questões logísticas e de custo. Por exemplo, a maior parte do sulfato de amônio produzido no mundo é resíduo da fabricação de caprolactana e outros produtos químicos. Os países produtores de petróleo e de gás natural investem na produção de uréia, que, além de agregar valor, é mais fácil de transportar do que o gás amônia, principal matéria prima para sua fabricação; após a purificação e concentração do minério potássico, o produto final, cloreto de potássio, está praticamente pronto. As matérias primas com maiores chances de transporte para processamento são os concentrados fosfáticos.

O aumento da oferta interna de fertilizantes é um assunto complexo. As indústrias mineradoras e de produção de fertilizantes são intensivas em capital, trabalham com materiais volumosos e de pouco valor unitário e dependem de grandes investimentos, de retorno em longo prazo. Com isso, apenas grandes grupos econômicos têm condições de atuar na mineração e síntese de fertilizantes. Pequenas e médias empresas podem participar do mercado como misturadoras e distribuidoras, mas, não afetam de forma significativa a oferta de fertilizantes e matérias primas. A disponibilidade de matéria prima é outro fator limitante para a produção local. Os depósitos minerais estão concentrados em alguns países no mundo (Vide item 1.6.2).

Não tem havido investimentos em novas fábricas de fertilizantes nitrogenados no Brasil há várias décadas. Os adubos nitrogenados dependem de um processo de retirada do nitrogênio do ar, transformando-o em amônia, que é a matéria prima intermediária para a fabricação de diversos fertilizantes nitrogenados, principalmente uréia. A produção de amônia é altamente dependente de gás natural ou de nafta, cuja disponibilidade atual é limitada, mas, que pode aumentar no Brasil com o tempo, devido à exploração das reservas do Pre-sal. O suprimento de gás natural ou de outros derivados de petróleo no Brasil é, na prática, controlado pela Petrobras. A escassez de gás natural e o papel exercido pela Petrobras nesse mercado inibem investimentos de outras empresas e fazem com que a estatal brasileira tenha papel determinante em novos projetos de produção de amônia no País.

As perspectivas para o fósforo são melhores em curto prazo; para o potássio, as dificuldades são maiores. Este assunto será tratado no item 1.6.2.

Tabela 36: Oferta nacional de matérias primas para fertilizantes em 2008.

Produto	Produção	Importação	Total	Capacidade instalada	Capacidade Total
	----- 1000 t -----				%
Amônia	740	306	1.046	1.503	143,7
Rocha Fosfática	5.211	969	6.180	6.607	106,9
Ácido Fosfórico	919	22	941	1.286	136,7
Ácido Sulfúrico	4.347	444	4.791	5.937	123,9
Enxofre	153	2.243	2.396	153	6,4

Fonte: Lopes et al., 2009 e ANDA, 2009.

Tabela 37: Oferta nacional de alguns fertilizantes em 2008 (x 1.000 t).

Produto	Produção	Importação	Total	Capacidade instalada	Capacidade Total
	----- 1.000 t -----				%
Sulfato de Amônio	218	1.411	1.629	270	16,6
Uréia	793	2.113	2.906	1.696	58,4
Nitrato de Amônio	284	900	1.184	406	34,3
MAP	1.130	1.053	2.183	1.363	62,4
DAP	-	494	494	8	1,6
Super simples	4.702	301	5.003	7.301	145,9
Super triplo	760	1.011	1.771	1.021	57,7
Termofosfato	111	-	111	160	144,1
Cloreto de K	607	6.540	7.147	850	11,9
Complexos	223	780	1.001	na	na

na: não aplicável

Fonte: Lopes et al, 2009 e ANDA, 2009.

1.6.2 Culturas e países que mais consomem fertilizantes no mundo

Aproximadamente metade dos fertilizantes produzidos no mundo é utilizada na produção de cereais. As culturas chamadas açucareiras, que incluem a cana-de-açúcar e a beterraba, respondem por cerca de 4,3% do consumo (Tabela 38). A produção de biocombustíveis a partir de tais culturas é expressiva apenas no Brasil.

De aproximadamente 170 milhões de toneladas de nutrientes ($N+P_2O_5+K_2O$) consumidos no mundo em 2006/2007, apenas 4,1 milhões, ou 2,4% do total, foram aplicados a culturas para a produção de biocombustíveis, uma parcela bastante baixa. Deste total, a maior parte foi gasta no Brasil e nos Estados Unidos para a produção de etanol de cana-de-açúcar e de milho, respectivamente (Tabela 39). Para uma produção semelhante de etanol na safra 2007/2008, foram usados 0,9 Mt de fertilizantes em cana e três vezes mais em milho (2,8 Mt), o que mostra que as quantidades de fertilizantes gastas para a produção de etanol de milho são muito superiores àsquelas para a produção a partir da cana-de-açúcar.

Neste contexto, o aumento da área cultivada com plantas usadas para a produção de biocombustíveis no mundo, terá impacto relativamente pequeno no consumo de fertilizantes em escala global.

Tabela 38: Uso de fertilizantes no mundo por cultura ou grupo de culturas. Estimativas de 2006-2007.

Cultura/vegetal	Consumo de fertilizante %
Trigo	15,2
Arroz	14,6
Milho	15,9
Outros cereais	4,6
Soja	3,4
Palma	1,5
Outras oleaginosas	4,4
Algodão	3,6
Cana-de-açúcar + beterraba	4,3
Frutas e vegetais	17,0
Outras	15,5

Fonte: Heffer & Prud'homme (2008).

Os cereais respondem por cerca de 50% do uso de fertilizantes no mundo.

Tabela 39: Estimativa da quantidade de fertilizantes utilizada para culturas usadas na produção de biocombustíveis no mundo em 2007/2008. Os dados do Brasil e dos Estados Unidos são para etanol ⁽¹⁾

Nutrientes	Consumo de fertilizantes		
	Mundo	Brasil (cana-de-açúcar)	EUA (Milho)
	----- Mt de N, P ₂ O ₅ e K ₂ O -----		
N	2,1	0,32	1,57
P ₂ O ₅	0,8	0,16	0,58
K ₂ O	1,2	0,43	0,65
Total	4,1	0,91	2,80
Produção de etanol (bilhões de litros)		22,5	24,7

⁽¹⁾ Valores calculados com base em Heffer & Prud'homme (2008). Os fertilizantes utilizados para a produção de milho nos EUA correspondem a quase 50% do consumo daquele país. Assumiu-se que cerca de 28% do fertilizante utilizado na cultura do milho são para grãos empregados na produção de etanol de primeira geração.

Tabela 40: Consumo de fertilizantes no mundo, expresso em quantidade de nutrientes. Estimativas IFA 2006/2007.

País	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	TOTAL	Mundo	Relação N-P ₂ O ₅ -K ₂ O
	----- 1000 t nutrientes -----				%	
China	30.200	11.600	5.800	47.600	28,2	1,0-0,4-0,2
Índia	13.773	5.543	2.335	21.651	12,8	1,0-0,4-0,2
EUA	11.970	4.148	4.657	20.775	12,3	1,0-0,3-0,4
EU-27	10.746	3.091	3.592	17.429	10,3	1,0-0,3-0,3
Brasil	2.297	3.149	3.460	8.906	5,3	1,0-1,4-1,5
Indonésia	2.596	510	850	3.956	2,3	1,0-0,2-0,3
Paquistão	1.923	627	29	2.579	1,5	1,0-0,3-0,0
Canadá	1.939	508	354	2.801	1,7	1,0-0,3-0,2
Outros	25.085	10.148	7.798	43.031	25,5	1,0-0,4-0,3
Mundo	100.529	39.324	28.875	168.728	100,0	1,0-0,4-0,3

Fonte: Heffer (2009)

Os dados da Associação Internacional da Indústria de Fertilizantes (IFA) mostram que o Brasil é o quinto maior consumidor de fertilizantes no mundo (Tabela 40), quando os países da União Européia são computados em conjunto. O Brasil consome cerca de 5,3% dos fertilizantes, muito abaixo da China (28,2%), da Índia (12,8%) e dos Estados Unidos (12,3%). Os grandes consumidores mundiais e quantidades utilizadas, em ordens de grandeza, são: China – com 47,6 milhões de toneladas de nutrientes; Índia e Estados Unidos, com cerca de 21 milhões cada; e Brasil, com cerca de 9 milhões cada. Esses quatro países consumiram, em 2008, quase 60% do fertilizante consumido no Mundo. A participação da China, Índia e Brasil no consumo mundial é crescente devido à expansão da agricultura nesses países.

Também chama a atenção a relação de nutrientes consumida no Brasil, expressa em N-P₂O₅-K₂O. O Brasil consome cerca de 2,4% do N, mas, 8,2% do P e 12,7% do K produzido no mundo. A média mundial da relação N-P₂O₅-K₂O dos fertilizantes é 0,4 unidades de P₂O₅ e 0,3 unidades de K₂O para cada unidade de N (relação 1,0:0,4:0,3). Os países maiores consumidores de fertilizantes ficam muito próximos desta relação, porém, o Brasil consome muito mais P e K em relação ao N: 1,0-1,4-1,5. As razões para isso incluem a alta participação da cultura da soja no consumo de fertilizantes no Brasil – cultura para a qual praticamente não se recomenda adubação nitrogenada no País, e os baixos teores naturais de P disponíveis nos solos brasileiros, que levam ao elevado consumo deste nutriente. A alta exigência de K na cultura da cana-de-açúcar, a qual consome 20,6% do potássio empregado na agricultura brasileira, explica, em parte, a proporção deste nutriente nas formulações usadas no Brasil. A relação de nutrientes nas adubações de cana-de-açúcar são de 1,0:0,5:1,4. De qualquer modo, a relação N-P₂O₅-K₂O média usada nas adubações na maioria dos países indica que o consumo de N no Brasil deverá se elevar no futuro à medida que a produção de cereais e de outros produtos agrícolas aumentar. Além disso, o fósforo e o potássio têm maior efeito residual do que o N no solo e, com o passar do tempo, a proporção relativa desses nutrientes nas formulações pode diminuir.

1.6.3 Estoques de matérias primas para a produção de fertilizantes

Aproximadamente 99% dos fertilizantes fosfatados no mundo são produzidos a partir de rochas fosfáticas; uma pequena parte provém de escórias e subprodutos da indústria do aço.

Há dois grupos de rochas fosfáticas utilizadas para a fabricação de fertilizantes: as apatitas, de origem ígnea, e as fosforitas, que são depósitos sedimentares. As apatitas são fosfatos de cálcio que contêm parte do P em sua estrutura substituído por OH, F e Cl, geralmente têm menor teor de P e são rochas pouco reativas, com limitações para uso direto na agricultura como fosfato natural. A maior parte das rochas fosfatadas encontradas no Brasil é de apatitas. As fosforitas têm substituição parcial do P por carbonato, além de conter também Mg e Na, são materiais mais reativos para uso direto. As fosforitas respondem por 80 a 85% da matéria prima para produção atual de fertilizantes fosfatados no mundo (Fixen, 2009; Lopes, 2009).

Os dados de produção mineral e reservas de rochas fosfatadas no mundo são apresentados na Tabela 41. As maiores reservas se encontram no norte da África, China e Estados Unidos, que são também os maiores produtores. Apesar de o Brasil ser um produtor de expressão intermediária, as reservas disponíveis no país são relativamente pequenas.

A produção mundial de rochas fosfáticas tem variado pouco nos últimos 28 anos, em torno de 120 a 165 milhões de toneladas por ano. Com a dissolução da União Soviética houve interrupção substancial da produção de fosfatos no início da década de 1990; a produção mundial voltou, nos últimos anos, aos níveis anteriores, principalmente devido ao aumento de produção na China, principal fator pelo incremento de produção nos últimos vinte anos (Fixen, 2009).

Tem havido preocupação com o suprimento de P em médio e longo prazo, pois as reservas mundiais têm sido consideradas relativamente pequenas. O assunto é controverso e foi recentemente objeto de análise por Fixen (2009). As informações disponíveis sobre reservas devem ser vistas com cuidado, pois são baseados em informações limitadas uma vez que os detentores de direito de lavra geralmente consideram os dados de reserva como confidenciais (Fixen, 2009; Lopes et al., 2009). Outro aspecto relevante é que 2/3 das bases de reserva de rochas fosfáticas no mundo estão concentradas no Marrocos, Saara ocidental e China.

A Tabela 41 contém dados da vida da base de reserva. Com o consumo atual, a longevidade estimada das reservas economicamente exploráveis hoje, e da base de reserva, são de 93 e 291 anos, respectivamente (Fixen, 2009). O cenário não parece tão negativo quanto se presumia. Deve-se levar em consideração também as incertezas com respeito aos depósitos. Outros autores citados por Fixen admitem reservas muito maiores, com longevidade de 696 anos, mas, há também cenários mais pessimistas, que prevêem que a exploração das reservas atuais atingirá o pico em 2030, e a partir de então entrará em declínio. É certo, porém, que o custo dos adubos fosfatados deverá aumentar quando reservas de menor concentração de P e maior dificuldade de exploração passarem a ser utilizadas. Isherwood (1999), citado por Lopes et al. (2009) considera que o aumento do preço do P poderá viabilizar a exploração de reservas em inúmeros países e levará

à possibilidade de utilização de depósitos em plataformas continentais e montanhas dos oceanos. Desse modo, as reservas de P não parecem estar prestes a se esgotar, mas, sua administração deve ser feita com o cuidado devido a um recurso natural não renovável (Fixen, 2009).

Tabela 41: Produção mineral e reservas mundiais de fosfato

País	Produção mineral 2007 ⁽¹⁾	Reserva ⁽²⁾	Base de reserva ⁽³⁾	Vida de reserva ⁽⁴⁾
	----- Mt -----			Anos
Marrocos e Saara	27,0	5.700	21.000	207
China	45,4	4.100	10.000	86
EUA	29,7	1.200	3.400	40
África do Sul	2,6	1.500	2.500	605
Jordânia	5,5	900	1.700	163
Austrália	2,2	82	1.200	36
Rússia	11,0	200	1.000	18
Brasil	6,0	260	370	43
Total Mundial	156,0	15.000	47.000	93

⁽¹⁾ Conteúdo de P₂O₅: 23% a 39% com média, em 2007, de 32%. O conteúdo médio de P₂O₅ na rocha fosfática, nos Estados Unidos, é de 29%; ⁽²⁾ Reservas que podem ser economicamente exploráveis na época da determinação; ⁽³⁾ Bases de reservas econômicas, marginalmente econômicas e alguns recursos subeconômicos; ⁽⁴⁾ A vida da base de reserva do mundo todo está estimada em 291 anos.

Fonte: Fixen (2009)

O Brasil tem jazidas de fosfatos de difícil aproveitamento (apatitas), mas que têm se tornado viáveis graças à tecnologia desenvolvida no país. As maiores reservas de rochas fosfatadas no Brasil (Tabela 42) estão em Minas Gerais (75%), Goiás (8%) São Paulo (7%) e Santa Catarina (6%). Há outras ocorrências no Ceará, Bahia, Pernambuco e Paraíba (Lopes et al., 2009). Além de jazidas conhecidas e ainda não exploradas (Tabela 42), há áreas no Brasil com alto potencial para a ocorrência de rochas fosfáticas (Tabela 43). As reservas brasileiras conhecidas são suficientes para 43 anos de produção à taxa de consumo atual (Lopes et al., 2009). O Brasil é o quarto maior consumidor de adubos fosfatados do mundo (Tabela 40)

A produção interna de fertilizantes fosfatados pode, portanto, crescer e reduzir a dependência da importação de fertilizantes fosfatados acabados e de concentrados fosfáticos, embora a situação, em longo prazo, não seja confortável. Os resultados do grupo de trabalho sobre Fertilizantes da Superintendência de Geologia e Mineração (SGM), Departamento Nacional de Pesquisas Mineraias (DNPM) e do Serviço Geológico do Brasil (CPRM), citados por Lopes et al. (2009), indicam que estão previstos novos projetos e expansões na capacidade produtiva de P no Brasil por empresas do setor: Bunge, aumento de 1,5 para 2,2 Mt; Fosfertil, de 3,2 para 5,5 Mt, Copebras, de 1,1 para 3,1 Mt e Galvani, de 0,3 para 1,6 Mt. Com isso, a dependência externa de adubos e materiais primas para a produção de P deverá cair de 45% atualmente para 24% em 2015, com um aumento da produção nacional de rocha fosfática. A dependência externa deverá crescer progressivamente a partir de então devido ao aumento da demanda interna até atingir 40% em 2020, se novos investimentos não forem feitos.

Tabela 42. Principais depósitos de rochas fosfáticas conhecidas no Brasil.

Localização	Empresa mineradora	Produção anual
		1000 t/ano
Tapira, MG	Fosfertil	2.030
Catalão, GO	Copebrás	1.300
Catalão, GO	Fosfertil	1.200
Araxá, MG	Bunge	910
Cajati, SP	Bunge	528
Patos de Minas, MG	Lagamar, Galvani-MG	220
Patos de Minas, MG	Fosfertil	150
Angico dos Dias, BA	Galvani	170
Irecê, BA	Galvani	90
Anitápolis, SC	Bunge	(1)
Arraias, TO	Itafós	(1)
Iperó, SP	Bunge	(1)
Mairuru, PA	Vale do Rio Doce	(1)
Patrocínio, MG	Fosfertil e Galvani	(1)
Pernambuco & Paraíba	Norfertil e CPRM	(1)
Santa Quitéria, CE	Galvani	(1)
Capacidade de Produção em 2008		6.600

(1) Depósitos ainda não explorados

Fonte: Lopes et al. (2009)

Tabela 43. Área com alto potencial para descoberta de novos depósitos econômicos de rochas fosfáticas no Brasil.

Localização aproximada	Área
	km ²
Centro-Oeste e Oeste de Minas Gerais e Bahia; Nordeste do Estado de Goiás	200.000
Serra da Bodoquena, Mato Grosso do Sul	10.000
Flanco Ocidental da Bacia do Parnaíba, Tocantins	25.000
Região de Juruena/Teles Pires/Arupuanã, Norte do Mato Grosso e Sul do Amazonas	60.000
Bordo Norte da Bacia do Amazonas, Pará e Amazonas	75.000
"Trend" SW-NE do Alto Rio Negro, no Amazonas à Serra Catrimâni em Roraima	130.000

Fonte: CPRM (1997), citado por Lopes et al (2009).

A situação das reservas mundiais de minérios potássicos é bem mais confortável do que aquela dos fosfatados (Tabela 44). As reservas conhecidas e que podem ser economicamente exploradas atualmente são da ordem de 8,3 bilhões de toneladas, suficientes para mais de 230 anos de exploração. Se a base de reserva for

considerada, há potássio para mais de 500 anos à taxa de consumo atual (Tabela 44).

O potássio é extraído de diversos depósitos minerais, sendo os mais comuns a silvite (KCl), a silvinita (KCl + NaCl), os hartsalz (minerais com sais de sulfato) e a langbeinita (K₂SO₄.MgSO₄). As fontes mais fáceis e economicamente exploradas estão em depósitos sedimentares de sal, remanescentes de mares interiores ou em lagos de sal e salmoura naturais (Fixen, 2009). As maiores reservas estão concentradas em alguns poucos países. O Canadá detém 53% das reservas mundiais, seguidas da Rússia, com 22% e da Bielorrússia e Alemanha, com cerca de 9% cada (Tabela 44). Os dados do "United States Geological Survey" (USGS), utilizados na Tabela 44, elaborada por Fixen (2009) parecem superestimados e não são compatíveis com os dados obtidos no Brasil por Lopes et al. (2009), constantes da Tabela 45. Há muita incerteza quanto à reserva do maior depósito brasileiro, na Amazônia. Como a produção nacional corrente de potássio é muito baixa, a vida da reserva parece exagerada na Tabela 44. O Brasil é o terceiro maior consumidor de potássio do mundo, mas produz apenas cerca de 10% do que utiliza.

Tabela 44. Produção mineral e reservas mundiais de potássio

País	Produção mineral 2007 ⁽¹⁾	Reserva ⁽²⁾	Base de reserva ⁽³⁾	Vida de reserva ⁽⁴⁾
	----- Mt -----			Anos
Canadá	11,10	4.400	11.000	398
Rússia	6,60	2.800	2.200	267
Bielorrússia	4,97	750	1.000	149
Alemanha	3,60	710	850	197
Brasil	0,41	300	600	719
Israel	2,20	40	580	17
Jordânia	1,09	40	580	35
China	2,00	8	450	4
Estados Unidos	1,10	90	300	78
Total Mundial	34,06	8.300	18.000	235

⁽¹⁾ Estimativa; ⁽²⁾ Reservas que podem ser economicamente exploradas na época da determinação; ⁽³⁾ Base de reserva econômica, marginalmente econômica e alguns recursos subeconômicos; ⁽⁴⁾ Vida com base na produção de 2007 - 2008.

Fonte: Fixen (2009)

Tabela 45. Depósitos de rochas potássicas para a produção de cloreto de potássio no Brasil.

Local/Minério	Reserva de minério	Capacidade anual de produção	Observação
	M t KCl	1000 t KCl	
Taquari/Vassouras, SE (Silvinita)	6	850	Encerra em 2016
Santa Rosa de Lima, SE (Silvinita)	7	300	Sem previsão de exploração; vida útil 20 anos
Sergipe (Carnalita)		1.200	Exploração após 2014. Vida útil 20 anos
Fazendinha e Arari, AM	71	-	Sem previsão de exploração

A produção brasileira de potássio está concentrada nas minas de Taquari/Vassouras, em Sergipe, e atende uma pequena porcentagem da demanda nacional. Expansões naquele depósito são pouco prováveis, pois a mina está em final de exploração, a qual deve ser encerrada em 2016 (Tabela 45). Outros depósitos em Sergipe também têm capacidade limitada.

As maiores reservas brasileiras encontram-se no interior do Amazonas, mas, há enormes desafios para a sua exploração comercial. Tratam-se de depósitos bastante profundos, situados no meio da floresta amazônica, sob rios e, provavelmente, com licença de lavra difícil de ser aprovada. Além disso, os custos de obtenção do minério seriam pouco competitivos. A Vale, empresa brasileira que explora as jazidas de Sergipe, está procurando alternativas fora do Brasil. Recentemente adquiriu direitos de exploração de depósitos em Neuquen e Rio Colorado na Argentina e negocia direitos de exploração de potássio também no Canadá (Lopes et al., 2009).

Embora a dependência do Brasil de potássio importado seja muito grande, a abundância de minério no mundo e a localização de boa parte das reservas em países politicamente estáveis, tornam o cenário menos preocupante.

O Brasil conta com depósitos de feldspatos potássicos em Minas Gerais, especialmente de sienito nefelínico e de verdete do Abaeté, os quais podem servir de fonte de K para plantas. Porém, essas alternativas são pouco competitivas aos preços de hoje devido à baixa concentração de potássio e ao tipo de processamento necessário.

A amônia (NH₃) é a principal matéria prima para a produção de fertilizantes nitrogenados. A NH₃ também é utilizada como fertilizante na forma de gás ou de soluções amoniacais, mas, a participação desta forma de N é relativamente pequena, cerca de 3% do mercado mundial de nitrogenados, e é concentrada nos Estados Unidos da América.

Outros fertilizantes nitrogenados, incluindo a uréia, sulfato de amônio, nitrato de amônio, fosfatos de amônio e cloreto de amônio, são produzidos a partir da NH₃. Os maiores produtores de amônia no mundo são a China, Índia, Rússia e Estados Unidos (Tabela 46).

Tabela 46. Produção mundial de amônia

País	Produção em 2007 ⁽¹⁾
	Mt
China	42,48
Índia	11,00
Rússia	10,50
EUA	8,84
Trinidade e Tobago	5,10
Indonésia	4,40
Ucrânia	4,20
Total Mundial	131,50

⁽¹⁾ Estimativa

Fonte: Fixen (2009)

Não há limitação de N na natureza para a produção de fertilizante, pois a atmosfera, de onde a maior parte do N é retirado, contém 78% de N. Há também depósitos de sais nitrogenados, como o salitre do Chile (nitrato de sódio), mas, 99% dos fertilizantes produzidos no mundo são à base de amônia (Lopes et al., 2009). Assim, a produção desse tipo de fertilizante dependerá basicamente de disponibilidade de energia. O poder redutor para a síntese de NH₃ a partir do N₂ atmosférico pode vir tanto do petróleo quanto da energia solar, eólica, atômica, hídrica etc. Porém, aos preços atuais, a tecnologia mais competitiva é a que usa gás natural ou outros derivados de petróleo. No Brasil, emprega-se nafta e gás natural, entre outros insumos

O gás natural é o principal insumo para a produção de 75 a 85% da NH₃ no mundo (Fixen, 2009). Para a produção de 1 t de N-NH₃ são necessários de 1.200 a 1.400 m³ de gás natural. Portanto, do ponto de vista estratégico, a capacidade de produção de fertilizantes nitrogenados é mais bem avaliada pela análise da disponibilidade de gás natural. Os dados de estoque e consumo de gás natural (Tabela 47) no mundo indicam que as grandes reservas estão nas principais bacias petrolíferas. A China, maior consumidor de fertilizantes nitrogenados, tem a 15^a. maior reserva; o Brasil, ocupa o 36^o. lugar, mas, os depósitos do Pré-Sal não estão computados. Às taxas de consumo atual, as reservas de gás natural devem durar cerca de 100 anos. Todavia, alguns pontos merecem consideração. A produção de fertilizantes nitrogenados responde por apenas 5% do consumo mundial de gás natural, ou seja, esta atividade é pouco relevante nos cálculos de utilização desse insumo. As reservas de gás no mundo estão constantemente sendo recalculadas e novos depósitos vêm sendo computados, como é o caso do Pré-Sal no Brasil.

O Brasil é o sexto maior consumidor de fertilizantes nitrogenados no mundo e importa atualmente mais de 70% do total utilizado na agricultura. Observações

sobre algumas das razões para a baixa capacidade de produção de fertilizantes nitrogenados no Brasil já foram discutidas neste texto.

Tabela 47. Produção e reservas mundiais de gás natural

País	Consumo em 2007	Reservas ⁽¹⁾	
		Em 2008	Participação
	Gt	Tm ³	% do total
Rússia	610	47,6	27,2
Irã	112	26,8	15,3
Qatar	21	25,6	14,6
Arábia Saudita	76	7,2	4,1
Emirados Árabes Unidos	43	6,1	3,5
EUA	653	6,0	3,4
Nigéria	13	5,2	3,0
Venezuela	27	4,7	2,7
Argélia	26	4,5	2,6
Iraque	2	3,2	1,8
Brasil	20	0,4	0,2
Total Mundial	3.196	175,0	100,0

⁽¹⁾ Reservas que podem ser recuperadas com a tecnologia presente e com os preços atuais.

Nota: Para a produção de 1 tonelada de N-amônia são necessários 1.230m³ de gás natural.

Fonte: Fixen (2009)

1.6.4 Comentários

O Brasil é um grande consumidor de fertilizantes em nível mundial, mas, importa grandes quantidades de fertilizantes acabados ou de matérias primas para sua fabricação. Em 2007, mais de 60% das necessidades brasileiras vieram do exterior, representando cerca de 75% do N, 50% do P e 92% do K.

A redução da dependência externa de fertilizantes voltou à agenda de preocupações brasileiras em 2007-2008 devido à escalada de preços internacionais de fertilizantes, causada por aumento forte da demanda devido ao crescimento acelerado da produção agrícola em alguns países, notadamente na Índia, China, Brasil e outros países asiáticos. A oferta ficou menor do que a demanda. Além disso, houve problemas pontuais de abastecimento de K devido à inundação de algumas minas. Os custos de fretes marítimos, componentes da formação de preços de fertilizantes, também subiram no período. A quebra de safras agrícolas, especialmente de arroz, na Ásia, colaborou para um movimento especulativo geral de produtos agrícolas e matérias primas para sua produção, que resultou em turbulências em vários mercados. Alguns países passaram a restringir as exportações de arroz. A China, que se tornou exportador importante de fertilizantes na última década, passou a taxar fortemente, temporariamente, as exportações desses insumos, fazendo com que os preços subissem mais e colocando em pauta a garantia de abastecimento dos países altamente dependentes de importações. Seguiu-se um período de insegurança com relação aos mercados agrícolas e a questão da competição entre culturas para a produção de biocombustíveis e de alimentos se acirrou.

A crise econômica que teve início em 2007-2008, arrefecendo os mercados e a demanda geral, colaborou para acalmar os ânimos. Verificou-se, depois, que o desabastecimento de alimentos era esporádico e restrito a algumas culturas e o desbalanço no mercado de fertilizantes era conjuntural e não estrutural. Várias iniciativas para o aumento de produção de fertilizantes tomaram forma em diversos países (Heffer & Prud'homme, 2008)

Embora seja desejável a redução da dependência de importações de fertilizantes, há pouca possibilidade de autonomia na produção de fertilizantes e de suas matérias primas em qualquer país, pois os recursos naturais – petróleo e depósitos minerais – estão concentrados em diferentes regiões do mundo. De modo geral, mesmo países bem aquinhoados com recursos naturais não têm todos os nutrientes. Assim, mesmo grandes exportadores de um nutriente são importadores de outros. O Brasil detém reservas para a produção de N, P e K, mas, tem limitações em todos eles, conforme discutido no texto. Investimentos em prospecção, lavra e indústrias podem minorar o problema da dependência externa.

Fixen (2009) concluiu seu trabalho observando que as reservas mundiais e os recursos para N, P, e K parecem adequados no futuro previsível, mas, que os custos dos nutrientes aumentarão com o tempo à medida que os recursos minerais mais facilmente extraídos se esgotem. Porém, problemas de desabastecimento, em médio prazo, não são esperados em escala mundial.

Como atualmente há grande capilaridade no comércio exterior, inclusive no mercado de fertilizantes, com suprimentos em regiões diversas, essa situação não parece ameaçar a produção de biocombustíveis. De qualquer modo, no caso de problema de abastecimento, outros setores da agricultura, talvez mais sensíveis, como os de produção de alimentos, também serão afetados.

1.7 Fixação biológica de Nitrogênio¹³

A cana-de-açúcar é grande consumidora de fertilizantes nitrogenados, mas, há evidências de que a fixação biológica (FBN) tenha importância para o suprimento desse nutriente. Não há concordância nos meios científicos sobre a real contribuição da FBN e inoculações com microrganismos fixadores não são feitas na prática. No entanto, há vários desenvolvimentos recentes sobre o tema que permitem inferir que o cenário pode mudar de modo que, pelo menos parte dos adubos nitrogenados atualmente utilizados possa ser substituída.

No Brasil, as quantidades de N fertilizante aplicadas à cana-de-açúcar são geralmente iguais ou inferiores aquelas exportadas com a colheita dos colmos ou queimadas com a palha. No entanto, a cana-de-açúcar tem sido cultivada continuamente por várias décadas, às vezes mais que um século em algumas regiões, sem redução de produtividade ou degradação aparente da fertilidade do solo, ou decréscimo acentuado do teor de MOS (Boddey, 1995). Isso tem sido considerado como uma evidência indireta de que a FBN tem um papel importante na nutrição nitrogenada de cana-de-açúcar no Brasil (Urquiaga et al., 1992; Boddey et al., 2003).

¹³ Pesquisadores responsáveis: Raffaella Rosseto e Heitor Cantarella (APTA - Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios).

Desde o trabalho pioneiro de Dobereiner (1961), que isolou bactérias fixadoras de N₂ de raízes de cana-de-açúcar, muitas bactérias diazotróficas têm sido associadas com essa cultura, particularmente aquelas dos gêneros *Glucanoacetobacter*, *Herbaspirillum* e *Burkholderia*, detectadas em colmos, folhas, raízes e sistema vascular de cana-de-açúcar (Baldani et al., 1997; Perin et al., 2006).

Bactérias diazotróficas podem causar efeitos promotores de crescimento de plantas não necessariamente associados com a FBN, incluindo a produção de fitohormônios, aumento da atividade de enzimas na planta, controle de patógenos (Marques Jr. et al., 2008). No entanto, Urquiaga et al., (1992), utilizando ¹⁵N para medir o balanço de N em estudos de longo prazo com cana-de-açúcar, demonstraram que, para algumas variedades, 60 a 70% do N acumulado provinham da FBN. As quantidades de N fixadas alcançaram 170 a 210 kg ha⁻¹ de N. Porém, na maioria dos estudos relatados na literatura, a contribuição da FBN tem sido bem menor, inferior a 30% do N absorvido e, às vezes, associada a algumas variedades de cana-de-açúcar (Oliveira et al., 2002, 2006). Levantamentos feitos com o uso da técnica do δ ¹⁵N em vários países mostraram contribuição da FBN variando de 0 a 70%, com média em torno de 30% (Yoneyama et al., 1992; Polidoro et al., 2001).

A importância prática da FBN para a nutrição de plantas de cana-de-açúcar é um assunto controverso. Há indícios de que a contribuição da FBN no Brasil tem significância agrônômica, embora não seja constante. No entanto, estudos conduzidos na Austrália, África do Sul e Espanha indicam que a FBN não representava fonte significativa de N para a cana-de-açúcar naqueles países (Biggs et al., 2002; Thorburn et al., 2003; Hoefsloot et al., 2005), embora bactérias fixadoras de N tenham sido identificadas no campo (Biggs et al., 2002; Hoefsloot et al., 2005).

O uso de adubos nitrogenados pode causar a redução do número de microrganismos e da capacidade fixadora de diazotróficos (Reis et al., 2000; Kennedy et al., 2004). A FBN também é reduzida em períodos secos (Boddey et al., 2003), que normalmente ocorrem quando a maior parte das soqueiras inicia o crescimento na região Sudeste do Brasil. Além disso, a interação entre as bactérias diazotróficas e os genótipos tem papel importante para o sucesso da FBN (Urquiaga et al., 2003; Oliveira et al., 2006).

A inoculação de bactérias diazotróficas em plantas de cana-de-açúcar não tem conseguido aumentar a FBN em condições de campo, pois já existe uma comunidade de diazotróficos estabelecida nos canaviais e não há uma espécie ou linhagem de microrganismo identificada como mais eficiente para inoculação na cana-de-açúcar (Boddey et al., 2003). Porém, recentemente, resultados promissores têm sido obtidos com a inoculação de uma combinação de cinco espécies de diazotróficos ao invés de espécies isoladas (Oliveira et al., 2002, 2006; Reis et al., 2008). Isto abre possibilidades para aumentar a contribuição da FBN em cana-de-açúcar, mas, estudos ainda são necessários para que inoculações de bactérias diazotróficas possam ser recomendadas em condições de campo. A substituição, mesmo que parcial, de fertilizantes nitrogenados pode levar a ganhos econômicos e melhoria do balanço energético da produção de etanol a partir da cana-de-açúcar.

Muitas pesquisas estão sendo realizadas no momento sobre FBN em cana-de-açúcar, mas, não é possível prever que a adubação nitrogenada possa ser

substituída. Pesquisadores da Embrapa, que lançou recentemente um inoculante para cana-de-açúcar, mantém a expectativa que a FBN possa substituir parte do N suprido como fertilizante – talvez 30 a 40 kg/ha. Como bactérias diazotróficas já colonizam normalmente os canaviais – talvez não as mais eficientes – pode acontecer que o efeito da FBN já esteja contabilizado no sistema atual, em que as doses de N são geralmente baixas. Porém, conquanto incertos, novos ganhos obtidos pela pesquisa, inclusive com variedades mais responsivas à associação com as bactérias diazotróficas, não podem ser descartadas. No momento, não há como fazer previsão sobre o desfecho dessas pesquisas e seu impacto sobre a economia de fertilizantes na cana-de-açúcar.

1.8 Uso de resíduos agro-industriais para o suprimento de nutrientes em cana-de-açúcar¹⁴

1.8.1 Aspectos gerais

A cultura da cana-de-açúcar tem uma particularidade que a diferencia de maior parte das commodities agrícolas: os produtos exportados no sistema agro-industrial, o açúcar e o etanol contêm apenas C, H, e O, ou seja, os nutrientes minerais usados na produção do vegetal podem ser reciclados e permanecer no sistema. Quando se computa a energia exportada em forma de eletricidade, o quadro é o mesmo. Nesse sentido, o uso de fertilizantes para nutrição da cana-de-açúcar pode ser bastante reduzido se o já muito bom sistema de reciclagem de resíduos do sistema agrícola-industrial for aperfeiçoado. Estão sendo levantadas as possibilidades de reciclagem, conteúdo de nutrientes reaproveitados, gargalos e oportunidades para o uso de vinhaça, cinzas, tortas e outros resíduos.

Devido às extensas áreas de produção, a geração de resíduos na indústria canavieira é por si só impactante, pelos grandes volumes gerados. Entretanto, resíduos como bagaço, torta de filtro e vinhaça, têm alto valor agregado e constituem-se em matéria prima para outras atividades agrícolas e industriais.

1.8.2 A geração de resíduos

A Figura 21 apresenta os principais resíduos gerados em uma destilaria autônoma - produz apenas álcool a partir do caldo de cana, e os resíduos gerados em usina produtora de açúcar com destilaria anexa.

Nas usinas modernas, com colheita de cana sem queima, observa-se a não utilização de água para lavagem da cana. Anteriormente, utilizava-se cerca de 5 m³ de água por tonelada de cana em processamento, atualmente unidades mais modernas utilizam reduziram esse consumo para 1 m³ por tonelada de cana. O uso da água nas usinas era considerado um fator de forte impacto ambiental. Outros resíduos do processamento são: bagaço (25%), cinzas (0,6%), torta de filtro (3,5%). Nas destilarias modernas o caldo da cana também é filtrado pelo filtro rotativo e por isso, a torta de filtro que era um resíduo típico da produção de açúcar, também pode ser encontrado na produção de etanol nessas unidades.

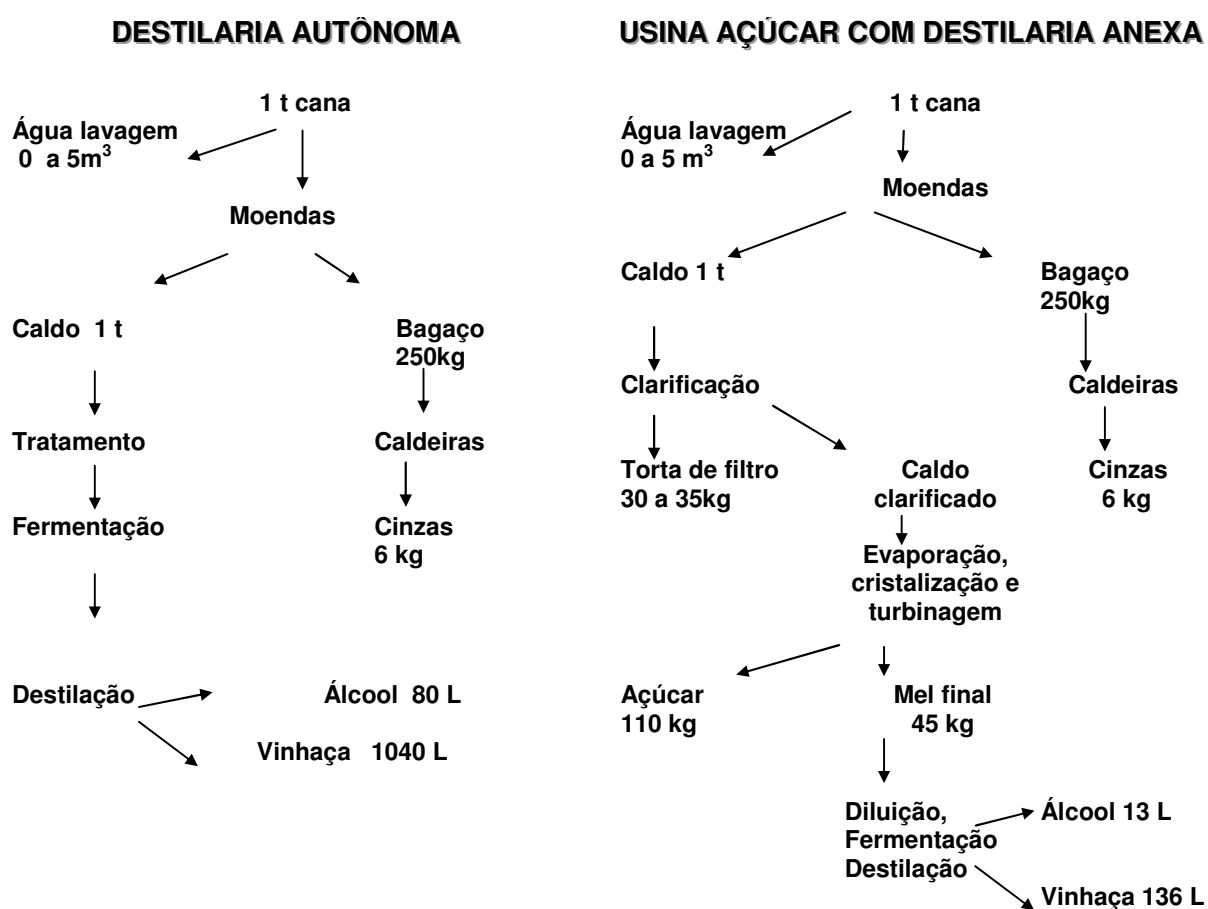
¹⁴ Pesquisadores responsáveis: Raffaella Rosseto e Heitor Cantarella (APTA - Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios).

A vinhaça é gerada em torno de 10 a 13 L por litro de etanol produzido. São geradas ainda diversas águas residuárias, como águas de lavagem de pisos e dependências, águas das colunas barométricas e águas de condensadores.

Após a queima do bagaço sobram as cinzas das caldeiras e a lavagem dos gases nas chaminés gera outro resíduo também utilizado na agricultura, que vem a ser as cinzas ou fuligem das chaminés.

Além desses resíduos a colheita mecanizada da cana-de-açúcar gera de 8 a 15 t ha⁻¹ de palhada, que deixada sobre a superfície do solo representa melhoria na sua fertilidade, por meio do retorno dos nutrientes via processo de mineralização, controle de processos erosivos e manutenção da água e das propriedades físicas do solo.

Figura 21. Resíduos gerados na agroindústria da cana-de-açúcar.



Fonte: atualizado de Orlando F^o. et al. 1983

O bagaço tem importância relevante na geração de energia, garantindo ao setor a independência energética. Toda a energia necessária para o funcionamento da agroindústria vem da geração de vapor na queima do bagaço pelas caldeiras. E ainda há um excedente, que vem aumentando ano a ano conforme novas caldeiras mais potentes vem sendo instaladas. Esse excedente pode ser comercializado para compor a matriz energética e contribuir para o fornecimento de energia elétrica nas cidades. A produção de energia elétrica através do bagaço, com baixas emissões atmosféricas, permite a obtenção de créditos de carbono, por meio do Mecanismo de Desenvolvimento limpo (MDL), instrumento contido no artigo 12 do protocolo de Quioto.

Tabela 48: Principais resíduos da produção de açúcar e álcool. Fonte: Salles (1993); Bichara e P. Filho (1991), citados por Andrade e Diniz (2007) adaptado.

Resíduos	Quantidade geradas	Características	Principais usos
Vinhaça	13L/ L de etanol destilaria anexa e 80L/t destilaria	pH = 3,5	Fertirrigação
Água de lavagem	2 – 7 m ³ /t	pH = 4,8. DBO de 180 e 500 mg/L. Na colheita sem queima não é utilizada.	Fertirrigação Reciclagem
Água de lavagem de pisos e dependencias	100 – 150 L/dia		Fertirrigação Descarte
Água de condensado- res barométricos	10 a 20 m ³ /t	DBO 10 a 40 mg/L. Temperatura 50°C	Fertirrigação Reciclagem
Água de condensado- res de álcool e resfria- mento de dornas		Não tem carga orgânica. Temperatura 50°C	
Água do circuito de lavador de gases e cinzas de caldeiras		DBO 100 a 150 mg/L, alta concentração de sólidos, 80°C	
Torta de filtro	30 a 40 kg/t	Devido ao tratamento do caldo com cal e ácido fosfórico a torta é rica em cálcio e fósforo	Uso agrícola fertilizante
Cinzas de caldeiras	5 kg/t	Composta por carbonato de potássio	Uso agrícola fertilizante

1.8.3 Resíduos sólidos: bagaço

O bagaço da cana-de-açúcar é em sua totalidade utilizado para produção de energia por meio de queima em caldeiras. O bagaço poderia ser utilizado para muitos fins, em inúmeros processos industriais, pela separação da fibra que serve para a fabricação de papéis/móveis, e da medula que pode ser utilizada na

alimentação animal e na produção de furfural. Também, é utilizado em processos de compostagem.

Novas tecnologias que aproveitam tanto o bagaço como a palha para a produção de álcool, já existem e esperam viabilidade econômica e alguns detalhes técnicos para serem implantados. A empresa Dedini lançou em 2003 o processo DHR – Dedini hidrólise rápida, no qual a molécula de celulose contida no bagaço ou na palha, é quebrada em açúcares menores através da hidrólise ácida, para a partir daí sofrer a fermentação alcoólica e a produção do etanol. Atualmente a produção é de pouco mais de 100L de álcool por tonelada de bagaço, mas o potencial é de 180 L . t⁻¹ de bagaço. Entretanto, a pesquisa científica busca o caminho da hidrólise enzimática (em substituição à hidrólise química) de materiais celulósicos para produção de etanol e neste caso, estariam incluídos parte do bagaço e parte ou a totalidade da palha. Essa tecnologia, buscada no mundo todo, deverá duplicar os rendimentos de etanol obtidos por área de plantio da cana-de-açúcar.

1.8.4 Fuligem e cinzas de caldeira

Os gases provenientes da queima do bagaço nas caldeiras podem arrastar material particulado poluente. Existem dois sistemas para a retirada desse material. Um deles utiliza ciclones, num processo a seco e no outro, os gases são lavados, passando em contra corrente pela água (sistema úmido). Ambos geram a fuligem como resíduo. São produzidas entre 40 a 70 kg de fuligem por tonelada de bagaço queimado nas caldeiras. Significam cerca de 17 kg de fuligem úmida por tonelada de cana ou cerca de 6 kg de fuligem seca por tonelada de cana produzida.

Tanto as cinzas como a fuligem podem ser misturadas à torta-de-filtro para aplicação direta ou no processo de compostagem, com vantagens para o enriquecimento de K no composto.

A Tabela 49 apresenta os teores totais de nutrientes encontrados em diversas amostras de cinzas e fuligem.

Tabela 49. Umidade e teores totais encontrados de nutrientes na fuligem e nas cinzas de caldeira após a queima de bagaço.

Resíduo	Umidade	C	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	SO ₄	SiO ₂
Cinzas¹	----	---	---	0,9	1,7	1,0	0,6	---	85
Cinzas²	83,2	28,6	0,75	0,6	1,5	0,5	0,4	1,4	--
Fuligem¹	71-33	28-	---	0,5-	0,7-	0,6-	0,4-	---	38-
		11		1,0	3,0	1,5	0,8		72
Fuligem³ Via umida		28		0,7	2,1	0,74	0,35		49,5
Fuligem³ Via seca		11,3		0,5	2,0	0,47	0,30		68
Fuligem⁴	50,4	17		0,5	1,7	0,8	0,4		29,9

¹ Médias de dados obtidos em diversas usinas; ² Usina Ferrari, SP, (2006); ³ Glória et al. (1993a); ⁴ Glória et al. (1993b)

1.8.5 Torta de filtro

A torta-de-filtro é um resíduo da produção do açúcar proveniente do processo de clarificação do caldo. O lodo dos decantadores e o bagacinho são filtrados a vácuo, em filtros rotativos (Figura 22), aproveitando ainda parcelas de caldo e restando a torta-de-filtro. Atualmente, algumas destilarias também introduziram o sistema de clarificação do caldo e assim também obtém a torta-de-filtro no processo de produção do álcool. As quantidades produzidas dependem do sistema de extração do caldo, se por moagem ou por difusor. Em geral são produzidos entre 22 e 40 kg de torta por tonelada de cana moída, com média de 30 kg.

O maior uso da torta de filtro é como fertilizante fosfatado e condicionador de solo no sistema de cultivo de cana-de-açúcar. Além desse uso principal, a torta de filtro também pode ser utilizada como ração animal e para a extração de ceras.



Figura 22. O filtro rotativo e a coleta da torta-de-filtro na canaleta (Foto: Rossetto, R.)

Tabela 50. Análise média de 20 amostras de torta de filtro coletadas de 3 usinas do Estado de São Paulo na safra de 2006-2007.

Determinações	Base seca (110°C)
pH (CaCl ₂ 0,01M)	6,7
Densidade (g.cm ⁻³)	0,25
Matéria orgânica total	58,33
Matéria orgânica compostável	55,28
C total (%)	32,60
C orgânico (%)	30,77
Resíduo mineral total (%)	41,57
N total (%)	1,38
P ₂ O ₅ (%)	1,21
K ₂ O (%)	0,18
Ca (%)	2,51
Mg (%)	0,46
S (%)	0,23
C/N (total/total)	24/1
C/N (org/total)	23/1

Em geral, utiliza-se a torta em condições diversas, como:

- 1.** Área total nos talhões em reforma, com incorporação;
- 2.** Em soqueiras nas entre-linhas, com leve incorporação ou sem incorporação;
- 3.** No sulco de plantio;
- 4.** Compostagem.

Os estudos sobre compostagem da torta são antigos. O objetivo inicial é o de diminuir umidade para reduzir custos de transporte e também tornar os nutrientes mais disponíveis, pela mineralização da matéria orgânica, trazendo maior racionalização e ganhos econômicos no uso e na aplicação. A torta "in natura" apresenta em média cerca de 70% de umidade. Em determinadas condições, como os plantios em épocas de inverno, quando as chuvas tornam-se escassas, a umidade da torta pode ser essencial para a brotação da cana, garantindo melhor uniformidade de brotação. Para este uso, a compostagem não é tão vantajosa.

A compostagem pode ser feita adicionando fuligem, gesso, vinhaça, ou outra fonte qualquer de nutrientes, desde que não elevem o pH, devendo-se verificar o interesse e a economicidade da mistura desses materiais à torta. A torta recém saída da usina é levada para o pátio de compostagem onde é acondicionada formando leiras de 5 a 6 m de largura com 1,5 a 2 m de altura, deixando um intervalo de 6 a 10 m de espaço livre entre as leiras para o trânsito de máquinas que transportam e que revolvem a torta. Na época de plantio, a torta é transportada para os talhões e aplicada. Quando se procede à compostagem, verifica-se que após 2 meses, com 4 ou 6 revolvimentos, já existe a estabilização dos compostos. O revolvimento da torta pode ser realizado por meio de máquina autopropelida ou por implementos acoplados ao trator (Figura 23).

Em certas usinas o manejo da torta é diferenciado. As leiras de torta são misturadas com esterco de galinha. A seguir são dispostas nos sulcos de plantio e posteriormente os sulcos são fechados. Na época de plantio, os sulcos são novamente abertos para a disposição das mudas de cana. Algumas dessas unidades vêm implantando um sistema de “canteirização” onde o trânsito de máquinas ocorre apenas na entrelinha. O preparo do solo concentra-se apenas na linha. É precursora nessa tecnologia a Usina São Martinho, SP (Figura 24). Com toda a palhada acumulada ao longo de mais de 10 anos, e a grande adição de matéria orgânica representada pelos resíduos agrícolas, a cana vem sendo plantada praticamente em “canteiros”, como numa grande horta.



Figura 23. Revolvedor de torta-de-filtro acoplado ao trator para a compostagem. (Foto: Rossetto, R.).



Figura 24. A “canteirização” do canavial. (Foto: Usina São Martinho, SP).

A torta apresenta concentração baixa, de alguns metais como alumínio, manganês, zinco e ferro e por isso, seu uso deve ser monitorado. Além disso, tem alta DBO e se for carreado para os corpos de água, pode causar poluição.

Os pátios de secagem ou compostagem de torta de filtro, devido às quantidades geradas e processadas, podem gerar algum impacto ao ambiente. Durante a compostagem, deve-se evitar as perdas de gases de nitrogênio (gases de efeito estufa), procurando manter o pH baixo no material. Durante a compostagem, elevadas temperaturas no centro das leiras, podem promover incêndios espontâneos, levando à perdas gasosas. Além disso, pode ocorrer lixiviação de ions, causando impacto se o lençol freático for superficial. Deve-se evitar também o escoamento superficial de “chorume”. A Figura 25 mostra um pátio de secagem e compostagem de torta de filtro.



Figura 25. Pátio de secagem e compostagem de torta de filtro. (Foto: Rossetto, R.)

1.8.6 Palhada

A mudança do sistema de produção onde o fogo não é mais utilizado para facilitar as operações de colheita, induz a permanência de grandes quantidades de palhada, com modificações sensíveis nos atributos físicos e químicos do solo. A palhada sobre o solo promove a reciclagem de nutrientes e com isto, permite diminuir as quantidades aplicadas como fertilizantes.

Nas condições do Estado de São Paulo, Brasil, Faroni et al. (2003) observaram que 40 a 50% da matéria seca da palhada permanecem no solo após um ano. A relação C/N, entretanto, que era inicialmente de 85, ficou mais estreita após um ano, chegando a 34. Oliveira et al (1999) obtiveram taxas de decomposição da palhada após um ano de 20 a 70%.

A permanência da palhada no campo permite o seqüestro de $1,5 \text{ Mt C ano}^{-1}$ e uma emissão evitada de metano de $0,05 \text{ Mt C ano}^{-1}$ (Cerri, 2004).

Comparando o sistema convencional de preparo da cana-de-açúcar (aração e gradagem), como o sistema de plantio direto e cultivo mínimo, Bolonhezi et al. (2004), concluíram que em canavial colhido sem queima, a incorporação de 17 t ha^{-1} de matéria seca pelo preparo convencional resultou em emissão total (período de 27 dias) de $3,5$ e 9 t ha^{-1} de CO_2 a mais que nos sistemas cultivo mínimo e plantio direto, respectivamente.

1.8.7 Resíduos líquidos

A Resolução CONAMA No 54 (2005) define efluentes líquidos de agroindústrias tratados ou não como água residuária, e o reuso da água como sendo a utilização

de águas residuárias. Assim, o uso de vinhaça em solos brasileiros configura-se como maior exemplo de reuso da água, talvez até ao nível mundial.

Águas residuárias

Vários tipos de águas residuárias são geradas na indústria sucroalcooleira. A Tabela 1 apresenta as quantidades geradas e algumas características. No campo os principais reusos são águas de lavagem da cana e águas de lavagem de pisos e dependências e são utilizadas misturadas com a vinhaça ou não na fertiirrigação do canavial. Na indústria as principais vantagens do reuso são o menor volume de água captado no manancial de abastecimento, assim como do efluente descartado no meio ambiente. Na indústria, os principais reusos são: a água utilizada na barométrica dos evaporadores, e dos trocadores de calor de destilaria para lavagem de cana, e a água condensada vegetal no processo de embebição e na lavagem de cinzas e gases das caldeiras.

A água de lavagem da cana tem DBO entre 180 e 500 mg/L e alta concentração de sólidos. Essa água pode também ser reciclada para reutilização na própria lavagem da cana. Para isto, a água de lavagem é disposta em decantadores circulares ou lagoas de decantação, tem pH corrigido para 9 a 10.

Com a colheita da cana sem queima, a operação de lavagem não pode mais ser executada por incorrer em grandes perdas de sacarose na água de lavagem. Esse procedimento foi substituído pela limpeza a seco, através de ventiladores e sopradores. As águas residuárias contêm quantidades praticamente insignificantes de nutrientes.

Vinhaça

A vinhaça é um resíduo produzido em grandes quantidades. Com o advento do Próalcool, e conseqüente expansão da indústria alcooleira do país ocorreu um aumento significativo da produção de álcool, e também da geração de vinhaça. Na safra 2007/2008 foram produzidos cerca de 270 bilhões de litros de vinhaça (Figura 26).

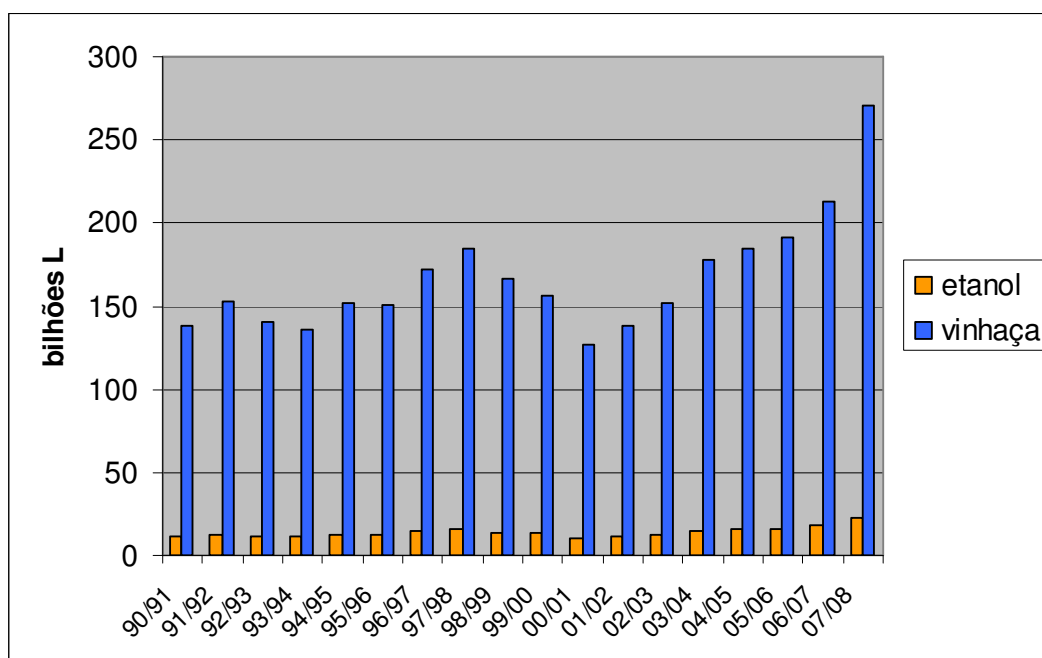


Figura 26: Produção de etanol e produção de vinhaça (estimada) no Brasil.

Após a proibição da disposição da vinhaça nos rios, a primeira solução encontrada foi a aplicação da vinhaça nas chamadas *áreas de sacrifício*, áreas muito próximas às usinas e destilarias que sofriam a deposição de grande quantidade de vinhaça. Essa prática causava a poluição do solo, tornando-o improdutivo, e ainda possivelmente poluindo as águas subterrâneas. Posteriormente, a vinhaça passou a ser utilizada nas fertirrigações. A tecnologia de uso da vinhaça nos solos foi praticamente desenvolvida toda no Brasil, por não existir outro país com geração tão grande desse tipo de resíduo.

A área necessária para aplicação da vinhaça é bastante variável entre as unidades produtivas. A existência da área para disposição da vinhaça é um dos motivos do monocultivo em áreas extensivas da cana-de-açúcar. Algumas usinas utilizam a vinhaça como fertirrigação em cerca de 70% de sua área de cultivo, outras aplicam em cerca de 30%. Em São Paulo, a portaria da Cetesb 4.321 de 2005, que regulamenta o uso da vinhaça incorrerá em maior área de aplicação para a vinhaça. A Tabela 51 apresenta alguns dados sobre as 10 maiores usinas paulista com a área utilizada para aplicação de vinhaça (Dados Unica citados por Andrade & Diniz (2007)).

Tabela 51. Moagem, produção de açúcar e álcool (safra 2006/2007) e áreas necessárias para disposição ambientalmente segura da vinhaça gerada nas 10 maiores Usinas paulistas. Fonte: ÚNICA (Moagem, açúcar e álcool), citado por Andrade & Diniz (2007).

Unidade	Município	Moagem	Açúcar	Etanol	Área de vinhaça
		----- t -----		m ³	ha
1	Barra (Cosan)	7.018.366	528.674	289.268	56.290
2	S. Martinho	6.735.073	499.729	286.340	55.720
3	S. Elisa	5.960.328	370.335	270.146	52.570
4	Vale Rosário	5.493.267	373.790	230.590	44.871
5	Colorado	4.482.502	356.352	181.254	35.270
6	Equipav	4.434.660	278.807	213.961	41.636
7	Colombo	4.412.312	383.292	158.165	30.778
8	Moema	4.408.051	299.829	198.281	38.584
9	Pedra	4.101.266	218.117	216.771	42.182
10	Cruz Alta	4.052.989	451.327	64.162	12.485

Composição da vinhaça

A composição da vinhaça é muito variável em função de diversos fatores. Um deles é a sua origem. Quando se utiliza o caldo de cana para a fermentação a vinhaça resultante é sempre menos concentrada que aquela proveniente de mosto de melaço ou de mosto misto. Além disto, a concentração da vinhaça varia de usina para usina, e dentro de cada usina, há variações durante a safra e mesmo em determinado dia, em decorrência da moagem de diferentes variedades, com diferentes índices de maturação, provenientes de diferentes solos, de diferentes níveis de fertilidade, etc.

A Tabela 52 apresenta a composição química da vinhaça e também algumas de suas características físicas, encontradas em levantamento realizado em usinas do Estado de São Paulo, por Elia Neto e Nakahondo, (1995). Verifica-se que apesar da alta DBO e DQO, grande parte da matéria orgânica da vinhaça é composta por gliceróis e ácidos fracos facilmente decomponíveis. Por esta razão, é difícil alterar o teor de matéria orgânica do solo após a aplicação da vinhaça, principalmente quando a dose aplicada visa apenas fornecer o potássio para o crescimento da cana. Contudo, com aplicações subsequentes, ano a ano, num mesmo local, em doses mais elevadas, é possível que o teor de C possa ser ligeiramente superior que a condição inicial.

Tabela 52. Caracterização físico-química da vinhaça. Médias de 64 amostras de 28 usinas do Estado de São Paulo. (Fonte: Elia Neto e Nakahondo, 1995).

DESCRIÇÃO	Concentrações			Padrão/ l.álcool
	Mínimos	Média	Máximos	
Dados de Processo				
Brix do Mosto (°B)	12,00	18,65	23,65	
Teor Alcoólico Vinho (°GL)	5,73	8,58	11,30	
Taxa de Vinhaça (L/L. álcool)	5,11	10,85	16,43	10,851
Vazão de referência (m³/dia)	530,00	1.908,86	4.128,00	
Caracterização da Vinhaça:				
pH	3,50	4,15	4,90	
Temperatura (°C)	65,00	89,16	110,50	
Demanda Bioquímica Oxigênio (DBO ₅) (mg/L)	6.680,00	16.949,76	75.330,00	175,13g
Demanda Química de Oxigênio (DQO) (mg/L)	9.200,00	28.450,00	97.400,00	297,60g
Sólidos Totais (ST) (mg/L)	10.780,00	25.154,61	38.680,00	268,90g
Sólidos Suspensos Totais (SST) (mg/L)	260,00	3.966,84	9.500,00	45,71g
Sólidos Suspensos Fixos (SSF) (mg/L)	40,00	294,38	1.500,00	2,69g
Sólidos Suspensos Voláteis (SSV) (mg/L)	40,00	3.632,16	9.070,00	43,02g
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) (mg/L)	1.509,00	18.420,06	33.680,00	223,19g
Sólidos Dissolvidos Voláteis (SDV) (mg/L)	588,00	6.579,58	15.000,00	77,98g
Sólidos Dissolvidos Fixos (SDF) (mg/L)	921,00	11.872,36	24.020,00	145,21g
Resíduos Sedimentáveis (RS) 1hora (mL/L)	0,20	2,29	20,00	24,81ml
Cálcio (mg/L CaO)	71,00	515,25	1.096,00	5,38g
Cloreto (mg/L Cl)	480,00	1.218,91	2.300,00	12,91g
Cobre (mg/L CuO)	0,50	1,20	3,00	0,01g
Ferro (mg/L Fe ₂ O ₃)	2,00	25,17	200,00	0,27g
Fósforo total (mg/L P ₂ O ₄)	18,00	60,41	188,00	0,65g
Magnésio (mg/L MgO)	97,00	225,64	456,00	2,39g
Manganês (mg/L MnO)	1,00	4,82	12,00	0,05g
Nitrogênio (mg/L N)	90,00	356,63	885,00	3,84g
Nitrogênio amoniacal (mg/L N)	1,00	10,94	65,00	0,12g
Potássio total (mg/L K ₂ O)	814,00	2.034,89	3.852,00	21,21g
Sódio (mg/L Na)	8,00	51,55	220,00	0,56g
Sulfato (mg/L SO ₄)	790,00	1.537,66	2.800,00	16,17g
Sulfito (mg/L SO ₃)	5,00	35,90	153,00	0,37g
Zinco (mg/L ZnO)	0,70	1,70	4,60	0,02g
Ethanol-CG (mg/L)	0,10	0,88	119,00	9,10ml
Glicerol (ml/L)	2,60	5,89	25,00	62,10ml
Levedura (base seca) (mg/L)	114,01	403,56	1.500,15	44,10g

Dose de vinhaça a ser aplicada

No Estado de São Paulo, a vinhaça é recomendada em função do teor de K do solo e na vinhaça, da mesma forma que um fertilizante químico. As aplicações mais comuns, e mais econômicas, são em área total.

Em 2005, no estado de São Paulo, a CETESB instituiu nova portaria que regulamenta o uso da vinhaça. Entre várias determinações para a impermeabilização dos por canais que transportam a vinhaça, normas para o tanque de armazenamento e análises para caracterização do resíduo, a portaria também determina a dose a ser aplicada de acordo com a seguinte equação:

$$\text{m}^3 \text{ de vinhaça.ha}^{-1} = [(0,05 \times \text{CTC} - \text{ks}) \times 3744 + 185] / \text{kvi}$$

onde:

0,05 = 5% da CTC

CTC = Capacidade de Troca Catiônica, expressa em $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ a pH 7,0 dada pela análise de fertilidade do solo realizada por laboratório de análise de solo e utilizando metodologia do Instituto Agrônomo de Campinas de Análise de Solo, devidamente assinado por responsável técnico.

ks = concentração de potássio no solo, expresso em $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$, à profundidade de 0,80 metros, dada pela análise de fertilidade do solo realizada por laboratório de análise de solo utilizando metodologia de Análise de Solo do IAC, devidamente assinado por responsável técnico.

3744 = constante para transformar os resultados da análise de fertilidade, expressos em $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ ou $\text{meq} \cdot 100\text{cm}^{-3}$, para kg de potássio em um volume de um hectare por 0,80 metros de profundidade.

185 = kg de K_2O extraído pela cultura por ha, por corte.

kvi = concentração de potássio na vinhaça, expressa em kg de $\text{K}_2\text{O}.\text{m}^{-3}$, apresentada em boletim de resultado analítico, assinado por responsável técnico.

Tecnologia para aplicação da vinhaça

No final da década de 1970 a vinhaça era transportada e aplicada através de caminhões tanques. Existiam também duas situações, que permanecem até hoje: (1) aplicação da vinhaça *in natura* ou (2) diluída com água e outros efluentes das usinas, as águas residuárias (águas de lavagem da cana, água de condensação, água de colunas barométricas, água de lavagem de pisos etc).

Dentre as várias alternativas apresentadas para o uso da vinhaça, a que mais se mostrou econômica e eficiente do ponto de vista agrícola, e que, portanto, passou a ser difundida e adotada pela maioria das usinas, foi o uso na fertirrigação dos canaviais. O termo fertirrigação, embora muito utilizado no setor, não é bem empregado, por não se tratar exatamente de uma irrigação no sentido do controle sobre as lâminas de água e na frequência necessária. No caso da vinhaça, refere-se à aplicação do resíduo líquido que também causa o molhamento do solo, não se configurando exatamente como uma irrigação (Freire e Cortez, 2000).

As inovações tecnológicas para a aplicação da vinhaça modificaram os sistemas rudimentares de aplicação da vinhaça por inundação e por sulcos de infiltração, que já previam uma adutora principal para transporte da vinhaça pelos canais principais e destes aos sulcos de plantio por inundação ou por tubos de PVC, com saídas para cada sulco, abertos nas entre-linhas da cana (Rossetto, 1987). Esse sistema exigia terrenos com declividade mínima de 0,2 a 0,5% e se mostrou difícil e ineficiente, por ser a aplicação da vinhaça muito irregular, com prejuízos a qualidade da matéria prima produzida.

No início dos anos 1980, passou-se a sistemas de aspersão com equipamentos semi-fixos, nos quais a vinhaça era bombeada dos canais principais por motobombas, que alimentavam tubulações laterais onde eram acoplados os aspersores. Esse sistema já permitia maior controle das doses de vinhaça aplicadas, mas necessitava que a vinhaça fosse diluída. Nos anos 80 a vinhaça passou a ser aplicada, por aspersão com canhão hidráulico que se deslocava em pequenos carregadores ao lado dos canais que traziam a vinhaça.

Posteriormente a introdução do carretel enrolador foi um avanço tecnológico para a aplicação da vinhaça. A aspersão é feita por um equipamento autopropelido com tubulação de polietileno de média densidade, que permite maior automação, maior rendimento operacional, maior eficiência, menor uso de mão de obra e menor numero de mudanças e transporte de equipamentos (Leme et al. 1987)

Inovações tecnológicas ainda estão em andamento através da utilização de uma barra irrigadora de 36 a 54m de largura com aspersores spray para vazão de 25 a 150 m³.h⁻¹. A barra é adaptada na extremidade da mangueira do carretel enrolador e permite redução na pressão de aplicação, melhorando a uniformidade. Equipamentos de pivô central rebocável também estão sendo testados para a aplicação de vinhaça. Devido à sua alta corrosão, para a aplicação da vinhaça por pivô, foram desenvolvidos materiais especiais como tubos e conexões em aço inox, pivô com barras de tubos de PVC e com proteção ultravioleta, e o pivô com tubos revestidos internamente com polietileno. O sistema de aplicação por aspersão com carretel enrolador é ainda hoje muito utilizado. Embora represente um menor investimento inicial, frente a outros sistemas de irrigação, é o que apresenta o maior custo operacional para seu funcionamento (Hernandez, 2006).

A Figura 27 e a Figura 28 ilustram a aplicação da vinhaça pelo sistema caminhão-rolão-canhão aspersor.



Figura 27. Aplicação de vinhaça com canhão aspersor (Foto: Rossetto,R.)



Figura 28. Vinhaça transportada por caminhão e aplicada pelo sistema rolão-canhão aspersor (Foto: Rossetto,R.).

Numa pesquisa realizada em 54 usinas do Brasil (25 no estado de São Paulo), representando 22,5% da cana moída no Brasil, Nunes Jr. *et al.* (2005), verificaram que a vinhaça foi distribuída preferencialmente por canais e aplicada por aspersão através do sistema de carretel + rolão (Tabela 53 e Tabela 54).

Tabela 53. Distribuição da vinhaça nas diversas regiões brasileiras na safra 2003/04. Fonte: Nunes Jr. et al. (2005).

Região	distribuição vinhaça	
	canais	caminhão
	-----%-----	
São Paulo	76,6	23,4
Centro Sul	80,9	19,1
Nordeste/Leste	100	0
Brasil	82,5	17,5

Tabela 54. Modos de aplicação da vinhaça nas diversas regiões brasileiras na safra 2003/04. Fonte: Nunes Jr. et al. (2005).

Região	Aspersão		Caminhão	
	montagem direta	carretel enrolador	na lavoura	com carretel
	----- % -----			
São Paulo	6,7	69,9	9,9	13,5
Centro Sul	24,0	56,9	9,2	9,9
Nordeste/Leste	100	0	0	0
Brasil	30,3	52,2	8,4	9,1

Dois processos estão sendo estudados para a distribuição da vinhaça, a aplicação por sistema de pivô central ou pivô lateral e o gotejamento subsuperficial. Para aplicações de vinhaça é importante que os pivôs sejam rebocáveis para atender a maior área possível de aplicação. As vantagens do uso do pivô dizem respeito à uniformidade da distribuição, melhorando a qualidade da fertirrigação. Segundo Sousa (2008), experimentos realizados pelo CTC confirmam a viabilidade técnica do gotejamento da vinhaça. O problema das tecnologias de pivô e de gotejo recai no custo. No caso do gotejo o fato de ser fixo no campo também gera grande limitação.

Outros usos para a vinhaça

Além do uso da vinhaça como fertilizante e como alimentação animal, diversas opções foram preconizadas, como as sugeridos por Camhi (1979): (a) concentração da vinhaça por evaporação ou secagem para alimentação animal; (b) fermentação aeróbia por microrganismos para a produção de proteínas unicelulares; (c) fermentação anaeróbia utilizando bactérias metanogênicas para a produção de metano (biogás). Além disto, Rolim (1996) sugeriu o uso da vinhaça para obter o chamado solo-vinhaça, um material utilizado para fazer tijolos de construção e Freire e Cortez (2000) estudaram a combustão da vinhaça ou icineração para recuperação dos sais de potássio e aproveitamento energético.

Um dos usos que recentemente foi patenteado no Brasil trata do cultivo de algas produtoras de óleo, em tanques tipo "raceway". A vinhaça é utilizada como meio de cultura para o crescimento dessas algas e não necessita de complementação com nenhum outro insumo. Após a extração do óleo, a biomassa resultante ainda servirá para a produção de etanol de 2^a. geração ou mesmo de biomassa para queima em caldeiras. No Brasil existe patente para esse tipo de cultivo de algas utilizando a vinhaça como meio de cultura.

A Figura 29 e a Figura 30 ilustram um tanque do tipo raceway para crescimento de algas.



Figura 29. Tanques do tipo "raceway" para crescimento de algas. Foto: <http://www.electricitybook.com/algae-biodiesel-2/algae-ponds.jpg>



Figura 30. Detalhe do tanque tipo "raceway" mostrando as abas para a aeração. Foto: www.impactlab.com/.../05/algae_biodiesel1.jpg

Uso da vinhaça e questões ambientais

Rossetto (2004), comenta que os relatórios da década de 70 da atual Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (Cetesb-SP), apontavam a indústria sucroalcooleira como fonte significativa de poluição ambiental, face ao elevado potencial poluidor – qualitativo e quantitativo – de seus resíduos líquidos que eram descartados diretamente nos rios. Existiam também resíduos sólidos, emissões gasosas e processos agrícolas que não contemplavam a sustentabilidade da atividade canavieira. Dessa época aos dias de hoje a situação mudou muito e a busca pela sustentabilidade tem sido constante no setor canavieiro.

A utilização contínua da vinhaça nos mesmos solos, ano após ano, tem causado preocupação do ponto de vista ambiental, pela possibilidade de ocorrência de grande concentração de cátions, com saturação das cargas negativas do solo. Conseqüentemente, sobram grandes quantidades de íons livres na solução, principalmente o potássio, podendo ocasionar problemas de lixiviação para águas subterrâneas.

A lixiviação de potássio para a subsuperfície não seria um problema ambiental, uma vez que o potássio não é poluente de águas. O problema é que a alta concentração de potássio favorece a formação de complexos químicos, que com carga neutra, são facilmente lixiviados. O complexo formado entre o $(K)^+$ e o $(NO_3)^-$ é especialmente preocupante do ponto de vista ambiental porque o nitrato, sim, é grande poluente de águas. O Nitrato se detectado em águas superficiais ou subterrâneas acima do teor de 10 mg L⁻¹ pode ocasionar metahemoglobinose em crianças abaixo de 03 meses, e câncer em sistema digestivo de adultos. Outros elementos podem ocasionar alterações no padrão de potabilidade da água, reduzindo as fontes de água potáveis.

Contudo, pairam dúvidas, ainda, sobre o deslocamento de contaminantes em solos com histórico de aplicação de vinhaça e em situações como: (i) vinhaça sendo aplicada no final da safra próximo ao início da estação chuvosa na região sudeste do Brasil, em solos com baixos valores de capacidade de troca de cátions, e que não haja tempo para absorção dos nutrientes pelas plantas; (ii) a vinhaça é aplicada na estação seca em que a absorção de nutrientes pelas plantas é baixa, e os nutrientes de plantas permanecem na solução do solo. Precipitações intensas logo no início da estação chuvosa propiciariam a percolação dos íons para camadas fora do alcance do sistema radicular (camada de acúmulo) e ao longo do tempo ocorreria sua lixiviação.

No Estado de São Paulo, a Normativa P4.231 (janeiro 2005), regulamenta a o uso da vinhaça. Existem prazos para a impermeabilização de canais e de reservatórios. No solo a vinhaça poderá ser aplicada em dosagens maiores apenas se a saturação de K na CTC do solo estiver abaixo de 5%. Se este valor já tiver sido atingido, a normativa permite apenas o uso da dose de K que será utilizada pela cana no ano em questão, ou seja, dose de vinhaça equivalente a 185 kg.ha⁻¹ de K₂O.

Com a nova normativa para o uso da vinhaça, muitas áreas sofrerão restrições, sendo que o setor já se prepara para transportar a vinhaça a distâncias maiores. Uma das soluções em estudo trata da concentração da vinhaça.

Vinhaça concentrada e redução da geração de vinhaça

É a vinhaça que teve seu volume reduzido por processo de evaporação com o objetivo de tornar seu transporte mais econômico. O processo é antigo, a Usina Santa Elisa, SP, instalou ainda em 1978 uma unidade concentradora de vinhaça, adquirida da empresa Vogelbusch, que ficou praticamente parada em função do alto custo energético. Com a implantação do sistema de cogeração de energia elétrica, ocorrido em 1999, a concentradora de vinhaça passou a funcionar ativamente, produzindo na safra 2005/06 cerca de 3,3 m³ de vinhaça concentrada por hora. Para a aplicação da vinhaça concentrada foi desenvolvido um caminhão com tanque, bomba de pressurização e barra com largura para aplicação em 7 linhas de cana, que aplicou vinhaça concentrada na safra 2005/06 em cerca de 5.000ha (Barbosa, 2006). A Usina Cerradinho inaugurou a concentradora de vinhaça neste ano e pretende produzir fertilizante potássico para ser comercializado.

Processos de concentração da vinhaça e secagem térmica poderiam viabilizar o uso da vinhaça em áreas distanciadas das usinas e em outras culturas agrícolas, minimizando as aplicações em solos próximos as usinas com histórico de muitos anos de aplicação do produto. Contudo, o custo energético destas operações é alto, e talvez seja economicamente viável apenas em cenário de proibição do uso do resíduo nas áreas atuais de aplicação. A secagem térmica da vinhaça consumiria energia elétrica equivalente a queima de 30% do bagaço produzido na usina, contudo traria novas opções como a secagem conjunta da torta de filtro, e a produção de um fertilizante orgânico rico em P e K. O tratamento da vinhaça em reatores anaeróbicos pode gerar energia elétrica passível de ser utilizada na secagem térmica.

A água da vinhaça pode ser recuperada para re-uso industrial. A Usina Mundial, em Mirandópolis, SP, instalou um projeto para recuperar a água da vinhaça para seu re-uso na área industrial. O projeto visa transformar 80% da parte líquida da vinhaça em água destilada, reduzindo os custos de tratamento de água e

promovendo o re-uso de um recurso natural. Além disto, pretende também produzir um fertilizante potássico peletizado ou granulado, com a parte sólida restante (Jornal Cana, 2004). Esse processo é muito caro e a viabilidade econômica tem sido o maior entrave para a continuidade do projeto nessa Usina.

É importante salientar que se espera a curto e médio prazo, que o melhoramento genético de leveduras leve à obtenção de cepas mais eficientes que sobrevivem a teores alcoólicos mais elevados, reduzindo assim os volumes de vinhaça gerados. A Fermentec em conjunto com a Usina da Pedra, Serrana, SP (2009) implementou um processo com cepas mais eficientes aliados ao resfriamento do levedo, onde a produção de etanol ocorre em níveis alcoólicos mais altos (15 a 16%), o que permite a geração de metade da quantidade de vinhaça. A Tabela 55 apresenta os indicadores da produção de etanol através do novo processo, em comparação com o processo normal da fermentação no Brasil e da fermentação do milho nos Estados Unidos.

Tabela 55. Alguns indicadores do processamento do etanol no Brasil (processo tradicional e novo processo) e do etanol nos Estados Unidos.

Indicadores	Brasil Processo atual	Brasil Novo processo	EUA Fermentação milho
Teor alcoólico (%)	8-8,5	15-16	18
Rendimento (%)	90-92	90-92	85-88
Tempo fermentação (h)	8-10	16-18	60-90
Reciclo levedura	sim	Sim	Não
Volume vinhaça (L Lálcool ⁻¹)	12	6	5,5

1.8.8 Outros resíduos urbanos e agroindustriais utilizados na cultura da cana-de-açúcar

Além dos resíduos da cadeia produtiva da cana-de-açúcar, muitos outros resíduos de processos industriais e de outras cadeias agrícolas são utilizados na cana-de-açúcar com fins de aproveitamento dos nutrientes para a nutrição da cana. Esses resíduos tem importância regional. Em São Paulo, o resíduo da indústria Ajinomoto, que contém cerca de 6% de Nitrogênio é utilizado em cana e citrus. Vários lodos industriais, como o lodo da Coca-cola, água de maceração da Corn, assim como resíduos de mineração como sobras da exploração de xisto betuminoso.

O uso de gesso agrícola ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) na cultura da cana-de-açúcar tem se ampliado. Além de fornecer os nutrientes cálcio e enxofre, o gesso por sua alta solubilidade, promove outros efeitos benéficos. Embora, o produto não promova a correção da acidez de solo, proporciona aumento na concentração de bases em subsuperfície, impulsionando o desenvolvimento de raízes em busca de nutrientes e água, aumentando o volume de solo explorado. Assim como o gesso, subprodutos da produção de aço e ferro como as escórias de aciarias e alto forno têm sido usadas na cultura da cana, como corretivos de acidez e fornecedores de silício. Cuidados devem ser tomados no uso destes resíduos em solos, especialmente no que concerne a incorporação de metais pesados. Outro resíduo com mercado promissor na cultura da cana é o lodo de esgoto utilizado como fonte de matéria orgânica, N, P e micronutrientes. Inúmeros trabalhos demonstraram aumento significativo de produtividade da cana com o uso de lodo (Oliveira et al., 2002 (a); Bertocini et al., 2004). Entretanto, alguns entraves têm impedido seu uso in natura em solos, podendo-se citar: o excesso de sais solúveis que ocasionam

salinidade do solo, desbalanço de nutrientes, baixo grau de humificação do material orgânico, presença de contaminantes como metais pesados, patógenos, e fármacos e hormônios, rápida mineralização da matéria orgânica em condições tropicais e lixiviação de nitrato.

A legislação brasileira que regulamenta o uso de lodo de esgoto em solos agrícolas foi alterada em 2006, tornando-se mais restritiva no que concerne à concentração de contaminantes como metais pesados e patógenos humanos. A Resolução CONAMA No 375 (2006) classifica o lodo de esgoto nas classes A e B no que se refere à concentração de patógenos. O lodo classe B poderá ser usado em solos até o ano de 2011. A partir desta data a Resolução deverá ser revisada, com tendência a ser abolido. O lodo classe A permite os seguintes valores máximos de patógenos: coliformes termotolerantes < 10³ NMP g⁻¹ de lodo seco; ovos viáveis de helmintos: < 1,0 em 4 g de matéria seca e ausência de *Salmonella* sp em 10 g de lodo seco; vírus < 0,25 UFP ou UFF em 1,0 g de lodo seco. Para a classe B seriam permitidos: coliformes termotolerantes < 10⁶ NMP em 1,0 g de lodo seco, e ovos viáveis de helmintos < 10 em 1,0 g de lodo seco.

Concomitantemente a Resolução CONAMA, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento lançou as Instruções Normativas Nos 23 e 27 (MAPA, 2006) que regulamentam o registro de fertilizantes orgânicos para uso agrícola, permitindo para lodo de esgoto apenas o uso da classe A, excluindo o parâmetro quantificação de vírus, e restringindo ainda mais os teores máximos permitidos de metais pesados, que seriam: (As (20); Cd (3,0); Pb (150); Cr (200); Hg (1,0); Ni (70,0), e Se (80 mg kg⁻¹ de lodo -base seca). A Norma CONAMA inclui os metais Ba (1300); Cu (1500); Mo (50) e Zn (2800 mg kg⁻¹ de lodo - base seca).

A maioria dos lodos produzidos no Brasil, não se enquadra nestes critérios, necessitando de medidas que inclui a separação do esgoto doméstico e industrial como forma de redução dos teores de metais pesados, além de processos de pós-tratamentos como a compostagem ou secagem térmica para redução de patógenos, de modo que possam ser utilizados com segurança em solos agrícolas.

Existe ainda potencial para uso de esterco e cama de frango como fonte de nutrientes em cana-de-açúcar. A compostagem desses materiais juntamente com a torta de filtro, pode elevar a qualidade aumentando a composição de alguns nutrientes. Alguns resíduos orgânicos como os esterco de galinha, suíno e bovino e as tortas de mamona, de côco e de linhaça também apresentam altas concentrações de potássio, porém são pouco utilizados nas lavouras comerciais (Tabela 56).

Tabela 56. Composição de diversos adubos orgânicos. Fonte: Matos (2005).

Tipo	N	P₂O₅	K₂O	Umidade
	----- % -----			
Esterco bovino	3,1	1,8	2,1	65,3
Esterco eqüino	1,8	1,0	1,4	70,5
Esteco ovinos	2,8	1,7	2,0	65,4
Esterco suínos	3,2	2,4	2,7	78,0
Esterco de galinha	4,0	4,7	2,0	55,3
Bagaço de cana-de-açúcar	1,1	0,2	0,9	--
Torta de mamona	5,4	1,9	1,5	--
Torta de filtro	1,2	2,2	0,5	72
Composto de lixo urbano	3,4	1,2	0,3	--
Vinhaça de mosto misto	0,5	0,2	3,1	--
Palha de trigo	0,5	0,2	0,9	--
Palha de milho	0,7	0,4	0,8	--
Palha de aveia	0,5	0,2	1,1	--

1.8.9 Potencial de reciclagem de nutrientes

O potencial de reciclagem de nutrientes dos resíduos foi simulado na Tabela 57, supondo as seguintes premissas:

a) área de produção no Brasil de 8,2 milhões de hectares e 648.848.000 toneladas de cana, sendo 571.371,000 t processadas na safra e 325.334.000 t processadas para etanol e 246 037.000 t processadas para produção de açúcar (Fonte: ICONE).

b) supondo a produção de 35kg torta por tonelada de cana moída; torta com 70% de umidade e mineralização de 50% ao ano do N e do P₂O₅ e 70% do K₂O.

c) geração de 5 t/ha de palhada seca, considerando toda a área de cana do Brasil, como não queimada, com mineralização de 10% do N; 30% do P₂O₅ e 70% do K₂O.

d) produção de etanol de 29 bilhões de L; geração de vinhaça de 12L/ L de etanol produzido.

Com essas suposições e tomando os dados da literatura para os teores de N, P e K nos resíduos, têm-se os resultados descritos na Tabela 57. Cerca de 200 mil toneladas de N, 98 mil toneladas de P₂O₅ e 1,003 milhão de toneladas de K₂O podem ser reciclados anualmente.

Comparando-se esses resultados com as estimativas de N, P₂O₅ e K₂O utilizados para a cana-de-açúcar anualmente no Brasil, 235, 274, 713 mil ton de N, P₂O₅ e K₂O, verifica-se que: (1) as quantidades requeridas de fertilizantes seriam muito maiores se não houvesse a reciclagem através do uso dos resíduos; (2) aumentando o potencial de reciclagem e a mineralização dos nutrientes da palhada e da torta de filtro, que é baixo nas condições da aplicação direta no solo, o potencial de reciclagem promovido pelo uso de resíduos poderia ser aumentado e portanto, o requerimento de fertilizantes diminuído; (3) quanto ao potássio, a reciclagem através da vinhaça acrescenta quantidades maiores que as quantias utilizadas como fertilizante potássico. Porém sua distribuição é muito concentrada

em solos próximos da usina, adicionando em excesso o K nessas áreas enquanto que outras, mais distantes, a quantidade aplicada pode estar sendo subestimada. O ideal seria aplicar a vinhaça em toda a área de cultivo de cana, porém é ainda anti-econômico. Em geral as usinas aplicam a vinhaça em cerca de 40% da área de soqueiras. Com novas tecnologias de concentração da vinhaça e redução de volume aliadas à normativa Cetesb existente no Estado de São Paulo, aplicações de vinhaça em áreas mais distantes da usina poderão se tornar viáveis do ponto de vista econômico nos próximos anos. A melhor distribuição da vinhaça deverá significar menor requerimento de fertilizante mineral potássico pelo setor.

Tabela 57. Potencial para reciclagem de nutrientes dos resíduos da cadeia sucroalcooleira.

Resíduos	Nutrientes			Volume de Resíduos	Nutrientes retornados (t/ano)		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
- % no resíduo seco -							
Torta de filtro	1,4	1,94	0,39	6,8 milhões t torta seca/ano	47.690	64.723	14.306
Palha	0,46	0,11	0,57	40,9 milhões t palha seca/ano	20.499	12.300	163.990
--- g/m ³ vinhaça---							
Vinhaça	375	60	2035	351,4 bilhões L/ano	131.760	21.082	825.696
Total					199.949	98.105	1.003.992

Acompanhando o aumento de área, de produção e produtividade previstos pelo ICONE para o cenário base (cenário 1) e cenário otimista (cenário 2), teremos um cenário de aumento de resíduos de acordo com a Tabela 58. Verifica-se que até 2022 a quantidade de torta de filtro deve praticamente dobrar em relação ao obtido em 2008, no cenário otimista e quase atinge o dobro no cenário base. Já para a vinhaça, a estimativa é de que próximo a 2020 o volume de vinhaça deve ser poderá ser duplicado em relação ao momento atual se a tecnologia de produção do etanol se mantiver a mesma.

A Figura 31, Figura 32 e Figura 33 apresentam o crescimento esperado na geração desses resíduos.

Tabela 58. Quantidades de torta de filtro, palha e vinhaça estimadas para os cenários 1 e 2.

		2008	2013	2018	2022
		-----1000 t-----			
torta de filtro	cenário 1	6.813	7.555	9.058	10.175
torta de filtro	cenário 2	6.813	7.598	10.014	11.371
Palha	cenário 1	40.997	43.840	49.465	52.627
Palha	cenário 2	40.997	44.089	54.207	57.790
		----- bilhões L -----			
Vinhaça	cenário 1	351,36	443,60	560,85	645,37
Vinhaça	cenário 2	351,36	448,06	653,25	760,16

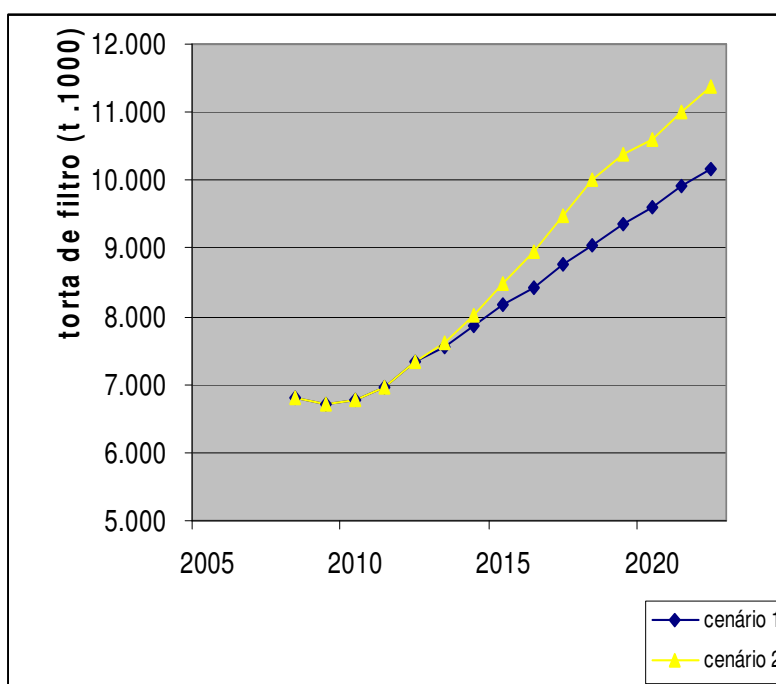


Figura 31. Aumento da geração de torta de filtro de acordo com cenário 1 (cenário base) e 2 (cenário otimista).

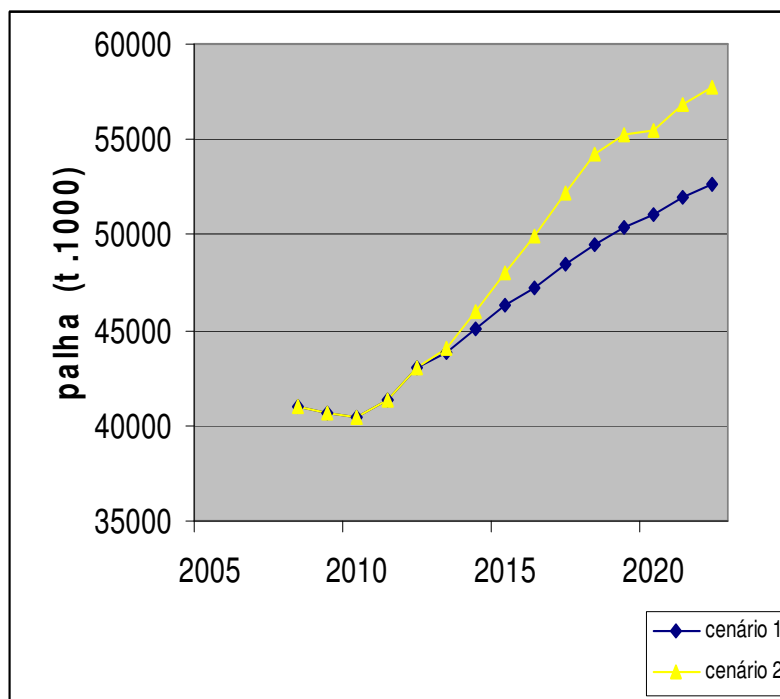


Figura 32. Aumento da geração de palha de acordo com cenário 1 (cenário base) e 2 (cenário otimista).

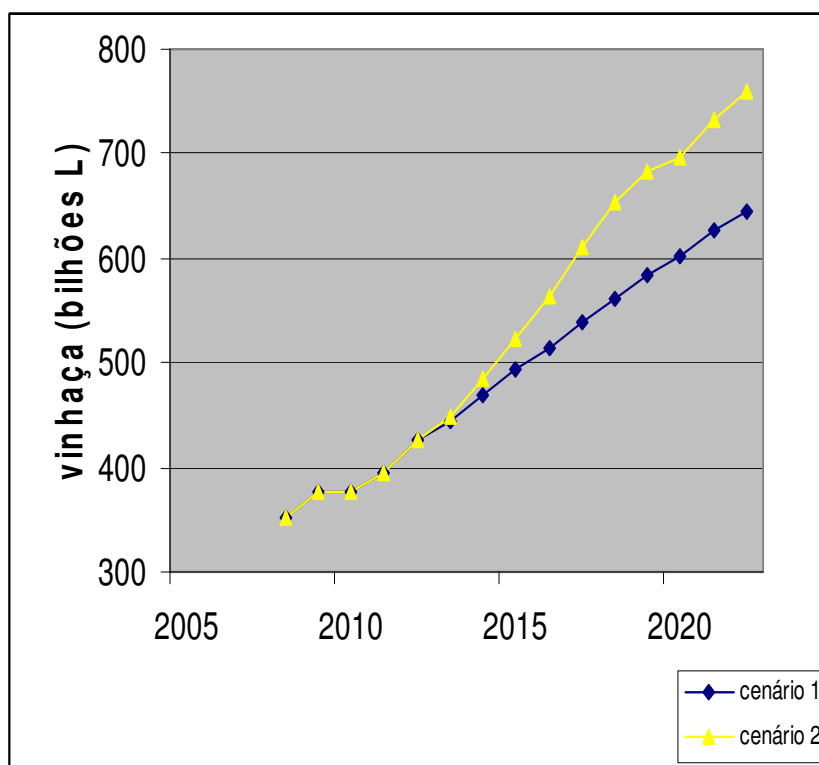


Figura 33. Aumento da geração de vinhaça de acordo com cenário 1 e cenário 2.

Caso algumas tecnologias como a produção de etanol gerando menos vinhaça se concretizem em larga escala, poderíamos ter um cenário como o descrito na Tabela 59, estimando que para cada litro de etanol produzido geraríamos cerca de 8L de

vinhaça por litro de etanol até 2013, 6,5 L de vinhaça por litro de etanol em 2018 e 5L de vinhaça por litro de etanol em 2022. Para o etanol de segunda geração é esperado um volume muito maior de vinhaça, porém em função do desenvolvimento da tecnologia as estimativas seriam ainda especulativas. O volume de vinhaça reduzido significa que a vinhaça tem menor quantidade de água e que esta é, portanto, mais concentrada nos nutrientes. Por essa razão, a estimativa em função das quantidades de nutrientes recicladas permanece inalterada.

Tabela 59. Quantidades de vinhaça estimadas para os cenários 1 e 2, considerando reduções na produção de vinhaça.

		2008	2013	2018	2022
----- bilhões L -----					
vinhaça	cenário 1	351,36	295,73	303,79	268,90
vinhaça	cenário 2	351,36	298,71	382,15	316,73

1.8.10 Cenários para o potencial de nutrientes reciclados pelos resíduos da cadeia sucroalcooleira

Considerando o potencial de aumento de nutrientes reciclados gerados em função do aumento de massa de resíduos de acordo com os cenários base e otimista, tem-se o demonstrado na Figura 34, Figura 35 e Figura 36. Verifica-se que a vinhaça é o resíduo que recicla a maior quantidade de nutrientes disponíveis.

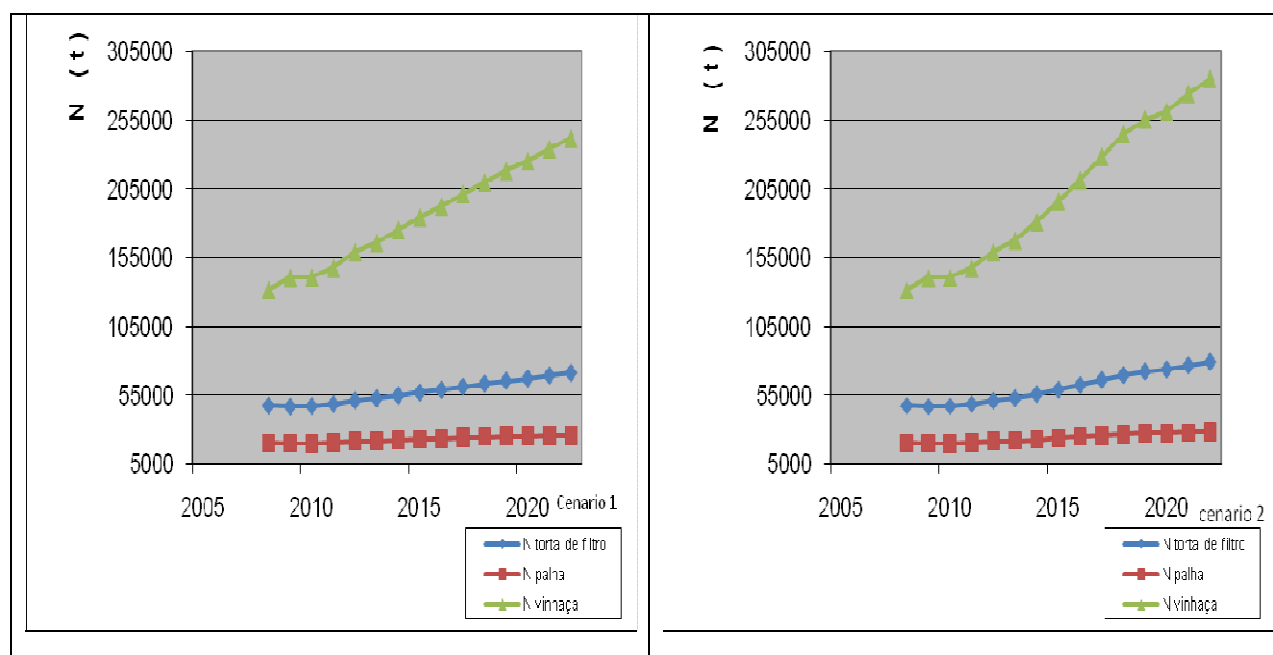


Figura 34. Nitrogênio fornecido pelos resíduos no cenários 1(cenário base) e 2 (cenário otimista).

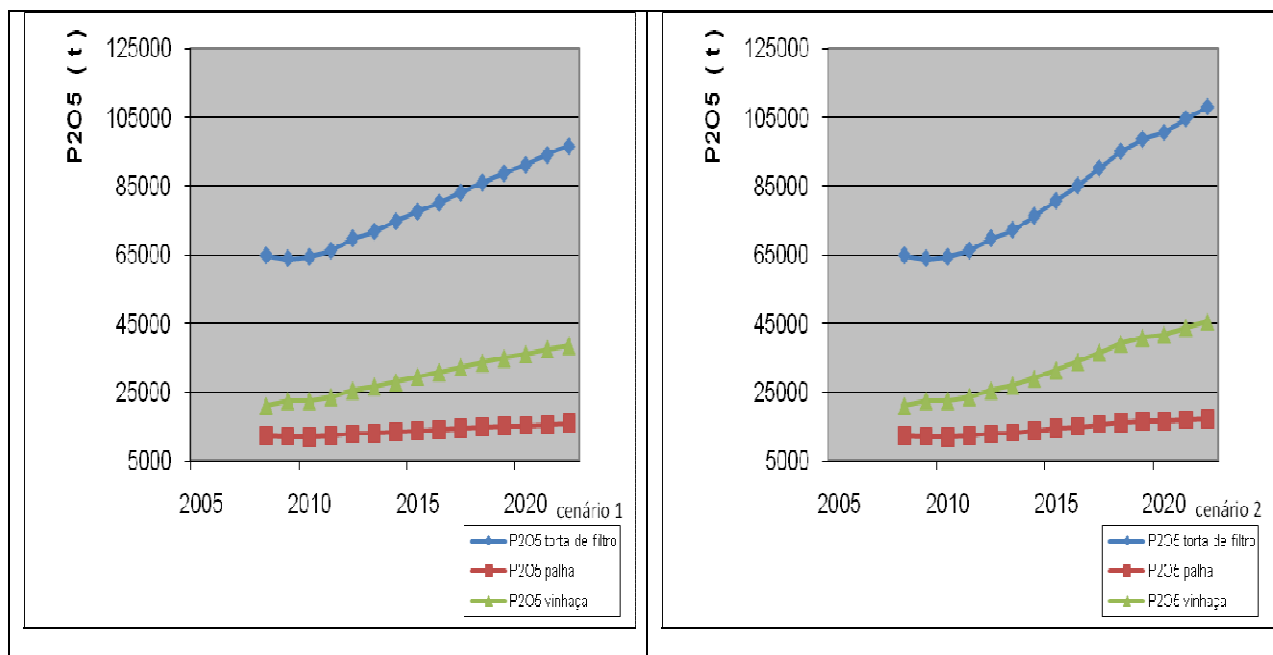


Figura 35. Fósforo fornecido pelos resíduos nos cenários 1 (cenário base) e 2 (cenário otimista).

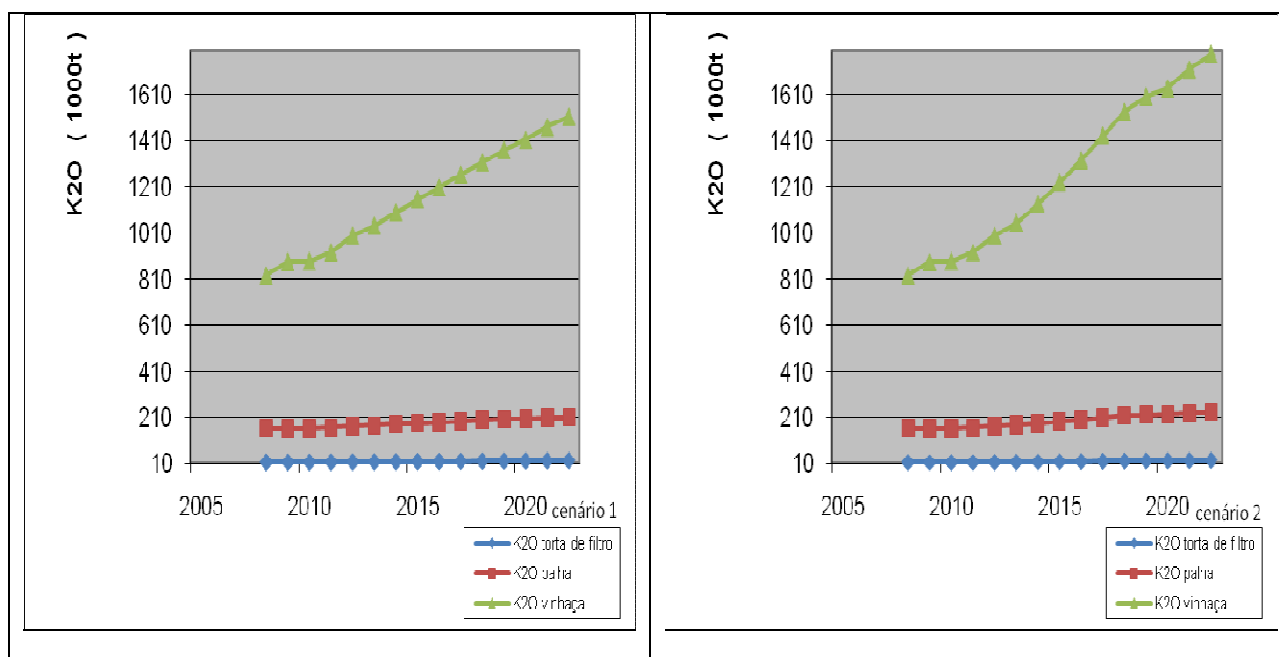


Figura 36. Potássio fornecido pelos resíduos no cenários 1(cenário base) e 2 (cenário otimista).

A Tabela 60 apresenta o aumento de massa de nutrientes N, P2O5 e K2O representados pelos resíduos de acordo com os cenários base e otimista.

A quantidade de N disponível deverá dobrar no cenário otimista até 2022. Quanto ao fósforo, espera-se aumento de cerca de 60% até essa data. Para o potássio, a quantidade reciclada atualmente poderá estar duplicada em 2020.

Tabela 60. Massa de nutrientes produzidas ao longo dos anos nos cenários 1 (cenário base) e 2 (cenário otimista).

	2008	2013	2018	2022
----- t -----				
cenário 1				
N	199.949	241.153	298.460	339.551
P ₂ O ₅	98.103	111.543	134.544	151.173
K ₂ O	1.003.994	1.233.661	1.534.884	1.748.489
cenário 2				
N	199.949	243.256	342.169	393.555
P ₂ O ₅	98.103	112.296	150.588	170.975
K ₂ O	1.003.994	1.245.251	1.772.995	2.041.415

A Figura 37 compara as quantidades totais de N, P₂O₅ e K₂O recicladas pelos resíduos ao longo dos anos considerando os dois cenários propostos.

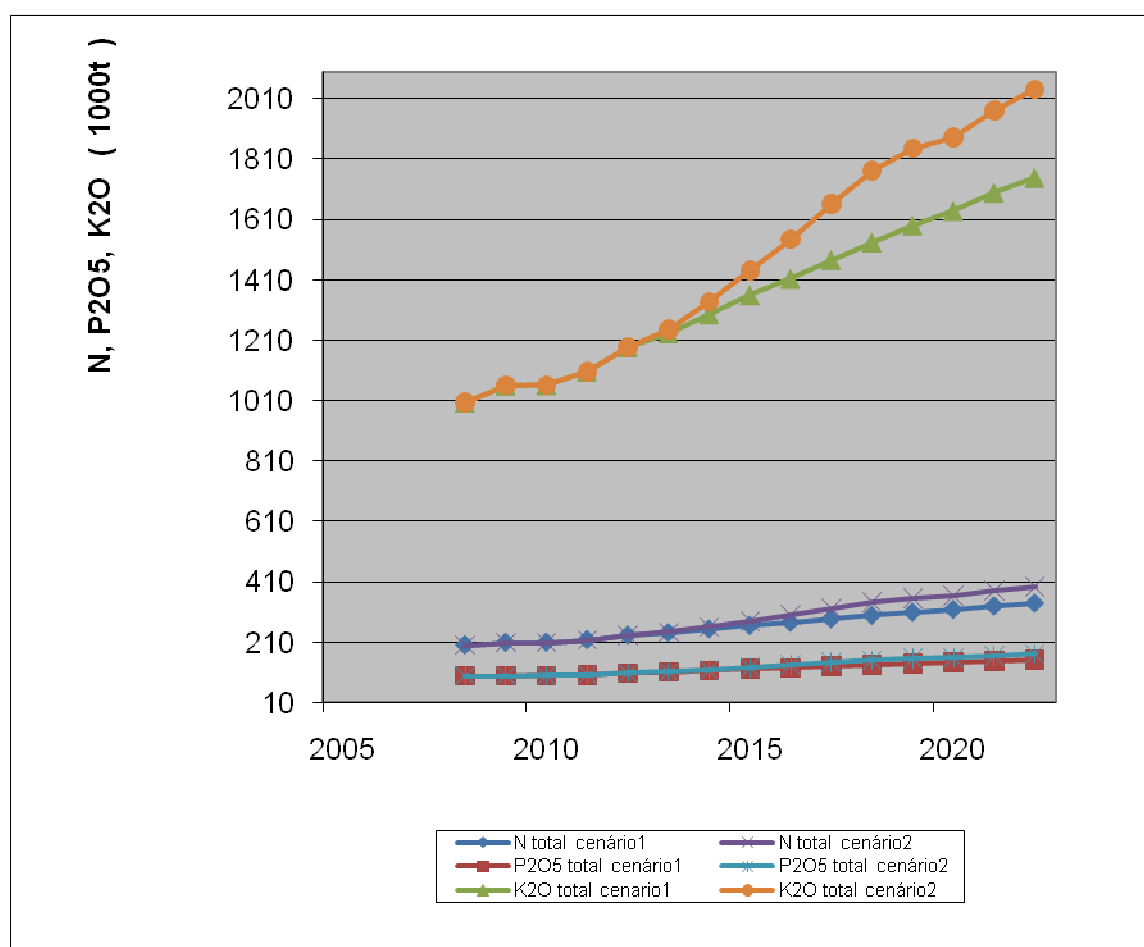


Figura 37. Quantidades de nutrientes reciclados pelos resíduos ao longo dos anos no cenário 1 (cenário base) e 2 (cenário otimista).

1.8.11 Considerações finais sobre reciclagem de nutrientes pelos resíduos

O uso de resíduos tanto da agroindústria canavieira como outros resíduos orgânicos e industriais, é preponderante para a sustentabilidade do setor canavieiro, principalmente quando se considera o cultivo em solos intemperizados e com baixos teores de matéria orgânica, como ocorre em muitos solos brasileiros onde a cultura da cana se instala. O uso desses materiais pode aumentar a produtividade e melhorar os ambientes de produção da cana-de-açúcar, permitindo que solos marginais possam ser economicamente viáveis para a produção da cana. Contudo, as normas agrícolas e ambientais devem ser obedecidas e revisadas periodicamente em função de novos estudos científicos. O uso de resíduos implica em monitoramento constante do sistema solo-água-planta em função de alguns fatores como: mudança na sua composição ao longo do tempo (sazonalidade); instabilidade da carga orgânica em solos sob condições tropicais; presença de contaminantes e composição nutricional desbalanceada.

OE2. Análise das trajetórias sócio-econômico-ambientais da produção de etanol de cana-de-açúcar

A OE2 está composta de quatro capítulos. Os quatro capítulos desta parte do relatório buscam explorar ferramentas analíticas que nos possibilitem descrever de uma maneira bastante ampla o sistema produtivo do etanol baseado na cana-de-açúcar, no intuito de extrair instrumentos de medição da sustentabilidade sócio-econômica e ambiental dessa atividade produtiva. O primeiro capítulo consiste em uma análise do sistema de produção da agro-indústria sucroalcooleira e de suas inter-relações com o sistema econômico e social brasileiro por meio da matriz insumo-produto. Por objetivar descrever a trajetória da produção de etanol, esse capítulo compara os dados de 1975 com os de 2005. O segundo capítulo faz uma análise sobre as inter-relações entre a cultura da cana-de-açúcar e as demais culturas adotando como unidade espacial de análise o Estado de São Paulo, onde se concentra a produção de cana-de-açúcar no país. O recorte temporal adotado foi de 1996 a 2006. O terceiro capítulo faz uma descrição do processo produtivo de uma usina de açúcar e etanol com o intuito de realizar um balanço energético da produção de etanol e dos demais produtos. O quarto capítulo complementa os demais trazendo um conjunto de indicadores tecnológicos, sociais e ambientais da produção de etanol a partir da cana. Esse capítulo se encerra com uma síntese dos indicadores levantados e apresentados ao longo da OE2.

2.1 Estudo dos sistemas de produção associados à cana¹⁵

Nessa parte do estudo propõe-se fazer uma análise da trajetória social, econômica e ambiental da produção de etanol e cana-de-açúcar no Brasil. O trabalho está sendo feito comparando-se a o desempenho do setor no ano de 2005 com o ano de 1975, quando foi criado o Proálcool. A análise permite mensurar alguns indicadores econômicos, sociais e ambientais da produção e uso do bioetanol no Brasil nesses dois períodos.

A abordagem feita possibilita analisar quais são os desdobramentos da agroindústria canavieira integrados em toda a cadeia produtiva da economia brasileira, com o intuito de mensurar os efeitos a montante e jusante dos setores produtores de etanol e cana no país. Nesse sentido, o trabalho é fundamentado dentro de um arcabouço sistêmico que permite essa análise, e para tal, é feita uma análise de insumo-produto baseada nos retratos econômicos do país em 1975 e em 2005. Nesse item, o trabalho consiste em comparar alguns indicadores dos setores nos anos de 2005 e de 1975, quando foi criado o Proálcool.

Nos itens adiante, o estudo se complementarará com uma análise em termos dos impactos sócio-ambientais da cultura da cana-de-açúcar sobre o sistema agrícola brasileiro e sobre o meio ambiente nas principais nas regiões produtoras. Os aspectos abordados serão a expansão das terras agrícolas, a substituição entre culturas, a monocultura, concentração fundiária e os impactos ambientais em termos de demanda de água e de produção de efluentes.

A quantificação dos impactos e indicadores será feita em relação às seguintes variáveis:

¹⁵ Pesquisadores responsáveis: André Tosi Furtado (NIPE/UNICAMP) e Marcelo Pereira da Cunha (NIPE/UNICAMP).

- Nível da atividade setorial;
- Produto Interno Bruto;
- Empregos gerados e remuneração média;
- Energia primária incorporada, participação da energia renovável e emissões de CO₂ associadas aos combustíveis fósseis;
- Demanda de Terras
- Deslocamento de Culturas
- Estrutura fundiária
- Aumento da sazonalidade do trabalho
- Produção e Uso de Resíduos e Efluentes
- Consumo de Água na Fase Agrícola e Industrial

2.1.1 Metodologia – análise de insumo-produto¹⁶

A extração de recursos naturais, entre eles a energia primária, pode ser tomada como externa à cadeia produtiva, cruzando a sua fronteira para a produção dos bens e serviços, e saindo da cadeia produtiva incorporada nos bens e serviços a serem consumidos na demanda final, como ilustra a Figura 38.

Há diversos autores que buscaram desenvolver métodos para avaliar a energia incorporada nos produtos produzidos por um sistema econômico. Entre eles, podem ser citados os trabalhos advindos do uso metodologia de insumo-produto proposta por Wassily Leontief em 1939 (Miller & Blair, 1985). No modelo de insumo-produto, é possível avaliar a quantidade de energia primária incorporada na demanda final por um determinado setor considerando-se não somente o uso direto de energia para sua produção, mas também os usos indiretos advindos do uso direto de energia empregados nos insumos usados pelo setor original.

¹⁶ Baseado em Cunha e Pereira, 2008

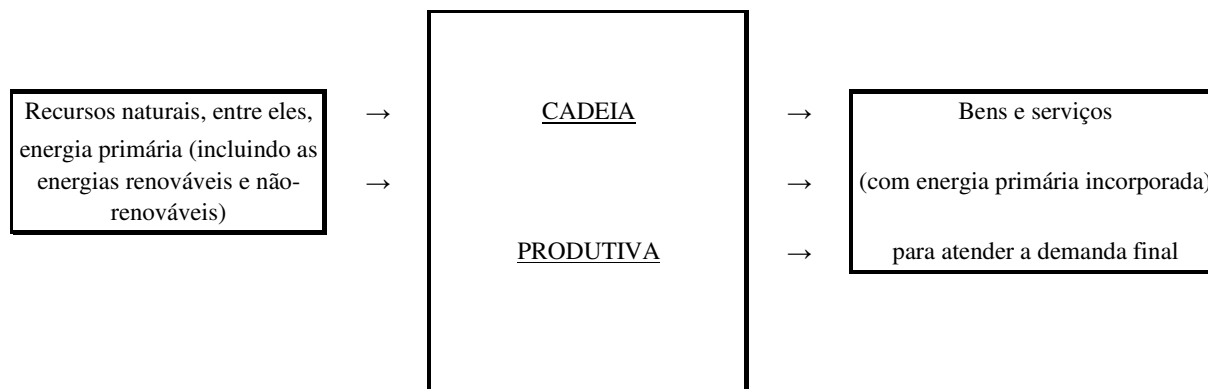


Figura 38: Fluxos através da fronteira da cadeia produtiva

Esse trabalho contempla a avaliação da energia primária incorporada na produção de cana e etanol através de indicadores que mensuram as energias primárias renováveis e não-renováveis usadas em toda a cadeia produtiva, ou seja, considerando-se os efeitos diretos e indiretos. A metodologia empregada faz uso do modelo de insumo-produto, que é descrito a seguir.

O modelo de insumo-produto foi formulado por Wassily Leontief na década de 1930, com o objetivo de descrever o fluxo monetário entre os setores produtivos em uma economia. A sua primeira aplicação foi realizada para descrever as relações inter-setoriais na economia norte-americana no ano de 1919 e, posteriormente, em 1929. Desde então, o modelo têm sido usado em diversos trabalhos em economia aplicada, incluindo estudos em economia regional, aplicações em estudos energéticos e ecológicos. Por seus trabalhos na área de economia envolvendo a análise de insumo-produto, Leontief recebeu o prêmio Nobel de economia em 1973.

Uma forma didática de compreender o modelo pode ser feita enxergando-se a economia de um país agregada em alguns setores. Considere-se, então, o quadro apresentado na Tabela 61, que mostra as transações econômicas realizadas na economia brasileira, agregadas em 4 setores, para o ano de 2005¹⁷, onde os setores produtivos são identificados como: **S1**: Agropecuária; **S2**: Petróleo e gás; **S3**: Transformação; **S4**: Serviços.

¹⁷ As transações são estimativas realizadas pelo autor a partir dos dados das Contas Nacionais disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE - 2007) e pelo Balanço Energético Nacional (EPE – 2007)

Tabela 61: Tabela de transações para a economia brasileira em 2005

Brasil 2005 (R\$ bilhão)	S₁	S₂	S₃	S₄	Y	X
S₁ – Agropecuária	17,1 4	0,0 1	107, 73	3,21	66,3 8	194,4 8
S₂ – Petróleo e gás	0,03	2,1 7	58,4 7	0,10	10,4 2	71,20
S₃ – Transformação	45,5 0	12, 42	578, 12	198, 20	816, 37	1.650 ,63
S₄ – Serviços	15,0 5	20, 39	220, 86	375, 90	1.23 8,19	1.870 ,39
Importação	6,27	2,8 9	99,1 2	34,2 2	104, 85	
W (valor adicionado)	110, 49	33, 30	586, 31	1.25 8,75	158, 38	
X^T	194, 48	71, 20	1.6 50, 63	1.87 0,39		
E (10⁶ tep)	15,1 2	4,6 7	180, 29	12,1 5	40,4 8	

Completando-se a identificação das colunas na Tabela 61, **Y** corresponde à demanda final (formada pelo consumo das famílias, pelo consumo do governo, pelas exportações e pela formação bruta de capital – investimentos), e **X** às receitas de cada um dos setores. Em relação às linhas, na mesma tabela, **Import.** identifica as importações realizadas pelos setores (**S₁** a **S₄**) e pela demanda final (**Y**); **W** as despesas dos setores da economia e da demanda final no pagamento em impostos, remuneração dos fatores trabalho e capital; **X^T** as despesas totais na produção de cada setor e, finalmente, **E** corresponde à oferta total de energia¹⁸ empregada diretamente pelos setores da economia e pela demanda final.

A Tabela 61 pode ser vista como uma matriz de contabilidade dos setores econômicos. Por exemplo, ao examinar-se a coluna S₃ (Transformação), pode-se observar que, em 2005, este setor usou R\$ 107,73 bilhões de insumos do setor **S₁** (Agropecuária), e assim por diante, até chegar-se ao consumo de insumos do setor **S₄** no valor de R\$ 220,86 bilhões. Completando-se as despesas realizadas pelo setor **S₃**, devem-se somar as despesas com importações (R\$ 99,12 bilhões) e aquelas realizadas no pagamento de impostos e remuneração dos fatores trabalho e capital (R\$ 586,31 bilhões). Então, o total das despesas realizadas pelo setor **S₃**

¹⁸ A oferta total de energia corresponde à soma da produção de energia primária com as importações e variações de estoques das fontes de energia primária e secundária.

em 2005 foi de R\$ 1.650,63 bilhões, incluindo-se neste valor a remuneração sobre o fator capital.

Por outro lado, olhando-se a linha ocupada pelo setor **S3** na Tabela 61, observa-se que o setor **S1** consumiu R\$ 45,50 bilhões de insumos do setor **S3** (ou que o setor **S3** vendeu R\$ 45,50 bilhões em insumos para o consumo do setor **S1**), e assim sucessivamente, até o consumo de R\$ 198,20 bilhões pelo setor **S4**. Ainda na mesma linha, o setor **S3** forneceu R\$ 816,37 bilhões para atender à demanda final (**Y**). Então, os valores que constam na linha ocupada pelo setor **S3** são interpretados como as receitas deste setor em função das vendas realizadas para os outros setores produtivos (**S1** a **S4**) e para atender a demanda final (**Y**). A soma de todas as receitas do setor **S4** é igual a R\$ 1.650,63 bilhões, justamente o valor das despesas, sendo denominado de valor da produção do setor. O exame das despesas e receitas pode ser feito para todos os setores (**S1** a **S4**) na Tabela 61.

Na Tabela 61, vista como uma matriz, cada um de seus elementos será identificado, de forma genérica, por z_{ij} , sendo i a identificação da linha e j a identificação da coluna. Focando-se em um determinado setor, podem-se definir coeficientes técnicos diretos de produção relacionados aos valores necessários de insumos de outros setores para se produzir R\$ 1,00 daquele setor. Por exemplo, olhando-se novamente para a coluna ocupada pelo setor **S3**, se dividirmos os R\$ 220,86 bilhões de insumos (fornecidos pelo setor **S4**) pelo valor da produção do setor **S3** (R\$ 1.650,63 bilhões), encontramos o valor 0,134, significando que para produzir R\$ 1,00, o setor **S3** consome R\$ 0,134 do setor **S4**.

Este valor, 0,134, é o coeficiente técnico direto de produção do setor **S3** pelo setor **S4**, sendo identificado por a_{34} . De modo geral, o coeficiente técnico direto de produção a_{ij} , interpretado como os insumos fornecidos pelo setor i ao setor j para a produção de R\$ 1,00 do setor j , é definido por:

$$a_{ij} = \frac{z_{ij}}{X_j} \quad (1)$$

Na Tabela 61, pode-se calcular a matriz $A = [a_{ij}]$, a partir da equação (1), cujo resultado é apresentado a seguir:

$$A = \begin{bmatrix} 0,088 & 0,000 & 0,065 & 0,002 \\ 0,000 & 0,031 & 0,035 & 0,000 \\ 0,234 & 0,175 & 0,350 & 0,106 \\ 0,077 & 0,286 & 0,134 & 0,201 \end{bmatrix}$$

O equilíbrio econômico em cada setor produtivo é dado pela igualdade entre suas receitas e suas despesas. Para o setor **S3**, por exemplo, esta condição pode ser escrita como:

$$z_{31} + \dots + z_{34} + Y_3 = X_3 \Rightarrow \sum_{j=1}^4 z_{3j} + Y_3 = X_3$$

A condição acima pode ser generalizada para todos os setores, de tal modo que:

$$\sum_{i=1}^n z_{ij} + Y_j = X_j \quad (2)$$

para $1 \leq i \leq n$ e $1 \leq j \leq n$

sendo n o número de setores da economia

A partir da equação (1), obtém-se $z_{ij} = a_{ij} \cdot X_j$, que colocada na equação (2) torna-se:

$$\sum_{i=1}^n a_{ij} \cdot X_j + Y_j = X_j \quad (3)$$

O sistema de equações acima pode ser escrito na forma matricial como:

$$A \cdot X + Y = X \quad (4)$$

A equação matricial (4) pode ser resolvida para X (vetor com o valor da produção de cada um dos setores) em função de Y (vetor com o valor da demanda final de cada um dos setores), cujo resultado é:

$$X = (I - A)^{-1} \cdot Y \quad (5)$$

onde I é a matriz identidade de ordem n .

A equação (5) nos fornece qual o valor da produção de cada um dos setores para atender a demanda final por um ou mais setores, considerando que um setor usa insumos dos outros setores para sua produção, e esses setores usam também insumos de outros setores para atender a demanda por estes insumos, e assim sucessivamente. Este efeito de somar os insumos necessários de todos os setores para atender a demanda final é chamado de efeito indireto.

A partir da matriz $(I - A)^{-1}$ pode-se obter o valor da produção de todos os setores considerando a soma dos efeitos diretos e indiretos envolvidos em toda a cadeia produtiva para atender a uma determinada demanda final. No exemplo da Tabela 61, a partir da matriz A obtida, a matriz $(I - A)^{-1}$ é igual a:

$$(I - A)^{-1} = \begin{bmatrix} 1,129 & 0,027 & 0,119 & 0,018 \\ 0,016 & 1,045 & 0,060 & 0,008 \\ 0,442 & 0,362 & 1,648 & 0,220 \\ 0,189 & 0,438 & 0,309 & 1,293 \end{bmatrix}$$

Então, considere-se o exemplo de aumentar a demanda final (podendo ser o consumo das famílias) em R\$ 1 bilhão em produtos fornecidos pelo setor da transformação (setor **S3**). Para que sejam atendidos estes R\$ 1 bilhão, todos os setores econômicos da cadeia produtiva serão acionados, e o valor da produção

adicional de cada setor será dado pelo uso da equação (5), que neste caso torna-se:

$$\Delta X = \begin{bmatrix} 1,129 & 0,027 & 0,119 & 0,018 \\ 0,016 & 1,045 & 0,060 & 0,008 \\ 0,442 & 0,362 & 1,648 & 0,220 \\ 0,189 & 0,438 & 0,309 & 1,293 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,119 \\ 0,060 \\ 1,648 \\ 0,309 \end{bmatrix}$$

Deste modo, para que as famílias possam consumir mais R\$ 1 bilhão em produtos do setor da indústria da transformação, é necessária a produção adicional de R\$ 0,119 bilhão da agropecuária, e assim por diante, até chegarmos ao valor de R\$ 1,648 bilhão da indústria da transformação e R\$ 0,309 bilhão do setor de serviços. A soma dos valores das produções necessárias em cada setor totaliza R\$ 2,136 bilhões, ou seja, para que as famílias consumam mais R\$ 1 bilhão do setor da indústria da transformação, toda a economia precisa produzir mais R\$ 2,136 bilhões, devido aos efeitos diretos e indiretos envolvidos em toda a cadeia produtiva.

Assim, o uso da equação (5) é um instrumento valioso para se avaliar o impacto na produção de todos os setores econômicos em função do choque realizado para se atender à demanda final de um ou mais setores.

De posse dos impactos nos valores da produção de cada setor, é possível calcular, também, a energia primária consumida por eles. Assumindo-se novamente o conceito de coeficientes técnicos diretos, a partir da Tabela 61 pode-se calcular a quantidade de energia primária consumida para que um determinado setor produza R\$ 1 bilhão. Por exemplo, para o setor **S3**, se dividirmos $180,29 \cdot 10^6$ tep pelo valor da produção (R\$ 1.650,63 bilhões), teremos o consumo direto de $0,109 \cdot 10^6$ tep para cada R\$ 1 bilhão no valor da produção, que pode ser interpretado como um coeficiente técnico direto do consumo de energia primária para o setor **S3**. Pode-se, então, definir um vetor **e**, a partir do consumo de energia primária de cada setor e do respectivo valor da produção, do seguinte modo:

$$e = \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ e_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_1 / X_1 \\ E_2 / X_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ E_n / X_n \end{bmatrix} \quad (6)$$

O vetor **e**, no exemplo da Tabela 61, é igual a (os elementos do vetor e estão em 10^6 .tep/R\$ 1 bilhão):

$$e = \begin{bmatrix} 0,078 \\ 0,066 \\ 0,109 \\ 0,006 \end{bmatrix}$$

Voltando-se ao exemplo do impacto causado na produção setorial devido ao aumento de R\$ 1 bilhão na demanda final pelo setor **S3**, se multiplicarmos os coeficientes técnicos diretos de energia primária pelos respectivos aumentos das produções setoriais, teremos os aumentos do consumo de energia primária de cada um dos setores, considerando os efeitos diretos e indiretos em toda a cadeia produtiva. Neste exemplo, os impactos causados no aumento do consumo de energia primária em cada setor seriam dados pelo vetor ΔE (em 10^6 tep):

$$\Delta E = \begin{bmatrix} 0,078 \times 0,119 \\ 0,066 \times 0,060 \\ 0,109 \times 1,648 \\ 0,006 \times 0,309 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,009 \\ 0,004 \\ 0,180 \\ 0,002 \end{bmatrix}$$

Então, o setor **S1** teria um acréscimo de $0,009 \cdot 10^6$ tep no consumo de energia primária, e assim sucessivamente, até um acréscimo de $0,002 \cdot 10^6$ tep no setor **S4**. Somando-se os acréscimos do consumo de energia primária em cada um dos quatro setores, o acréscimo total é de $0,195 \cdot 10^6$ tep. Portanto, o setor **S3** usa diretamente $0,109 \cdot 10^6$ tep para cada R\$ 1 bilhão em sua produção, mas possui $0,195 \cdot 10^6$ tep de energia primária incorporada para cada R\$ 1 bilhão disponíveis na demanda final (um valor 79% maior), devido aos efeitos diretos e indiretos envolvidos em toda a cadeia produtiva da economia.

Usando-se a metodologia apresentada, as informações das transações setoriais para a economia brasileira disponibilizada pelo IBGE e as informações da oferta total de energia (Balanço Energético Nacional), será realizado o cálculo da energia incorporada nos setores na demanda final, desagregando-se, ainda, a energia primária renovável da não-renovável.

2.1.2 Resultados

Usando-se a análise de insumo-produto apresentada no item anterior, são apresentados, a seguir, alguns indicadores socioeconômicos e do uso de energia para a produção de cana-de-açúcar, etanol e gasolina, nos anos de 1975 e 2005; são eles:

- Multiplicador produção;
- Valor adicionado (PIB);
- Empregos gerados;
- Renda média por trabalhador ao ano;
- Energia primária fóssil incorporada;

- Energia primária renovável incorporada;
- Emissões de CO₂ devido à queima de combustíveis fósseis;

A base de dados usada consiste nas matrizes de insumo-produto e no Balanço Energético Nacional referentes a esses dois períodos de análise. Os indicadores quantificados são calculados por quantidade produzida: no caso da cana, por milhão de toneladas (Mt); para o etanol e a gasolina, por quatrilhão de joule (PJ)¹⁹.

O multiplicador de produção (M.P.) é a relação do valor da produção necessária de todos os setores da economia para a produção de uma unidade monetária de algum produto da economia; por exemplo, em 2005, para a produção de R\$ 1 milhão de cana-de-açúcar, o valor da produção de todos os setores da economia é de R\$ 1,94 milhão; assim, o multiplicador de produção da cana em 2005 é 1,94.

A Tabela 62 apresenta o resumo dos indicadores socioeconômicos.

Tabela 62: Resumo dos indicadores socioeconômicos

Setor/ano	Indicador			
	M.P.	PIB* (R\$ milhão)	Empregos	Remuneração* (R\$/mês)
Cana 1975	1,50	62,9	4.788	489,94
Cana 2005	1,94	27,2	1.819	575,13
Álcool 1975	2,17	57,6	2.429	529,18
Álcool 2005	2,02	31,4	1.122	760,20
Gasolina 1975	1,36	17,0	113	1.757,35
Gasolina 2005	2,28	21,1	335	1.489,87

* Obs.: os valores em R\$ se referem ao ano de 2005

Em relação aos multiplicadores de produção, observa-se que os valores de 2005 são maiores que 1975, exceto para o álcool, onde houve pequena redução. Um valor mais elevado para o multiplicador de produção de um setor significa que ele aciona de modo mais intenso a cadeia produtiva. Para a cana-de-açúcar, o aumento observado de 1975 para 2005 pode ser explicado pelos avanços tecnológicos no setor, em particular, o que inclui o advento da mecanização. Para a produção de gasolina, o aumento significativo é explicado pelo aumento expressivo da produção doméstica de petróleo que ocorreu nas últimas três décadas.

Em relação ao PIB, observa-se que para a produção de cana e de álcool os valores são maiores em 1975; o ganho de competitividade e a redução de preços desses dois produtos explicam esse efeito. Em relação aos empregos desses dois setores, também em função dos aspectos tecnológicos, observa-se uma redução acentuada de 1975 para 2005, porém, acompanhada com um aumento da remuneração dos trabalhadores.

¹⁹ 1 PJ = 10¹⁵J = 23,9 ktep

Em termos da comparação dos produtos energéticos álcool e gasolina, as diferenças são extremamente significativas. Para a oferta de 1PJ, em 2005, são gerados 1.122 empregos com o álcool, e 335 com a gasolina; o impacto no PIB é de R\$ 31,4 milhões com o álcool, e R\$ 21,1 milhões com a gasolina. Entretanto, nota-se a diferença considerável na remuneração média dos trabalhadores, 96% superior no caso da produção de gasolina.

A Tabela 63 exibe a participação do efeito indireto na cadeia produtiva para os resultados que são mostrados na Tabela 62.

Tabela 63: Participação do efeito indireto

Setor/ano	Participação efeito indireto		
	M.P.	PIB	Emprego
Cana 1975	12,1%	9,7%	3,6%
Cana 2005	25,8%	24,9%	10,4%
Álcool 1975	28,0%	35,0%	55,4%
Álcool 2005	24,5%	21,9%	21,8%
Gasolina 1975	7,8%	12,3%	40,3%
Gasolina 2005	25,9%	39,7%	75,6%

O aumento da influência do efeito indireto é notável para as três variáveis na produção de cana de 1975 para 2005, já explicada pela evolução tecnológica ocorrida no setor. Na produção de etanol, a redução do efeito indireto é explicada pelo fato do setor produtor de açúcar ter uma importância relativa maior como fornecedor de melão em 1975. Na produção de gasolina, o aumento do efeito indireto observado em 2005 é justificado pelo aumento expressivo da oferta de petróleo doméstico nesse período, como mencionado anteriormente.

A Tabela 64 apresenta o resumo dos impactos relativos à energia primária incorporada, bem como às emissões de CO₂ devido à queima de combustíveis fósseis.

Tabela 64: Impactos na energia primária e emissões de CO₂

Setor/ano	Energia incorporada (PJ)	Participação renovável	Emissão de CO ₂ (Gg)
Cana 1975	2,81	9,8%	8,0
Cana 2005	5,13	14,2%	9,6
Álcool 1975	2,07	94,0%	14,7
Álcool 2005	2,06	94,7%	6,3
Gasolina 1975	1,88	0,4%	81,0
Gasolina 2005	1,33	1,8%	87,4

Entende-se por energia incorporada à quantidade total de energia usada pelo sistema econômico para dispor uma certa quantidade de um bem ou serviço para consumo. Essa quantidade total de energia é a soma de toda a energia primária com a energia secundária importada para produzir aquele bem ou serviço.

Na produção de 1 Mt cana, observa-se um aumento da energia incorporada de 1975 para 2005, explicada pelo aumento da mecanização no setor, implicando no aumento consumo de óleo diesel.

Na comparação dos números relativos à produção de álcool praticamente não se nota diferença. Em 2005, em 1 PJ de etanol, está incorporado 2,07 PJ. Como a participação de energia renovável é 94,7%, isso implica que para dispor de 1PJ de etanol como energia líquida, o sistema econômico usou 0,11 PJ de energia fóssil; desse modo, a relação energia líquida/energia fóssil consumida é 9,11. Entenda-se que essa energia fóssil é, essencialmente, energia primária. No caso da gasolina, em 2005, essa relação é 0,76.

Em relação às emissões de CO₂ devido à queima de combustíveis fósseis, a produção de cada milhão de toneladas de cana geram 9,6 Gg em 2005, valor 20% superior ao estimado em 1975. Para o etanol, em 2005, são gerados 6,3 Gg para cada PJ consumido, valor 57% inferior ao estimado em 1975, explicado, principalmente, pelo aumento do uso do bagaço de cana para gerar vapor nas usinas e destilarias. A redução de emissões de CO₂ (devido à queima de combustíveis fósseis) em 2005, comparando-se a queima de 1 PJ de etanol substituindo 1 PJ de gasolina, seriam de 92,8%.

É importante salientar que todos os indicadores estimados nessa seção foram quantificados usando-se um modelo de insumo-produto, cujos coeficientes técnicos são calculados a partir de transações mensuradas em valores monetários; desse modo, distorções referentes às mudanças de preços relativos entre 1975 e 2005 podem ocorrer nesse tipo de análise, particularmente, àquelas mudanças de preços entre gasolina, etanol combustível e óleo diesel. Nesse sentido, é desejável realizar uma nova estimativa dos indicadores apresentados usando-se um modelo híbrido de insumo-produto, que consiste no uso de transações mensuradas em unidades energéticas para os setores energéticos.

2.2 Exame da integração da expansão em grande escala da produção e uso do bioetanol com a produção de alimentos (açúcar, grãos), e com a atividade pecuária (carne)

2.2.1 Expansão da produção de cana-de-açúcar²⁰

A expansão em grande escala da produção de cana-de-açúcar, nos últimos decênios, ocorreu principalmente no Estado de São Paulo. Esse Estado é conseqüentemente um excelente local para se estudar a dinâmica espacial da cultura de cana-de-açúcar. Nesse Estado se concentra aproximadamente 55% da área plantada com essa cultura no país apesar de ocupar apenas 3% do território nacional.

Dados levantados pelo IBGE até 2007 fornecem uma radiografia bastante precisa da dinâmica espacial da cana-de-açúcar. A expansão recente da área plantada com cana foi particularmente impressionante durante a última década. A Tabela 65 apresenta a evolução da produção da área plantada com cana e da sua produção para o Estado de São Paulo e o Brasil.

²⁰ Pesquisador responsável: André Tosi Furtado (NIPE/UNICAMP)

Tabela 65: Evolução da Área Plantada e da Produção de Cana-de-Açúcar de 2000 a 2007

	Brasil		São Paulo	
	2000	2007	2000	2007
Área Plantada (em hectares)	4.879.841	7.086.851	2.484.790	3.890.414
Percentual da Área Plantada com Lavouras Temporárias (em %)	10,71	12,68	52,69	66,61
Quantidade Produzida (em mil Toneladas)	326.121.011	549.707.314	189.040.000	329.095.578

Fonte: Pesquisa Agrícola Municipal, IBGE

Os dados da Tabela 65 nos mostram que a expansão da cana-de-açúcar ocorre de forma extremamente concentrada geograficamente. Embora essa cultura represente apenas 12,7% da área plantada com culturas temporárias no país, em 2007, essa proporção sobe para 66,6% no Estado de São Paulo.

Essa evolução é ainda expressiva mais quando se desce para o nível das micro-regiões do Estado de São Paulo. Algumas micro-regiões concentram parcela significativa da expansão da expansão conforme pode ser visto na Figura 39.

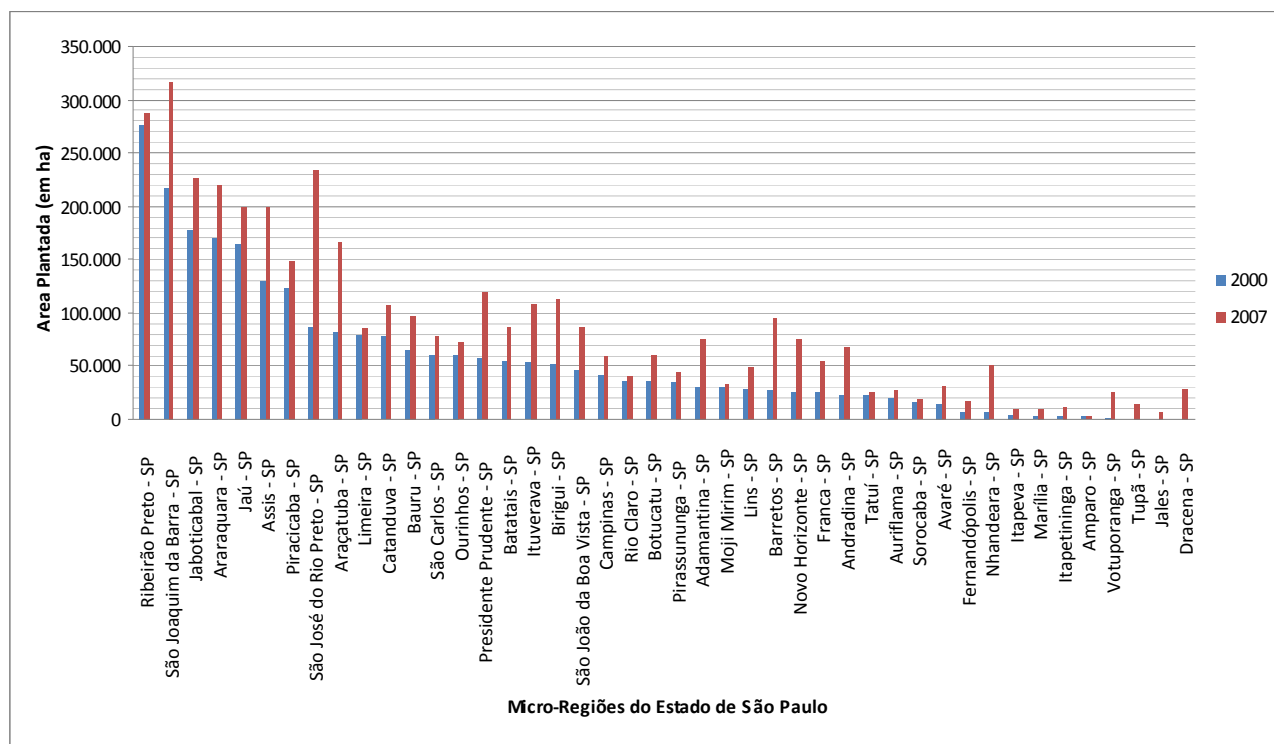


Figura 39: Evolução da Área Plantada nas Principais Micro-Regiões do Estado de São Paulo de 2000 a 2007

Fonte: IBGE

Durante a última década, a Micro-região de Ribeirão Preto perdeu sua supremacia para a de São Joaquim da Barra. Outras micro-regiões localizadas no Oeste paulista absorveram grande parte da expansão da cultura da cana tais como São José do Rio Preto, Jaboticabal, Araraquara, Jaú, Assis e Araçatuba, para destacar as mais importantes.

Nessas regiões a ocupação da área plantada com cana chega a ser praticamente exclusiva. No entanto, como demonstra a Figura 40, a proporção da área utilizada por culturas temporárias é elevada em quase todas as micro-regiões onde há expressiva presença da cultura de cana no estado de São de Paulo. São poucas as micro-regiões onde essa proporção é inferior a 50%.

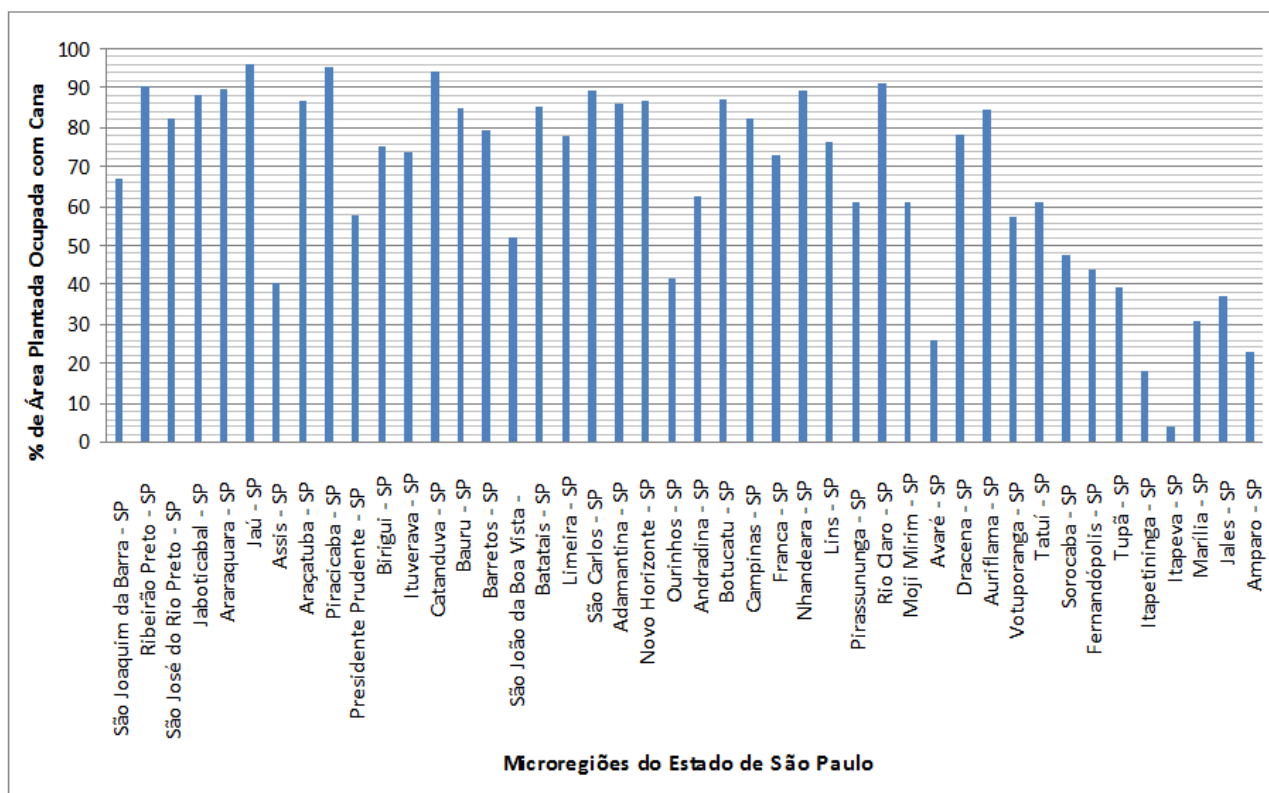


Figura 40: Proporção da Área Plantada com Culturas Temporárias Ocupadas com Cana em 2007

Fonte: IBGE

Essa visão pode ser parcial, uma vez que apenas uma parcela das terras pertencentes a propriedades agrícolas no país é efetivamente ocupada por culturas temporárias, até mesmo no Estado de São Paulo como pode ser comprovado na Tabela 66. A área ocupada com a lavoura de cana representa apenas 1,8% da área total dos estabelecimentos agrícolas no Brasil. Mesmo no Estado de São Paulo, onde a monocultura da cana impera, essa proporção chega apenas a 18,17% em 2006.

Tabela 66: Área dos Estabelecimentos Agropecuários em 2006 (em mil hectares)(1)

	Área Plantada Cana (2)	Lavouras Temporárias	Lavouras Permanentes	Pastagens	Matas e Florestas	Total	% do Total com Cana
Brasil	6.390	57.891	18.805	172.333	99.887	354.865	1,80
São Paulo	3.436	5.279	2.176	8.594	2.321	19.242	18,17

Fonte: IBGE

(1): Censo Agropecuário de 2006; (2): Pesquisa Agrícola Municipal de 2006.

Uma análise mais detalhada da área total dos estabelecimentos agrícolas em 2006 revela que a ocupação efetiva da cana é muito mais reduzida, embora 38% dessa área seja ocupada por lavouras permanentes e temporárias no Estado de São Paulo, o que representa uma proporção bastante superior à média nacional, que é de apenas 22%. A Figura 41 detalha qual é essa taxa de ocupação por micro-região. Segundo esse indicador existe um número muito menor de micro-regiões em que a cana ocupa parcela dominante do território. Embora na micro-região São Joaquim da Barra esse percentual alcance 100%, em apenas mais 7 micro-regiões esse percentual ultrapassa a marca dos 50% (Ituverava, Jaboticabal, Ribeirão Preto, Jaú, São Carlos, Limeira e Piracicaba), quando o Estado conta em seu conjunto com 63 micro-regiões.

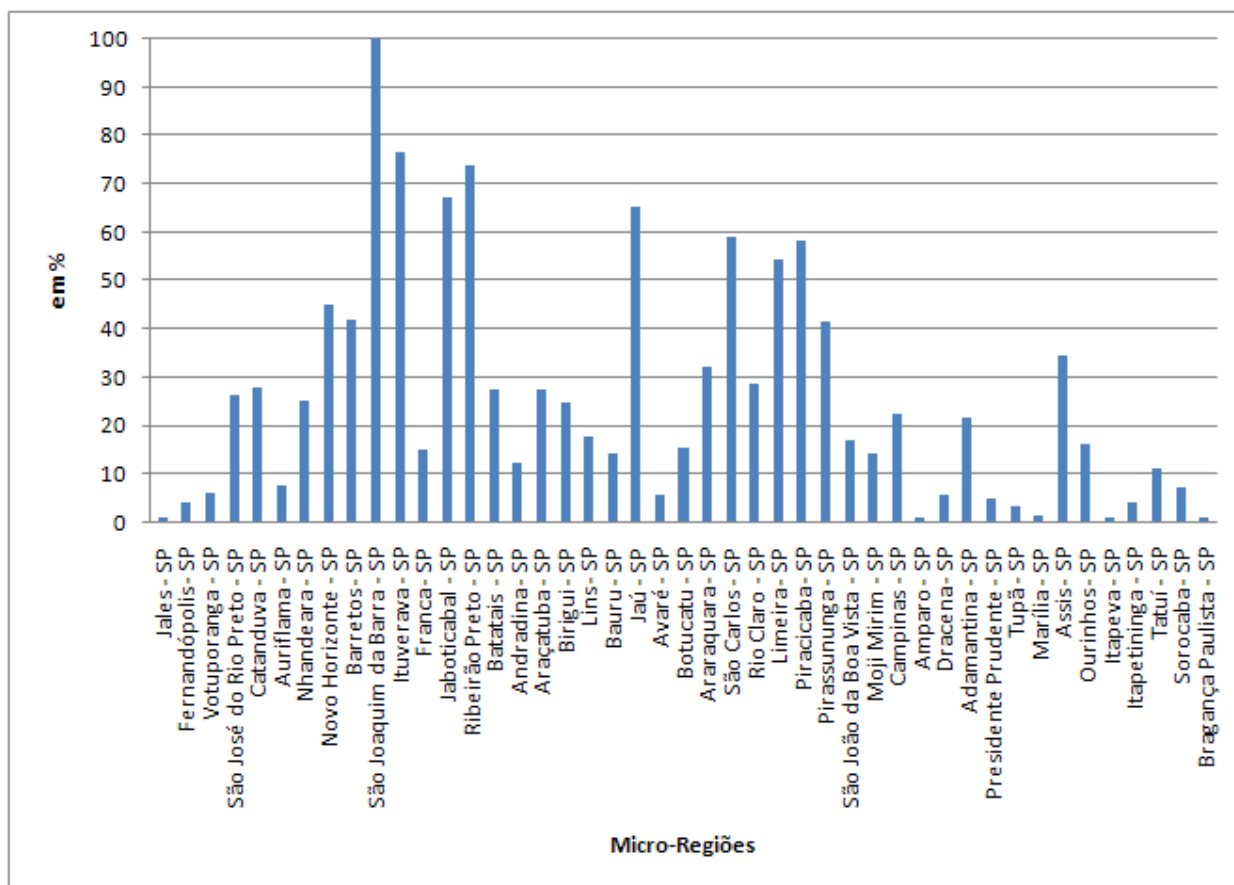


Figura 41: Taxa de Ocupação da Área Total dos Estabelecimentos Agropecuários com cana em 2006

Fonte: IBGE, Censo Agropecuário e PAM

Outro aspecto relevante da expansão da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo consiste no deslocamento que ela ocasiona nas demais culturas temporárias, permanentes, pastagens ou até mesmo de matas. A comparação dos dados do Censo Agropecuário oferece uma visão bastante detalhada desse processo. Neste relatório adotamos uma abordagem primeiramente estadual e posteriormente por micro-regiões. A Tabela 67 mostra como variou a área nos estabelecimentos agropecuários de acordo com os seus usos no Brasil e no Estado de São Paulo de 1996 a 2006. No Brasil, a expansão da cana-de-açúcar representou apenas 10,5% da expansão das culturas temporárias, que foi um pouco superior a das áreas destinada a culturas permanentes. Nos estabelecimentos agropecuários apenas a área destinada a pastagens teve decréscimo, sem, no entanto, comprometer o rebanho bovino do país.

Tabela 67: Variação da Área Plantada por Uso nos Estabelecimentos Agro-Pecuários 1996-2006 (em mil hectares)

	Cana-de-açúcar(1)	Outras Lavouras Temporárias(1)	Lavouras Permanentes (2)	Pastagens (2)	Rebanho Bovino (mil cabeças)(2)	Matas e Florestas (2)
Brasil	1.560	13.295	11.264	- 5.367	16.842	5.594
São Paulo	1.003	10	807	- 468	- 2.098	372

(1): Área plantada na PAM-IBGE; (2): Censo Agropecuário - IBGE.

Em São Paulo, a evolução é um pouco distinta da existente no plano nacional, mas não chega a destoar completamente. Nesse Estado apenas a área de pastagens reduziu-se no período, mas houve também redução do número de cabeças de gado. A expansão de área das culturas temporárias concentrou-se exclusivamente na cana-de-açúcar, embora a área de lavouras permanentes tenha aumentado expressivamente. Também cabe ressaltar a expansão da área ocupada com matas e florestas. Pode-se deduzir desses números que a cana-de-açúcar avançou nas áreas de pastagens ou em áreas novas, havendo pouca substituição absoluta entre culturas. Essa substituição de pastagens que foi de aproximadamente 47% da expansão da cana levou a um decréscimo do rebanho bovino no Estado.

A evolução do uso das áreas por micro-regiões revela uma realidade muito mais complexa. Nem sempre a expansão da área de cana vem acompanhada pelo decréscimo das demais áreas (Figura 42). Para analisar melhor essa micro-evolução dos diferentes usos da terra fizemos um exercício de correlação entre a evolução da área da cana com as demais culturas, pastagens e matas (Tabela 68). Nota-se que apenas para as pastagens existe uma correlação significativa inversa entre o aumento da área ocupada com cana e a redução da área de pastagens nas micro-regiões que estão presentes na Figura 42.

Tabela 68: Correlação entre a Evolução da Área Plantada com Cana e dos Demais Usos da Terra em Micro-Regiões do Estado de São Paulo de 1996 a 2006

	Outras Lavouras Temporárias	Lavouras Permanentes	Pastagens	Matas e Florestas
Cana	- 0,30788	- 0,33382	- 0,67199	0,06700

Fonte: Elaboração própria a partir da PAM e do Censo Agropecuário

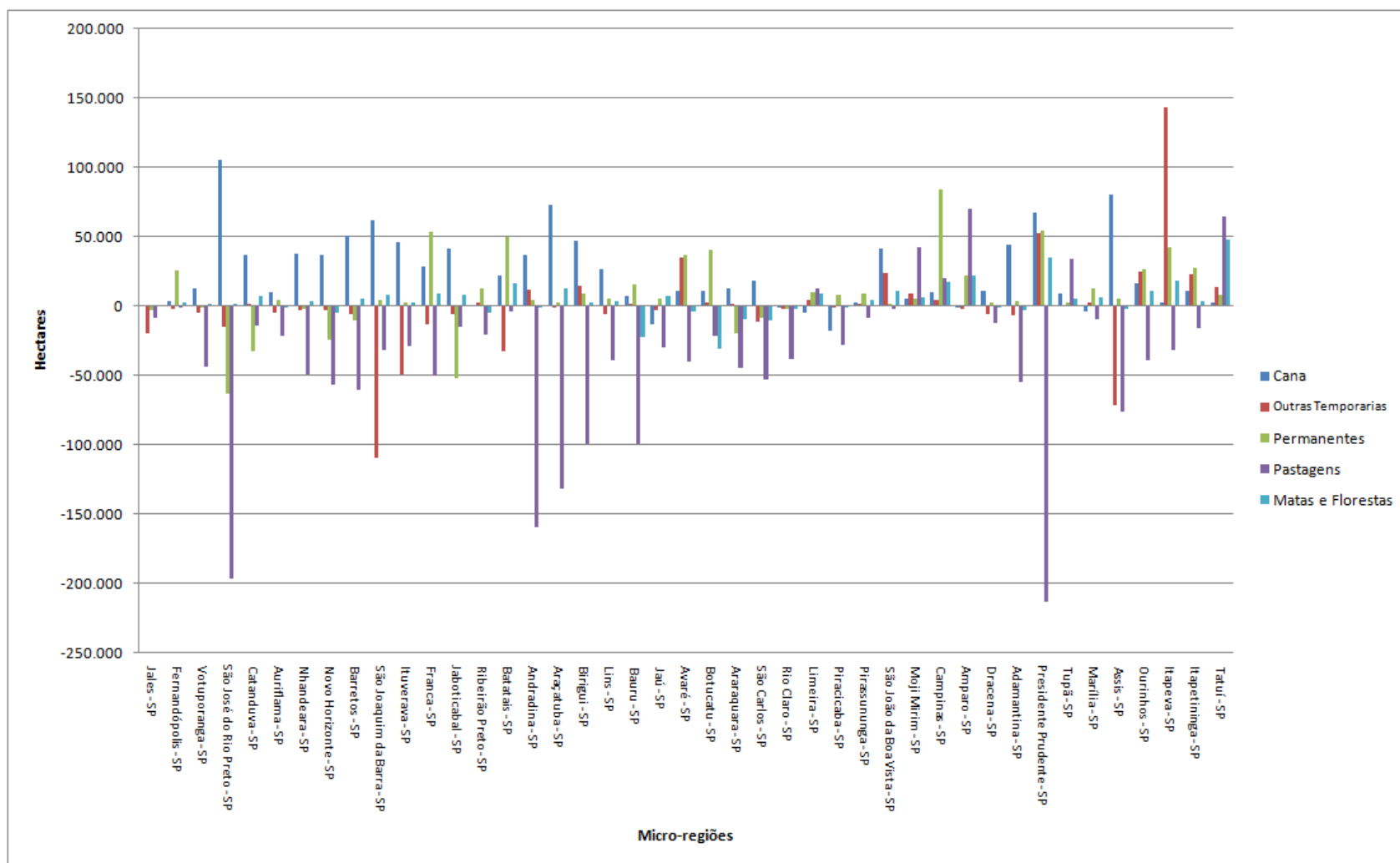


Figura 42: Variação das Áreas dos Estabelecimentos Agropecuários por principais usos da Terra de 1996-2006

Obs: a área de pastagens de São José do Rio Preto foi corrigida por destoar das demais.

Evolução do Emprego

O emprego é uma dimensão central das transformações acarretadas pela expansão da cultura da cana-de-açúcar. Esse emprego na fase agrícola possui características eminentemente sazonais. Os dados do Censo agrícola não capturam essa oscilação do emprego. Os dados do censo também não identificam a atividade econômica específica relacionada com o emprego e o nível de qualificação do trabalhador. Uma alternativa para captar as oscilações do nível de emprego, informações sobre atividade econômica específica e nível de qualificação do trabalhador são os dados do Caged do Ministério do Trabalho, que não foram usados neste trabalho. O grande inconveniente dessa fonte de dados é que ela contabiliza apenas o emprego formal.

Apoiando-nos sobre os dados do Censo Agropecuário, que contabilizam a totalidade do emprego rural, associado à cana e as demais culturas, observa-se na Tabela 69 que o volume de emprego nos estabelecimentos caiu tanto no Brasil quanto em São Paulo em números absolutos. Entretanto, as situações de emprego existentes na média do país e em São Paulo são bem distintas. Esse estado representa apenas 5% do volume de emprego gerado na agricultura brasileira.

Tabela 69: Emprego nos Estabelecimentos Agro-pecuários no Brasil e no Estado de São Paulo

		1996	2006	Variação
Brasil	N.	4.859.864	5.204.130	344.266
	Estabelecimentos			
	Pessoal Ocupado	17.930.853	16.414.728	- 1.516.125
São Paulo	N.	218.016	231.402	13.386
	Estabelecimentos			
	Pessoal Ocupado	914.954	873.087	- 41.867

Fonte: Censo Agropecuário, IBGE

Nas micro-regiões do Estado em que a cultura da cana ocupa parte expressiva das lavouras, o decréscimo do emprego foi de 12.780 pessoas, ou seja, foi menor do que nas demais regiões onde a cana é menos expressiva. Por essa razão apresentamos a Figura 43 em que é possível contrastar a expansão da área plantada com cana e a variação do volume de emprego. Observa-se que não existe sempre correspondência entre essas duas variáveis, apesar da grande importância que assume a cana-de-açúcar para quase todas essas micro-regiões. Existe até um grupo micro-regiões do estado em que houve expansão simultânea do emprego e da área plantada com cana, porém que não são os mais importantes e onde a expansão da cana foi mais importante..

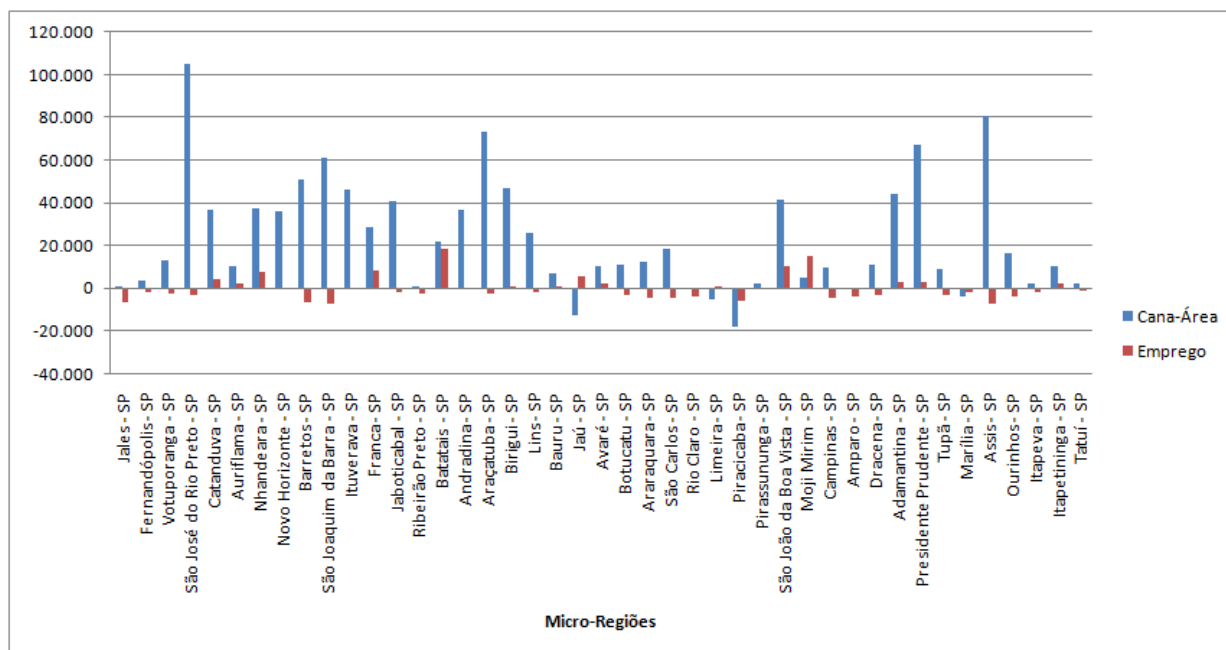


Figura 43: Variação da Área Plantada com Cana e do Pessoal Ocupado em Micro-Regiões do Estado de São Paulo de 1996 a 2006

Fonte: PAM e Censo Agropecuário, IBGE

2.2.2 Estudo das dinâmicas de integração do bioetanol e pecuária no Brasil²¹

Este relatório refere-se ao estudo conduzido para explorar os potenciais de integração dos setores sucroalcooleiro, pecuário e lavoura. Para isso, levam-se em conta as tecnologias disponíveis nas usinas (produção de rações e plantio direto nas áreas de reforma), e nas atividades de agropecuária e de carnes.

²¹ Pesquisadores responsáveis: Miguel Taube Netto (UniSoma Matemática para Produtividade), Luis Franco de Campos Pinto (UniSoma Matemática para Produtividade) e Solismar de Paiva Venzke Filho (UniSoma Matemática para Produtividade).

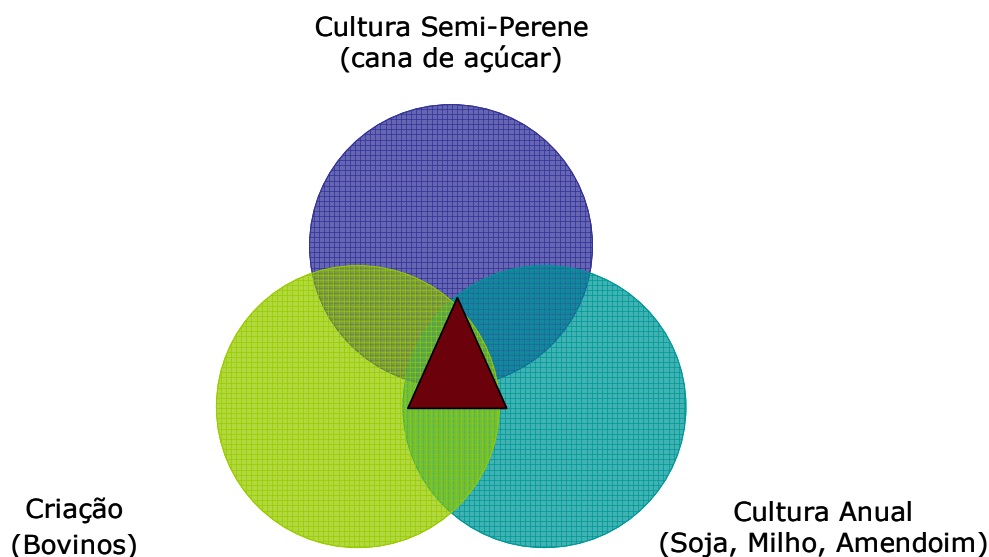


Figura 44: Integração das atividades agrícolas sustentáveis.

Objetivamente, são consideradas as seguintes questões:

(1) Dada uma área de 100.000 hectares ocupada por pecuária de bovinos (recria e engorda) com baixa tecnificação (tipicamente 0,7 unidade animal por hectare), é possível instalar uma destilaria que processa 2 milhões t/ano de cana, ocupando 28.000 hectares desta área, e ainda produzir, com melhor tecnificação da atividade pecuária, a mesma quantidade anual de carne? Veremos que com utilização de suplementação de pastos, confinamento e plantio direto planejado a resposta é positiva.

(2) A resposta positiva ao questionamento (1) pode ser construída com base em cálculos simples em planilhas, envolvendo dados experimentais disponíveis na literatura técnica. Entretanto, uma outra questão é posta: Que metodologia permite análises das interações entre produção do bioetanol, grãos e carne, levando em conta a dinâmica de mudanças tecnológicas e econômicas ao longo do tempo? Essas interações são ilustradas na Figura 45. A evolução no tempo destas interações é representável mês-a-mês conforme descrição de modelo matemático da seção 2.2.2.4.

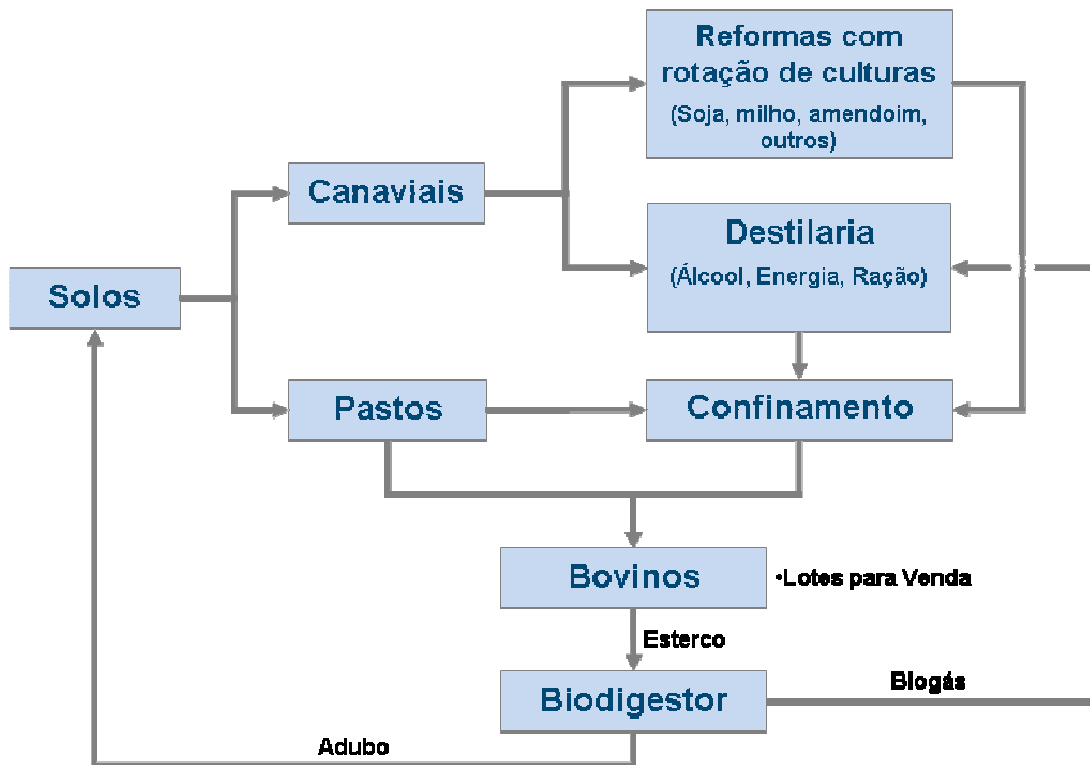


Figura 45: Interações entre produção de bioetanol, grãos e carne.

2.2.2.1 Considerações Técnicas

A integração da atividade sucroalcooleira com a pecuária baseia-se no fornecimento aos bovinos de suplementação alimentar através dos subprodutos gerados na usina. Isto ocorre em especial na fase de recria, no período de escassez de alimento, em piquetes com sistema com rotação de pastagem, e também na alimentação completa na fase de engorda que ocorre na forma de confinamento. O uso do confinamento traz outra importante oportunidade de integração com a utilização do esterco em um biodigestor e / ou como biofertilizante. Aproveitando as instalações de cogeração das usinas, o biogás, produto do biodigestor, serve como fonte de energia para o incremento do potencial de venda de energia elétrica da usina.

Já a integração da atividade sucroalcooleira com a produção de grãos ocorre nos períodos de renovação de cada canavial após 5, 6 ou 7 anos de seu plantio. A área a ser renovada a cada ano corresponde de 15 a 20 % da área total cultivada pela usina. Nessas áreas podem ser plantadas culturas anuais de soja, de amendoim, de milho, de girassol e culturas condicionantes de solo e fixadoras de nitrogênio atmosférico. A escolha da cultura a ser implantada na rotação com a cana-de-açúcar será em função dos aspectos econômicos e agrônômicos da usina.

Quanto à sustentabilidade da integração da atividade sucroalcooleira e da pecuária de corte, sabe-se que sistema de produção intensiva de carne bovina pode melhorar os indicadores presentes de produção de carne. Segundo Alencar & Pott (2002) "A produção de carne bovina no Brasil é praticada de forma extensiva. Na maioria das regiões produtoras predomina o sistema de cria, recria e engorda, em regime exclusivo de pastagens e com práticas de manejo inadequadas. A intensificação dos sistemas de produção ainda é incipiente no país, mas a médio prazo deverá ocorrer especialmente nas fases de cria e recria a serem praticadas em pastagens de melhor qualidade e melhor manejadas, e na fase de engorda a ser

feita em regime de confinamento ou semi-confinamento, visando à redução da idade de abate dos animais e à produção de carne de melhor qualidade”.

A sustentabilidade da integração da atividade sucroalcooleira e da produção de grãos, está alicerçada no princípio da renovação do canavial de forma sustentável através do emprego da colheita de cana crua e da rotação de culturas via Sistema Plantio Direto. Recentes trabalhos têm demonstrado que a colheita de cana crua ou cana sem queima prévia traz benefícios às propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (de Luca, 2002; Campos, 2003). Neste sistema de colheita é depositado na superfície do solo em torno de $15 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de palhiço (folhas do ponteiro), que confere inúmeros benefícios ambientais e agrônômicos (Bolonhezi, 2007a). Timm (2003) verificou que o efeito da cobertura vegetal na superfície do solo, como uma consequência da adoção da nova prática de colheita sem queima prévia da cana, reduziu as temperaturas médias na camada superficial do solo na ordem de 7°C , evitando picos de temperatura na superfície durante o período inicial de estabelecimento da cana soca. Por outro lado alguns estudos indicam menor produtividade da colheita cana crua em relação à colheita com queima prévia (Campos, 2003). Atribui-se a esse fato a maior imobilização do N-mineral do solo, devido à maior biomassa microbiana do solo (Cantarella, 1998). Entretanto a expectativa que esse efeito seja transitório, pois estudos com sistemas conservacionistas indicam que ao longo do tempo a mineralização é maior que a imobilização do N num certo patamar de “maturidade do ambiente solo” (Sá, 1996).

Segundo Cerri & Cerri (2007), através das queimadas são liberados $4.748 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de C-CO_2 , enquanto a cana crua pode seqüestrar $1.011 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de C-CO_2 . Recentemente Galdos (2007), sobre orientação dos autores acima, verificou que a área com maior tempo de adoção de colheita crua (sem queimada há 8 anos) apresentou maiores teores de carbono total (30% maior), carbono na biomassa microbiana (2,5 vezes maior), carbono da matéria orgânica particulada (3,8 vezes maior) na camada superficial que a área com queima prévia. Esse trabalho demonstra a importância de práticas conservacionistas na preservação da matéria orgânica do solo em agrossistemas, com alta velocidade de sequestro de carbono atmosférico.

A rotação de culturas é uma prática antiga e necessária à sustentabilidade da produção de álcool, açúcar e energia. Principalmente agora, tendo como desafio manter a média de produtividade de 85 t.ha^{-1} nas regiões de expansão (Centro-Oeste), caracterizados por solos muitos susceptíveis à erosão, ácidos e de baixa fertilidade. Nestes novos ambientes agrícolas, a colheita de cana crua e rotação de culturas via plantio direto exercerão um importante papel na sustentabilidade do sistema.

Segundo Igreja et. al. (2008), apesar das áreas de pastagens oferecerem menor resistência a expansão da lavoura de cana-de-açúcar do que as demais lavouras de grãos e citrus, há uma expectativa que a pecuária de corte possa ser mais competitiva. É esperado uma reação por meio de intensificação e tecnificação, a qual foi bastante satisfatório nos últimos anos e que permitiu ampliar a produção e compensar a retração nas áreas com pastagens, um indicador do aumento da eficiência produtiva.

Os indicadores da pecuária tradicional de corte no Brasil (Quadro 01) mostram que são baixos os índices de produtividade, principalmente a taxa de lotação, algo em

torno de 0,7 a 0,9 U.A. / ha (U.A., ou unidade animal, equivale a 450 kg de peso vivo animal). Existe um consenso entre os especialistas de que o avanço da agricultura não é uma barreira ao avanço da pecuária. Pelo contrario, é uma forma de aumentar a renda e tornar o pecuarista um verdadeiro empreendedor.

A incorporação de tecnologia irá reduzir o impacto gerado pela retração das áreas de pastagens. Entre 2001 e 2006, enquanto a área de pastagem brasileira recuou quase 2%, o rebanho bovino cresceu 15% e a produção de carne aumentou quase 53% (Rosa, et al. 2007).

Tabela 70: Indicadores zootécnicos da pecuária atual e da tecnificada/intensificada

Índices de produtividade	Pecuária*	
	Tradicional	Tecnificada/Intensiva
Cria		
Natalidade (%)	60 a 80	80 a 95
Mortalidade até 1 ano (%)	4 a 10	2 a 4
Mortalidade até 2 anos (%)	3 a 6	1 a 2
Mortalidade + de 2 anos (%)	2 a 4	1 a 2
Idade a desmama (meses)	8 a 12	4 a 6
Peso a desmama (kg)	140 a 180	180 a 240
Idade inicial de cobertura das matrizes (meses)	24 a 36	18 a 24
Peso inicial de cobertura das matrizes	280 a 320	300 a 320
Idade ao primeiro parto (meses)	33 a 45	27 a 33
Peso pós - primeiro parto (kg)	330 a 400	370 a 450
Intervalo entre partos (meses)	16 a 20	14 a 16
Desfrute (machos vendidos para recria) (%)	15 a 20	20 a 24
Descarte matrizes/novilhas excedentes (%)	10 a 20	10 a 20
Relação touro/vaca (animal)	1:25 a 30	1:20 a 25
Capacidade de suporte das pastagens (U.A./ha/ano)	0,5 a 1,0	1,0 a 2,4
Recria e Engorda		
Mortalidade (%)	3 a 6	1 a 2
Desfrute (%)	27 a 30	33 a 49
Capacidade de suporte das pastagens (U.A./ha/ano)	0,5 a 1,0	1,5 a 4,0
Idade de abate (meses)	36 a 48	24 a 36
Peso de abate (kg)	480 a 600	480 a 600
Ganho por animal (kg/cab/ano)	140 a 160	160 a 240
Produção por área (kg/ha/ano)	70 a 160	250 a 720
Receita bruta por hectare (R\$/ha/ano)	126 a 288	288 a 1.152
Custo (R\$/ha/ano)	108	108 a 432
Lucratividade (R\$/ha/ano)	18 a 180	180 a 720

* Considerando rebanho estabilizado.

Obs: Os autores consideram pecuária tradicional um sistema de criação extensivo com emprego inadequado de manejo, baixo nível nutricional, pelo menos estacional, práticas ineficientes, aguadas de baixa qualidade e de difícil acesso, entre outras. Pecuária tecnificada ou intensificada um sistema de criação extensivo ou semi-intensivo/intensivo com a adoção de tecnologia adequada (manejo adequado, adubação e utilização eficiente das pastagens), gestão dos custos com racionalização do processo produtivo.

2.2.2.2 Representação da Dinâmica de Planejamento da Integração Cana, Grãos, Bioetanol, Energia e Pecuária

A Figura 45 indica as interações das atividades de produção de cana, grãos, bioetanol, energia e pecuária, as quais podem ser relacionadas num período de tempo, o mês, por exemplo. No entanto, os efeitos de decisões num dado mês, como o plantio de soja numa área de reforma gera estoques transformáveis em farelo que poderá ser utilizado em meses subseqüentes. Além disso, decisões de rotação de culturas afetam a qualidade dos solos dos ciclos futuros, os quais também podem ser afetados por plantios de novas variedades. Na atividade de pecuária os lotes adquiridos para recria e depois confinamento podem ter durações diversas, consumindo paralelamente os recursos de alimentação (pastos e rações), sendo desejável que os processos de compra de bezerros e venda de bois considerem as variações de preços ao longo do horizonte de planejamento.

Assim sendo, torna-se importante não só as interações de processos num dado período de tempo, mas também os efeitos de decisões ao longo do tempo. Para isso é possível desenvolver-se um sistema integrado de planejamento de múltiplos períodos no qual são representadas decisões de reformas com rotação de culturas, de cortes de cana, de produção industrial inclusive rações, de compra de bezerros, de venda de bois etc. Esse modelo poderia ser usado para análise de cenários com horizonte de vários ciclos de cana, tipicamente de 15 a 20 anos, ao longo dos quais são otimizáveis as decisões conjuntas do complexo canavieiro e pecuário. Por outro lado, o sistema pode ser decomposto para representações separadas desses dois processos.

Para o contexto deste projeto foi desenvolvido o sistema de planejamento pecuário.

2.2.2.2.1 Simulação da Integração Destilaria e Pecuária

Para responder a primeira pergunta proposta neste estudo, um modelo de negócios foi definido e uma simulação da sua aplicação foi realizada.

Para tal simulação, foi adotada uma destilaria padrão, definida pelo Projeto Etanol do NIPE/UNICAMP (2 milhões de toneladas de cana por ano), como referência para as caracterizações necessárias. A definição do manejo pecuário a ser analisado considera um modelo de produção pecuária tradicional e extensiva, conforme já descrito.

Caracterização da Destilaria

Segundo o modelo adotado neste estudo, as unidades produtoras de etanol, denominadas de "destilaria padrão", são destilarias autônomas com capacidade de moagem de 2 milhões de toneladas de cana-de-açúcar por ano, um equivalente à aproximadamente 12.000 toneladas por dia útil, considerando-se uma safra de 167 dias úteis.

Na definição desta destilaria, foi considerado um coeficiente de conversão de 85 litros de etanol por tonelada de cana processada, resultando numa capacidade de produção diária de etanol 100°INPM de 1.020.000 litros, o equivalente a 1.067.000 litros de AEHC (Álcool Etílico Hidratado Combustível) ou 1.023.000 litros de AEAC (Álcool Etílico Anidro Combustível).

O processo de produção analisado segue os modelos tradicionais de destilarias brasileiras, definidos, em termos gerais, em: recepção, lavagem, preparo do caldo, extração do caldo, tratamento do caldo, fermentação e destilação.

Os parâmetros gerais destes processos estão resumidos na tabela abaixo.

Tabela 71: Parâmetros da Destilaria

Item	Valor
Moagem/ano safra (toneladas de cana)	2.000.000
Dias úteis/ano safra	167
Rendimento agrícola (toneladas por hectare)	71
Moagem diária (toneladas de cana por dia útil)	11.976
Rendimento Industrial (litros etanol/tonelada de cana)	85
Produção diária de etanol (litros)	1.017.960
Produção total de etanol safra/usina (litros)	170.000.000
Área agrícola disponível (ha)	28.000
ART na cana posta na Usina (kg/tonelada de cana)	159
Fibra na cana posta na Usina (kg/tonelada de cana)	140
Bagaço (umidade 50%) total em cana (kg/tonelada de cana)	280
Eficiência na extração (%)	96,0
Eficiência no tratamento do caldo (%)	97,0
Rendimento na fermentação	89,26
Rendimento na destilação	99,0
Rendimento global	82,29

A configuração da destilaria padrão, no que diz respeito a seu sistema de cogeração e integração energética, leva em consideração um padrão ultrapassado de produção de vapor e energia elétrica, mas que reflete a situação atual de muitas usinas e destilarias no Brasil. Neste caso, consideramos a produção de vapor a 22 bar e 320°C com um vapor de processo a 2,5 bar e 128°C. De acordo com estes padrões, estima-se que a destilaria produza 40,0 kWh / tonelada de cana, um total de 80.000 MWh ao longo da safra.

Caracterização da Pecuária

A pecuária atual brasileira, se baseia num modelo de manejo extensivo e pouco tecnificado, conforme já foi apresentado. Este modelo e seus parâmetros (definidos na tabela abaixo) serão utilizados como referência da região previa a instalação da destilaria.

Com a integração da destilaria e a pecuária, a combinação de diferentes tipos de manejo (extensivo, semi-intensivo e intensivo) é possível. Um modelo matemático foi desenvolvido para analisar qual a melhor combinação destas opções, após a instalação da destilaria.

Tabela 72: Condições de contorno adotadas

Item	Tradicional	Integrada
Disponibilidade no Pasto (U.A. / ha)	0,7	A partir de 0,7*
Idade de Abate (meses)	33 a 46	26 a 46
Área Total (ha)	100.000	72.000
Custo de Manejo por cabeça de gado (R\$/mês)	20,83**	20,83 – 28,59 – 31**

* A disponibilidade no pasto é definida dinamicamente conforme o modelo determinar o melhor manejo para cada lote

** Custos referentes aos manejos Extensivo, Semi-Intensivo (com suplementação em pasto) e Intensivo (com confinamento). Fonte: ANUALPEC 2009.

Produção de ração

A cana-de-açúcar e alguns subprodutos de usinas (bagaço, levedura e melaço) apresentam grande potencial de suplementação alimentar no período de seca, (maio a setembro) onde as pastagens nativas ou as cultivadas diminuem a sua produção de massa verde, aumento de fibras e conseqüentemente diminuição da digestibilidade.

Por outro lado suas composições apresentam limitações nutricionais. O uso na alimentação de ruminante requer um tratamento físico ou químico para aumentar a digestibilidade e complementar os baixos valores de proteína e minerais, a fim de preencher as exigências dos animais. Esta correção pode ser atingida com o uso de suplementação mineral e utilização de fontes de nitrogênio protéicos (ex: soja, milho, farelo de arroz, etc) e não protéicos (ex: uréia pecuária).

Uma das possíveis interações entre destilaria e a pecuária, conforme destacado no fluxograma da Figura 45, vem do uso destes subprodutos do processo de produção de etanol para a composição de rações para bovinos.

Na pecuária tecnificada, o uso de ração pode vir em dois momentos:

Uso como suplemento na pastagem durante a época da seca (tipicamente caracterizado entre os meses de junho até setembro). Esta ração tem como objetivo evitar a perda, ou promover pequenos ganhos de peso dos bovinos, devido à falta de nutrientes no campo. Ela é caracterizada como um volumoso, que pode ser corrigida com algum concentrado para melhor o desempenho animal. Sua composição varia conforme os insumos disponíveis, sendo a composição explorada neste estudo uma combinação de bagaço de cana (hidrolisado) e uréia, em proporção 99:1. O consumo médio deste suplemento, durante os ciclos de recria e engorda de bovinos, é de 8 kg / cabeça de gado. De acordo com Rosa et al. (2007), com a utilização da suplementação em pasto, é possível atingir níveis de ganhos de peso diários entre 0,19 a 0,3 kg / dia em época de seca.

A ração para uso em confinamento visa à terminação ou engorda do animal para abate. Em geral, o período de confinamento é de aproximadamente 90 dias e proporciona ganhos de peso entre 1,0 kg/dia até 1,5 kg/dia dependendo da raça, composição da ração, peso inicial e idade do animal, entre outros. Para o estudo realizado, foi considerado um exemplo típico de ração para engorda, com sua composição definida na tabela abaixo.

Tabela 73: Ração para confinamento

Ingredientes	% na matéria seca	kg/cabeça
Bagaço hidrolisado	50,47	11,93
Bagaço in natura	4,23	0,9
Levedura úmida	10,58	4,89
Melaço	2,75	0,39
Milho grão	20,95	2,53
Farelo de soja	7,61	0,91
Uréia	0,77	0,08
Sal mineral	2,64	0,28
Rumensin	0,027	0,0029

Fonte: Avaliação do desempenho e características de carcaça de bovinos confinados na Usina Vale do Rosário em 2001 – Associação Brasileira de Criadores de Caracu [<http://www.flavito.com/artigo4.htm>]

Destes ingredientes necessários a produção de ração, alguns podem ser obtidos diretamente da destilaria como subprodutos (Bagaço in natura e Levedura úmida) ou subprodutos processados (Bagaço hidrolisado). Já os ingredientes de produção agrícola podem ser obtidos durante as épocas de reforma do canavial (Milho grão e Farelo de Soja). O melaço pode ser adquirido de uma usina próxima ou substituído por outra opção, conforme descrito mais adiante.

A fábrica de ração de uma destilaria trabalha tipicamente durante 180 dias, muitas vezes sincronizado com o período de seca nas pastagens.

O uso do bagaço para ração diminui o potencial de geração de excedentes no sistema de condensação/extração, mas que não afetaria no caso de cogeração pura. Na destilaria padrão adotada, a produção de bagaço úmido é de 280 kg / tonelada de cana processada, resultando em 560.000 toneladas por ano. O consumo de bagaço para produção de ração depende do excesso do mesmo e, em geral, este valor não deve ultrapassar 5% do volume total produzido. Considerando este limite, é possível disponibilizar 28.000 toneladas de bagaço (tanto in natura quanto hidrolisado) para a produção de ração. Consideradas as formulações acima, é possível sustentar uma média de 12.130 cabeças em confinamento durante o período de 180 dias ou 19.450 cabeças em pastagem com suplementação (considerando o consumo de 8 kg/cabeça de gado).

A produção de etanol a partir da cana-de-açúcar, passa por uma etapa de fermentação do caldo (já tratado) para a produção do vinho final. Durante este processo, a utilização de fermento gera um acúmulo de células de levedura devido ao crescimento celular, um fenômeno naturalmente associado à produção do etanol.

Para evitar um acúmulo excessivo deste material, o que pode gerar desequilíbrios operacionais no processo de fermentação e, conseqüentemente, uma menor eficiência / rendimento da destilaria, um processo de sangria (retirada) da levedura pode ser realizado.

A utilização desta levedura pode variar, porém, dado o seu alto valor protéico, a opção pela utilização na composição de ração para confinamento (conforme apresentado acima) é considerada viável. Sem prejudicar o processo de fermentação, é possível retirar até 100 gramas de levedura úmida (70% de

umidade) / litro de etanol produzido (ROCHA 2008), um potencial de 17.000 toneladas por safra, considerando a produção de 170.000.000 litros da destilaria padrão. Dada a composição definida acima, é possível suprir até 19.310 cabeças de gado / dia pelo período de 180 dias de funcionamento do confinamento.

A reforma anual do canavial de destilarias acontece em cerca de 15% da área total disponível. Considerando a destilaria padrão, com cerca de 28.000 hectares disponíveis, significa um total de 4.200 hectares de terras anuais. Decorrente das épocas de corte e de plantio da cana, não é possível aproveitar 100% da área de reforma com culturas anuais de grãos. Estima-se que somente cerca de 60% destas áreas (2.520 hectares) estão disponíveis na épocas recomendadas de plantio das culturas de milho precoce, soja precoce e amendoim. Os outros 40% podem ser utilizados com culturas de adubação verde, como crotalária, guandu e outros.

Para o modelo de produção de ração, pode-se considerar uma divisão de 59% das terras (1.487 hectares) para o plantio de milho e 41% (1.033 hectares) para o plantio de soja. Considerando-se níveis produtivos de 6.600 kg / hectare e 3.600 kg / hectare para milho e soja respectivamente, temos um potencial anual de produção de 9.814 toneladas de milho e 3.719 toneladas de soja. Devido a extração do óleo da soja, isto resulta num total de 3.050 toneladas de farelo de soja (utilizado na ração), enquanto que não há perda na transformação de milho em grão de milho.

Na composição da ração apresentada acima, o melaço é utilizado como fonte energética. Porém, por se tratar de uma destilaria, não há produção de melaço. Considerando os valores nutricionais do melaço, este pode ser substituído por grão de milho na proporção 1:1 sem perda de desempenho da ração. Feitas estas considerações, chegamos num consumo de 2,92 kg / cabeças de gado para milho e 0,91 kg / cabeça de gado para farelo de soja, o que resulta num potencial de produção de ração para sustentar 18.600 cabeças de gado em confinamento.

Dados todos os elementos envolvidos no processo de produção de ração, foi determinado que o limitante para capacidade de confinamento é dado pela utilização máxima de 5% de bagaço, restringindo o número de bovinos confinados e com suplementação alimentar em pasto em 12.130 cabeças de gado / dia e em 19.450 cabeças de gado / dia, respectivamente, ao longo do período de 180 dias de funcionamento da fábrica de ração.

Resultados

O modelo matemático, descrito na seção 2.2.2.4, foi utilizado para determinar os indicadores da pecuária antes e depois da integração com a destilaria. Um horizonte de 108 meses (9 anos) foi usado para gerar o plano de manejo. Os valores de compra de bezerras (12 meses – 180 kg) e venda de boi gordo seguem os valores da CEPEA para São Paulo, entre 2000 e 2008. Os custos envolvendo os manejos disponíveis foram obtidos do ANUALPEC (2009).

O plano de manejo integrado propoem uma ocupação média de 76% da disponibilidade do confinamento e a utilização da ração, através da suplementação alimentar ou confinamento, em 47,4% dos bovinos criados no horizonte de planejamento.

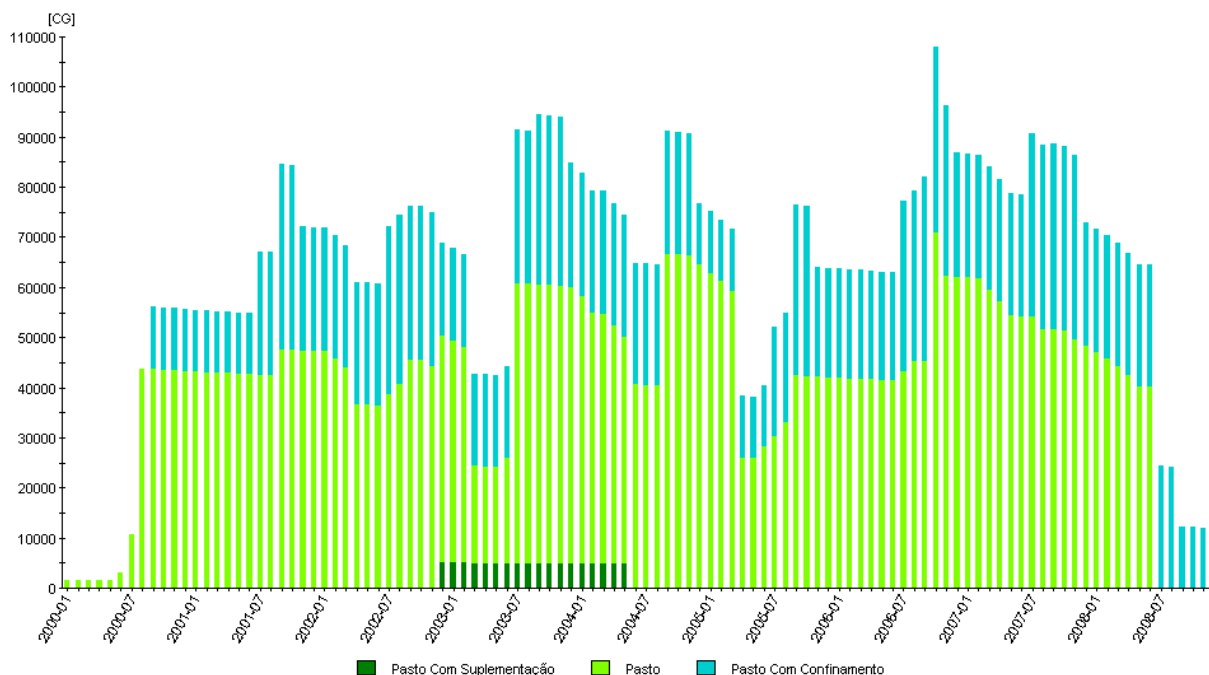


Figura 46: Evolução do Manejo de Bovinos

Os resultados apresentados na tabela abaixo evidenciam que é possível manter e até incrementar a produção de carne original com a integração proposta, passando dos 18.663 toneladas / ano da pecuária extensiva para 19.324 ton / ano com a integração, mesmo com a redução da área disponível para pasto (de 100.000 ha para 70.000 ha). Este resultado é possível devido ao encurtamento do ciclo de recria-engorda que, na pecuária tradicional, apresentou um tempo médio de 24,6 meses, enquanto que, com a integração, sua média foi reduzida para 20,4 meses.

Estes resultados também tiveram um grande impacto sobre os indicadores ponderados pela área disponível. Mesmo sem considerar técnicas avançadas de adubação do pasto, a taxa média de ocupação do pasto cresceu de 0,67 U.A. / ha para 0,74 U.A. / ha. A produção de carne por hectare teve um crescimento superior aos 43%, condição necessária para a manutenção e até expansão da produção de carne anual, passando dos 186,6 kg / ha da pecuária tradicional para 268,4 kg / ha com a integração. Considerando os fatores econômicos, a rentabilidade média por hectare (total de receitas – custos) sofreu um reajuste positivo de 23%, tornando a atividade pecuária mais rentável e, conseqüentemente, mais resistente à expansão de outras atividades agrícolas, impedindo seu deslocamento no território brasileiro.

Tabela 74: Indicadores Pecuários antes e após integração

Indicadores*	Tradicional	Integrado
Área de Pasto (ha)	100.000	72.000
Capacidade Confinado (c.g)	0	12.130
Capacidade Suplementação (c.g)	0	19.450
Ocupação Média (U.A./ha)	0,67	0,74
Produção de Carne Anual (ton)	18.663	19.324
Produção de Carne Média (kg/ha)	186,6	268,4
Rentabilidade Média (R\$/ha)	118,13	145,43
Idade Média de Abate (Meses)	36,6	32,4
% de Manejo Tradicional	100%	52,6%

* Considerando os períodos de rebanho estabilizado.

Com a disponibilidade de bagaço avaliada (5% da produção anual da destilaria), não foi possível aplicar um manejo tecnificado para todo o rebanho bovino (apenas 47,4%). A disponibilidade de bagaço para uso na fábrica de ração pode variar significativamente de uma usina para outra, dada as tecnologias empregadas no sistema de cogeração. Para avaliar os potenciais de ganhos com uma maior disponibilização de bagaço, foi simulado situação semelhante com valores de 1% até 10% de bagaço total disponibilizado.

Tabela 75: Indicadores X Disponibilidade de Bagaço

Item	1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%	9%	10%
Bagaço disponível (%)	1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%	9%	10%
Área de Pasto (há)	72.000	72.000	72.000	72.000	72.000	72.000	72.000	72.000	72.000	72.000
Capacidade Confinado (c.g)	2.425	4.850	7.275	9.699	12.130	14.549	16.974	18.600*	18.600*	18.600*
Capacidade Suplementação (c.g)	3.889	7.778	11.667	15.556	19.450	23.333	27.222	31.111	35.000	38.889
Ocupação Média (U.A./ha)	0,68	0,69	0,71	0,72	0,74	0,76	0,78	0,79	0,79	0,80
Produção de Carne Anual (ton)	14.444	15.450	16.537	17.929	19.325	20.714	22.089	23.104	23.104	23.115
Produção de Carne Média (kg/ha)	200,62	214,58	229,68	249,01	268,40	287,69	306,79	320,89	320,89	321,05
Rentabilidade Média (R\$/ha)	123,69	129,21	134,66	140,04	145,43	150,73	155,97	159,45	159,45	159,45
Idade Média de Abate (meses)	34,49	33,70	32,95	32,14	31,44	30,83	30,29	30,00	30,00	30,01
% de Manejo Tradicional	87,75	76,88	67,45	59,52	52,65	46,67	41,34	38,35	38,35	38,36

* O limitante se dá pela disponibilidade de grãos e não pelo bagaço nestes anos.

Mesmo com baixa disponibilidade de bagaço, houve incremento nos indicadores da pecuária. No entanto, para manter ou incrementar a oferta de carne atualmente disponível na região, existe a necessidade de 5% do bagaço para a fábrica de ração. A partir de níveis mais elevados de disponibilidade (8% ou mais) há pouca variação nos indicadores, pois o gargalo para o confinamento se dá pela falta de grãos e não pela falta de bagaço.

Considerando as condições mais favoráveis (10% do bagaço disponível para ração), é possível atingir um nível de produção anual de carne 23% acima da produção original.

Produção de dejetos bovinos em confinamento

Define-se como dejetos o conjunto de fezes, urina, água desperdiçada dos bebedouros, e resíduos de ração, resultantes do processo de criação. A produção

diária de esterco (fezes + urina) dos bovinos é aproximadamente 10% de seu peso corporal (comunicação pessoal Eng. Agro. Manfred - Boviplan). Nos bovinos de corte confinados produzem em torno de 30 a 35 kg/cabeça/dia.

Estimou-se então a produção de dejetos gerados na integração destilaria – pecuária. Para efeito de cálculo utilizou-se média de 32,5 kg/cabeça/dia pelo período de 180. Sabendo-se que o potencial máximo de bovinos confinados nesse período é de 12.130 cabeças. Isso resulta em uma produção de esterco líquido de 70.960 toneladas com densidade de 1,02 kg.m⁻³ (também chamado de estrume), tendo em média aproximadamente 4,6% de matéria seca (Comissão de fertilidade do solo – RS/SC, 1994).

Manejo dos dejetos Bovinos

No confinamento de bovinos é gerado um volume considerável de dejetos diariamente. O manejo inadequado desses dejetos, os quais são ricos em matéria-orgânica e agentes patogênicos, pode ser responsável pela poluição de águas superficiais e subterrâneas, devido ao carreamento desse material pela ação das chuvas.

Na prática, o esterco sólido é recolhido dos currais no término de cada ciclo de engorda, empurrado para fora e posteriormente encaminhado para a uma esterqueira. O líquido produzido durante o confinamento, em muitas vezes em ocorrência de chuva, geralmente no início (março, abril) ou término (outubro, novembro) do período de confinamento, ocorre o escoamento superficial de estrume no solo carreado pelas águas pluviais. Esse resíduo é direcionado por canaletas de alvenarias ou valas, seguindo por tubulações até o sistema de tratamento de resíduos líquidos (Biodigestor ou lagoas de decantação/estabilizadora).

Na esterqueira o esterco sólido pode receber uma quantidade de bagaço com a finalidade de melhorar o manuseio da pilha de esterco para sua estabilização na compostagem, antes de ser utilizados como adubo orgânico. A compostagem é um processo de fermentação aeróbio que reduz a carga orgânica nociva dos resíduos sólidos, tornando-os mais estáveis quimicamente. A eficiência da estabilização depende da relação entre o carbono e o nitrogênio (C:N) dos resíduos (25:1 a 30:1), bem como da umidade dos mesmos, que deve ser em torno de 55 a 60% (Souza et al.,2001). Durante esse processo é produzido o chorume que também pode ser responsável pela poluição de águas superficiais e subterrâneas. O recolhimento deste líquido é recomendado para o uso como adubo orgânico líquido na fertirrigação.

Produção de Biogás

Uma maneira antiga e racional de aproveitar os dejetos líquidos (< 2% sólidos em suspensão) ou de dejetos pastosos a sólidos (3 a 70% de sólidos) produzidos no confinamento bovino é a geração de biogás. O biogás é um produto resultante de uma biodigestão anaeróbica com quatro fases distintas (Hidrólise; Acidogéneses; Acetogénese; Metanogénese), e sua composição básica para dejetos animais é: Metano (50-70%), CO₂ (30-40%), H₂S (400 a 600 ppm); NH₃ (traços); e H₂O saturada (Oliveira & Higarashi, 2006; Kunz & Oliveira, 2008).

A produção diária de biogás varia em função dos sólidos voláteis (SV), tempo de retenção hidráulica (TRH); temperatura e o volume de dejetos. O grau de diluição dos dejetos, pode ser determinado pela observação da Matéria Seca (MS) e/ou

Sólidos Totais (ST) presentes nos dejetos, sendo que os sólidos voláteis, que são os substratos para as bactérias metanogênicas, representam ao redor de 80% dos sólidos totais nos dejetos bovinos. (Comastri Filho, 1981; Oliveira & Higarashi, 2006). Os sólidos voláteis são os responsáveis diretos pela produção de biogás (Lucas Junior, 1994; Sanchez et al., 2005). Sendo que, quanto maior for a concentração de sólidos voláteis na alimentação diária do biodigestor (kg/m³), maior será a capacidade do biodigestor de produção de biogás. Em média, cada kg de sólido volátil na biomassa é transformado em 0,35m³ de biogás com 0,25 m³ de metano. A velocidade de transformação é influenciada pela temperatura da biomassa e o tempo de retenção hidráulica (Oliveira & Higarashi, 2006).

De acordo com os parâmetros técnicos apresentados acima foi estimado o potencial de biogás gerado a partir da produção total de esterco líquido de 70.960 toneladas (4,6% MS) das 12.130 cabeças no período de 180 dias. Então,

$$70.960 \text{ t} \times 4,6\% = 3.264,16 \text{ t de sólido total}$$

Sendo que 80% deste sólido total são transformados em sólidos voláteis (2.611.328kg) no processo de biodigestão. Se cada kg de sólido volátil na biomassa é transformado em 0,35m³ de biogás, tem se 913.964 m³ de biogás.

E a geração posterior de energia elétrica é função do grau de pureza do gás obtido. Segundo os autores Casagrande (2003) e Lucas Jr. e Silva (2005), um metro cúbico de biogás pode gerar 1,428 kWh de energia elétrica, equivalente a 0,70 m³ de gás para 1 kWh. Então com 913,9 mil m³ de biogás produzidos pode gerar 1.305 MWh de energia elétrica.

Produção de Biofertilizantes

Com a totalidade da produção de esterco líquido 70.960 toneladas (4,6% MS) destinada a aplicação de biofertilizante no solo, teria-se o seguinte retorno de nutrientes ao solo:

Tabela 76: Retorno de nutrientes ao solo

Macro-nutrientes	Qtd. de nutrientes	Liberação dos nutrientes aplicados na forma orgânica para a forma mineral, em cultivos sucessivos. *		
		1º Cultivo	2º Cultivo	3º Cultivo
Nitrogênio (N) (1,5% da MS)	49,0 t	24,5 t (50%)	9,8 t (20%)	4,9 t (10%)
Fósforo (P ₂ O ₂) (1,4% da MS)	45,7 t	27,4 t (60%)	9,2 t (20%)	9,2 (20%)
Potássio (K ₂ O) (1,5% da MS)	49,0 t	49,0 t (100%)	-	-
Retorno Financeiro(US\$)**		97.879	23.452	17.719

* Fontes: RIBEIRO, A.C. et al. Recomendações de adubação e calagem para o estado de Minas Gerais. 5 aproximação. Viçosa, CFSEMG, 1999. 359p. Comissão de Fertilidade de solo - RS/SC, Recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, 3 ed. Passo Fundo, 1994, 224p.

** Scot Consultoria [<http://www.rehagro.com.br/siterehagro/interna/include/fertilizantes.html>], com base nestes valores: Nitrogênio 1,17 US\$ / kg N (base Uréia 44%); Fósforo 1,31 US\$ / kg P₂O₅ (base MAP 48%); Potássio 0,68 US\$ / kg K₂O (base Cloreto de Potássio 60%).

É interessante dizer que os nutrientes que retornam ao solo não são somente originários do bagaço de cana-de-açúcar, mas também do milho, do farelo de soja, das leveduras e outros insumos que compõem a ração animal. Pode-se dizer que estes saíram das culturas produzidas nesta área de 28 mil hectares e irão retornar ao solo para ser novamente absorvido pelas plantas cultivadas. Esse retorno representa, por hectare, 1,75 kg de nitrogênio, 1,63 kg de fósforo e 1,75 kg de potássio. Em termos de absoluto esses valores podem ser pequenos se comparados as exigências nutricionais de NPK da cultura da cana-de-açúcar, porém o efeito biológico e físico no solo deste biofertilizantes pode ser significativo ao sistema de produção.

Caso prático – Usina Vale do Rosário

A usina Vale do Rosário do Grupo Santelisavale dispõe de uma área de confinamento de bois e uma fábrica de rações conjugada com a produção de bagaço hidrolisado. Esta iniciativa da Vale do Rosário já dura 22 anos, sendo em si um negócio rentável.

Outra vantagem importante desta atividade é a relação de fidelização com os fornecedores de cana. Localizada na região de Orlândia, onde existe uma grande concorrência pela aquisição de cana-de-açúcar, os proprietários de terra dispõem de alternativas de negócios, o que pode resultar em diminuição do suprimento de cana para a usina. A tradição de muitos desses fornecedores com atividades de pecuária é estimulada pela usina através do fornecimento de rações produzidas com bagaço hidrolisado úmido, bagaço in natura e outros ingredientes, inclusive soja e milho produzidos nos intervalos de reforma. A usina processa cerca de 6Mt/ano de cana, dispõe de um “boitel” com capacidade de engorda de mais de 20.000 cabeças de gado, a qual é utilizada pelos fornecedores de cana e outros pecuaristas. Esses fornecedores também utilizam rações para suplemento de seus pastos nas fases de recria. Há também demanda de rações para criadores de cavalos, ovinos etc.

2.2.2.3 A integração da cana-de-açúcar com a produção anual de grãos

Assim como a lavoura de cana-de-açúcar vem ocupando as áreas de pastagens, ela também exerce essa ocupação nas áreas de produção de grãos. A maior ocupação ocorre na região do Centro-Oeste nos estados de Goiás e Mato Grosso do Sul.

Entretanto, existe a possibilidade de integrar essas duas atividades num ambiente agrícola. Visto que é possível intercalar a cana-de-açúcar com uma cultura anual via plantio direto no período da reforma do canavial.

A produtividade do canavial tende a diminuir ficando anti-econômica a partir do quinto ou sexto ano de plantio, necessitando de uma “reforma” (Figura 47). Geralmente essa reforma é necessária para correção do solo e introdução de novas variedades de cana.

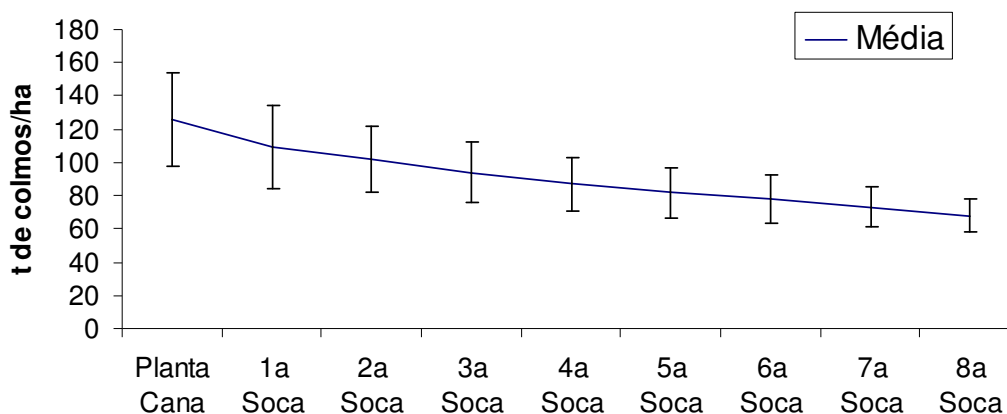


Figura 47: Curva de Produtividade de colmo das Cultivares (Fonte: FNP, 2006)

Nas safras 2003/04 e 2004/05 foram destinados para reforma, respectivamente 431 e 275 mil ha de canaviais, de acordo com imagens de satélite (Rudorff et al., 2004; CANASAT, 2006), os quais estariam potencialmente disponíveis para o cultivo de espécies anuais com propósito de produção de grãos ou adubação verde.

No Brasil, é crescente o número de canaviais sendo colhidos sem queima prévia, sistema conhecido como cana crua, no qual cerca de 15 Mg de matéria seca permanece depositada sobre a superfície do solo após a colheita (Resende et al., 2006). Nesta condição, os custos referentes ao preparo de solo, para a cultura subsequente, são substancialmente aumentados, demandando a adoção de sistemas conservacionistas de manejo, tais como cultivo mínimo e sistema plantio direto.

A recomendação técnica de renovação dos canaviais sugere que após a colheita cana-crua estabelece-se uma ou duas culturas anuais. De preferência espécies leguminosas ou oleaginosas (soja, amendoim, girassol, mucuna, crotalária), procurando, além do fornecimento de nitrogênio atmosférico, melhorias nas propriedades físicas e biológicas do solo (Tanimoto, 2002).

De acordo com o Tanimoto & Bolonhezi (2002), as principais vantagens para os plantadores de soja são: o aumento da produtividade (25% em média, potencial de 4500 kg.ha⁻¹), menor risco em períodos de seca (8-10% mais de água no solo) e redução de custo de produção (32%). Atualmente com as cultivares de soja RR, mais de 500 combinações de herbicidas podem ser substituídas pelo glifosato, conferindo enorme praticidade e eficiência no controle de plantas daninhas de difícil controle (*Cynodon dactylon*, *Cyperus* spp. *Ipomeae* spp.) (Bolonhezi, 2007a).

Tanimoto (2002) sugere diversas opções de seqüências de culturas para formar a rotação em áreas de plantio de cana-de-açúcar (Quadro 1). Entretanto, o autor diz que o sucesso da adoção de rotação de culturas depende de um planejamento das espécies e cultivares a serem utilizados, devendo sempre compatibilizar a produção de grãos, biomassa e maior tempo de cobertura.

Quadro 1: Sugestão de rotação de culturas em áreas de plantio de cana

Período	Ju n	Ju l	Ag o	Se t	Ou t	No v	De z	Ja n	Fe v	Ma r	Ab r	Mai	Rotaçã o

1 ano	Colheita da Cana	Soja Semi-precoce	Plantio da cana	1 ano
1 ano	Colheita da Cana	Amendoim	Plantio cana	1 ano
1 ano	Colheita da Cana	Crotalária	Soja precoce	Plantio cana
2 anos	Colheita da Cana	Crotalária	Milho superprecoce	Crotalária
	Crotalária Semente	Amendoim	Plantio de Cana	
2 anos	Colheita de Cana	Crotalária	Milho precoce	Giras
	Girassol	Crotalária	Plantio de Cana	
2 anos	Colheita da Cana	Milho precoce	Crotalária	
	Crotalária Semente	Soja	Plantio de cana	
1 ano	Colheita da Cana	Crotalária	Plantio de cana de ano	1 ano

Fonte: Tanimoto, 2002

Decorrente do que foi dito acima, a integração entre a cana-de-açúcar e a culturas anuais é possível e viável, pois vai de encontro com os princípios de desenvolvimento agrícola sustentável. Entretanto, essa integração necessita além de ferramentas de planejamento e análises, maiores conhecimentos científicos no que diz respeito ao zoneamento agrícola e de variedades de ciclo curto de soja, milho e amendoim para compor a rotação de cultura com a cana, adaptadas aos novos ambientes, principalmente para as áreas do noroeste do estado de São Paulo e Centro-Oeste do Brasil.

2.2.2.4 Modelo Matemático para Manejo Bovino

2.2.2.4.1 Descrição

Um modelo matemático, baseado em Programação Linear, foi desenvolvido para representar o manejo do produtor bovino de recria e engorda. Este modelo tem como objetivo definir o melhor manejo possível para lotes disponíveis numa área pré-determinada, de acordo com custos de aquisição de bezerros e o seu manejo, preço de venda do boi gordo, curvas de crescimento, taxas de capacidade, mortalidade entre outros.

Através deste modelo é possível personalizar os valores destes parâmetros para as diversas regiões do Brasil, possibilitando assim investigar o potencial de produção de carne ótimo.

Além disso, o modelo matemático permite estimar os potenciais de ganho com a utilização de técnicas de manejo mais avançadas como, por exemplo, a utilização de confinamento para engorda ou a suplementação do bovino no pasto.

Ainda mais, existe a possibilidade de extensão deste modelo para incorporar outros aspectos do manejo pecuário como, por exemplo, intervenções no pasto para aumentar o número de unidades animais (o equivalente a um animal de 450 kg) por hectare.

Parâmetros usados no modelo

$TotalPeriodos$ = Total de Períodos disponíveis para planejamento.

$p \in P = \{1..TotalPeriodos\}$ = Conjunto de períodos p (meses) disponíveis.

$PR \subset P$ = Subconjunto de períodos pr (meses) em que há produção de ração para suplementação em pasto ou confinamento.

$m \in M = \{'Pasto', 'Pasto + Confinamento', 'Pasto + Suplementação'\}$ = Possíveis manejos dos animais.

$l \in L = \{'Pasto', 'Confinamento'\}$ = Possíveis locais para o manejo dos animais.

DP_p = Disponibilidade de pasto num período p dado em U.A. (equivalente a um animal de 450 kg).

$C_{p1,p2,p,m}$ = Peso médio do animal no período p , sendo este adquirido em $p1$, vendido em $p2$ e manejado de acordo com m .

$M_{p1,p2}$ = Taxa de mortalidade total de animais no mês $p2$ adquiridos no período $p1$.

$ML_{p1,p2,p,m,l}$ = Tem valor 1 caso o manejo m no período p ocupa o local l para animais adquiridos em $p1$ e vendidos em $p2$. Caso contrário vale 0.

$SupMax_{pr}$ = Quantidade máxima de animais em manejo 'Pasto+Suplementação' dado a disponibilidade máxima de produção de ração para suplementação no período pr .

$ConfMax_{pr}$ = Quantidade máxima de animais em local 'Confinamento' dado a disponibilidade máxima de produção de ração para confinamento no período pr .

$TMin_m$ = Número de períodos mínimo para o manejo m .

$TMax_m$ = Número de períodos máximo para o manejo m .

$PMin$ = Peso (em kg) mínimo para venda de animais.

$CMan_{p,m}$ = Custo mensal (em R\$/C.G.) de manejo m de animais no período p .

$CLoc_{p,l}$ = Custo mensal (em R\$/C.G.) de manter animais em local l no período p .

PV_p = Preço de venda (R\$/@) do animal no período p .

$Carc$ = Quantidade (em % de peso) de carcaça paga pela venda do animal.

$CBez_p$ = Custo de compra de bezerro (R\$/C.G.) no período p.

Variáveis de decisão

$X_{p1,p2,m}$ = Manejo m de animais adquiridos no mês p1 e vendidos no mês p2. A diferença entre p1 e p2 deve respeitar os limitantes de $TMin_m$ e $TMax_m$. Esta diferença também deve garantir que o animal vendido em p2 respeite o $PMin$ definido. Logo, p1 e p2 são restritos as condições: $p2 - p1 + 1 \geq TMin_m$, $p2 - p1 + 1 \leq TMax_m$ e $C_{p1,p2,p2,m} \geq PMin$.

$Y_{p,l}$ = Quantidade (em kg) de animais no local l no período p.

$Z_{p,m}$ = Animais em manejo m no período p.

$W_{p,l}$ = Animais no local l no período p.

Restrições

Define a quantidade (em kg) de animais em um local l num determinado período p.

$$Y_{p,l} = \sum_{p1 \leq p \leq p2} X_{p1,p2,m} \times C_{p1,p2,p,m} \times (100\% - M_{p1,p}) \times ML_{p1,p2,p,m,l}$$

Define o número de animais em um local l num determinado período p.

$$W_{p,l} = \sum_{p1 \leq p \leq p2} X_{p1,p2,m} \times (100\% - M_{p1,p}) \times ML_{p1,p2,p,m,l}$$

Define o número de animais em um manejo m num determinado período p.

$$Z_{p,m} = \sum_{p1 \leq p \leq p2} X_{p1,p2,m} \times (100\% - M_{p1,p})$$

Limita o número de animais em pasto a cada período p.

$$Y_{p,'Pasto'} \leq DP_p \times 450kg$$

Limita o número de animais em confinamento ou manejados através de 'Pasto+Suplementação' nos períodos pr de produção de ração.

$$\frac{Z_{pr,'Pasto+Suplementação'}}{SupMax_{pr}} + \frac{W_{pr,'Confinamento'}}{ConfMax_{pr}} \leq 1$$

Impede o confinamento de animais durante períodos $p \notin PR$ em que não há produção de ração para confinamento.

$$W_{p,'Confinamento'} = 0$$

Função Objetivo

$$\begin{aligned} \max \quad & \sum_{p1,p2,m} X_{p1,p2,m} \times C_{p1,p2,p2,m} \times (100\% - M_{p1,p2}) \times PV_{p2} \times Carc - \sum_{p1,p2,m} X_{p1,p2,m} \times CBez_{p1} \\ & - \sum_{p,l} W_{p,l} \times CLoc_{p,l} - \sum_{p,m} Z_{p,m} \times CMan_{p,m} \end{aligned}$$

O objetivo deste modelo matemático é buscar o maior retorno ao longo do horizonte de planejamento. Desta maneira, deve se maximizar a margem, ou seja, Receita – Custos. A receita é gerada a partir da venda de bovinos, enquanto que os custos estão contemplados na aquisição de bezerros e nos custos mensais devido ao manejo de um animal e/ou devido ao local onde se encontra o animal.

2.2.2.5 Comentários Finais

A integração da produção sucroalcooleira com atividades de agropecuária tem ocorrido já há alguns anos, como demonstra a iniciativa da Usina Vale do Rosário comentada brevemente na seção 2.2.2, indicando possível expansão da produção do bioetanol em áreas de pastagens com preservação de parte dessas áreas para pastagens. A demonstração de que esta expansão pode ser feita sem a redução da produção de carne bovina é tratada neste trabalho com um formalismo matemático de Programação Linear, uma vez o modelo de otimização daí obtido potencializa estudos mais abrangentes com representação ao longo do tempo de relações de produção e de comercialização com condicionantes da estrutura produtiva das usinas e da atividade de agropecuária. Para efeito deste projeto foram efetuados estudos de vários cenários, como indica a Tabela 75, definidos por diferentes disponibilidades de bagaço para produção de rações para suplementação da alimentação do gado no pasto e para engorda no confinamento. Uma visão mais completa desses cenários é disponível com os seus processamentos no sistema desenvolvido, que consiste de uma implementação do modelo matemático apresentado na Seção 2.2.4 feita com a linguagem algébrica AIMMS - Advanced Integrated Multidimensional Modeling Software. Outra vantagem desta implementação é o potencial de seu desdobramento para estudos mais complexos com representações detalhadas das interações resultantes do aproveitamento do biogás e adubos obtidos com os dejetos dos bois, e de reformas associadas com rotação de culturas.

2.3 Apreciação da integração da produção em grande escala de bioeletricidade e de insumos industriais no sistema produtivo açúcar – álcool tradicional²²

2.3.1 Análise de Custo Energético do processo de produção de energia elétrica, açúcar e etanol

A produção de açúcar e etanol a partir da cana-de-açúcar no Brasil compõe um dos setores mais importantes da economia nacional e tem se caracterizado, ao longo de sua história, pelo alto consumo de energia no processo industrial.

²² Pesquisadores responsáveis: Sílvia Azucena Nebra (NIPE/UNICAMP) e Reynaldo Palácios-Bereche (FEM/UNICAMP).

Atualmente o bagaço de cana é utilizado como fonte de energia para o processo produtivo, sendo consumido nos sistemas de cogeração das usinas e destilarias. Embora praticamente todas as unidades de produção do setor sucroalcooleiro sejam auto-suficientes em termos de energia graças ao uso deste como combustível, o seu uso de maneira eficiente tem proporcionado aos produtores o aumento da geração de excedentes de eletricidade, que se tornaram mais um produto da usina, sendo comercializada na rede elétrica.

Este trabalho visa à avaliação dos custos de produção de energia elétrica, açúcar e etanol em base energética. Uma adaptação da Teoria do Custo Exergético de Lozano e Valero (1993) foi utilizada. Esta teoria, por sua vez, tem uma base similar à metodologia de avaliação *insumo – produto* proposta por Leontief (1986). Uma breve introdução à mesma é dada no final deste item.

A obtenção dos parâmetros correspondentes às plantas sucroalcooleiras analisadas foi feita através de uma simulação numérica das mesmas, baseada em informações obtidas na literatura e em campo. O detalhamento deste procedimento pode ser encontrado em Ensinas (2008).

São analisados dois casos, o primeiro considera uma usina com sistema de cogeração com parâmetros de vapor vivo de 22bar e 300°C (configuração encontrada mais freqüentemente no setor sucroalcooleiro) e o segundo considera um sistema de cogeração com parâmetro de vapor *vivo* de 67bar e 500°C. Estes dois casos foram selecionados com o objetivo de mostrar as duas situações industriais mais comuns.

Os dois casos analisados correspondem à mesma produção. Foi assumida uma moenda de 500 t cana/h e um consumo de vapor de 456 kg vapor/t cana (228 t vapor/h).

A tecnologia de cogeração que utiliza vapor a 22 bar e 300°C corresponde à utilizada desde os anos 1980, ainda em operação na maioria das usinas. A que utiliza vapor a 67 bar e 500°C corresponde à que está sendo implantada nos casos de usinas novas, ampliações ou substituição de equipamentos.

A planta de produção analisada é a mesma nos dois casos. Pode ser considerado que ela inclui quase todas as melhores práticas e valores de eficiência encontráveis atualmente no setor. Foi considerado um consumo de vapor de 456 kg/t cana. Foi também considerado um sistema de evaporação de 5 efeitos. Foi suposta também uma eficiência de conversão na fermentação de 89%.

A metodologia desenvolvida, que será apresentada ao longo deste item, visa responder à questão: quanto da energia contida na cana- de- açúcar foi necessário utilizar para obter cada um dos produtos da usina?

2.3.1.1 Custo energético

Para apresentar conceitualmente a metodologia utilizada, optou-se inicialmente por fazer uma análise global do sistema, considerando apenas um volume de controle que contém a fábrica toda. Assim, a Figura 48 mostra a planta de produção de açúcar e etanol com os insumos e produtos respectivos. Na Tabela 77 são apresentadas as definições dos fluxos considerados nesta análise.

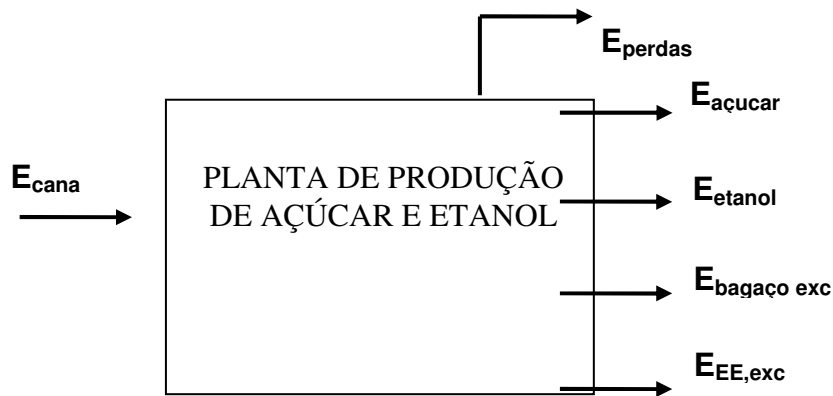


Figura 48: Esquema dos fluxos energéticos de entrada e saída no volume de controle global

Tabela 77: Fluxos considerados na análise do volume de controle global

Símbolo	Descrição	Equação
E_{cana}	Energia contida na cana-de-açúcar que entra na planta	$E_{cana} = m_{cana} \cdot PCI_{cana}$
$E_{açúcar}$	Energia contida no açúcar produzido	$E_{açúcar} = m_{açúcar} \cdot X_{sacarose} \cdot PCI_{sacarose}$
E_{etanol}	Energia contida no etanol produzido	$E_{etanol} = m_{etanol} \cdot X_{etanol} \cdot PCI_{etanol}$
$E_{bagaço\ exc}$	Energia contida no bagaço excedente	$E_{bagaço\ exc} = m_{bagaço\ exc} \cdot PCI_{bagaço,\ úmido}$
$E_{EE,exc}$	Energia elétrica excedente	-
E_{perdas}	Perdas energéticas no processo	-

Fazendo um balanço de energia no volume de controle global tem-se:

$$E_{cana} = E_{açúcar} + E_{etanol} + E_{bagaço\ exc} + E_{EE,exc} + E_{perdas} \quad (1)$$

Considerando como produtos úteis a açúcar, o etanol, o bagaço excedente e a eletricidade excedente; e como insumo, a energia contida na cana-de-açúcar, poder-se-ia distribuir a energia total e as E_{perdas} entre os produtos úteis e identificando assim a quantidade de energia da cana-de-açúcar que é destinada a cada um destes produtos. Assim pode ser escrita a equação 2:

$$E_{cana} = E^*_{açúcar} + E^*_{etanol} + E^*_{bagaço\ exc} + E^*_{EE,exc} \quad (2)$$

Onde as quantidade $E^*_{açúcar}$, E^*_{etanol} , $E^*_{bagaço\ exc}$ e $E^*_{EE,exc}$ se definem como custos energéticos e estão em unidades de energia. É importante perceber que:

$$E^*_{açúcar} > E_{açúcar}$$

$$E^*_{etanol} > E_{etanol}$$

$$E^*_{\text{bagaço exc}} > E_{\text{bagaço exc}}$$

$$E^*_{\text{EE,exc}} > E_{\text{EE,exc}}$$

Considerando que o custo energético da cana é igual à energia da cana $E_{\text{cana}} = E^*_{\text{cana}}$, a equação 2 pode-se escrever da seguinte maneira:

$$E^*_{\text{cana}} = E^*_{\text{açúcar}} + E^*_{\text{etanol}} + E^*_{\text{bagaço exc}} + E^*_{\text{EE,exc}} \quad (3)$$

Na Teoria do Custo Exergético, o sistema de produção é subdividido em unidades menores, cada uma das quais é avaliada como um "centro de custos energéticos", formulando assim uma equação de balanço para cada unidade do sistema. Na análise de Custo Energético Global, (Eq. 3) está sendo feito o mesmo tratamento para o sistema todo.

A seguinte nomenclatura será utilizada no restante do trabalho:

$$k_{\text{açúcar}} = E^*_{\text{açúcar}} / E_{\text{açúcar}}$$

$$k_{\text{etanol}} = E^*_{\text{etanol}} / E_{\text{etanol}}$$

$$k_{\text{bagaço exc}} = E^*_{\text{bagaço exc}} / E_{\text{bagaço exc}}$$

$$k_{\text{EE,exc}} = E^*_{\text{EE,exc}} / E_{\text{EE,exc}}$$

Onde: $k_{\text{açúcar}}$, k_{etanol} , $k_{\text{bagaço exc}}$ e $k_{\text{EE,exc}}$ são os custos energéticos unitários do açúcar do etanol, do bagaço excedente e da eletricidade excedente. O custo energético unitário indica a quantidade de unidades energéticas necessárias para produzir uma unidade energética do fluxo em consideração. Finalmente a equação 3 pode ser escrita da seguinte maneira:

$$k_{\text{cana}} \cdot E_{\text{cana}} = k_{\text{açúcar}} \cdot E_{\text{açúcar}} + k_{\text{etanol}} \cdot E_{\text{etanol}} + k_{\text{bagaço exc}} \cdot E^*_{\text{bagaço exc}} + k_{\text{EE,exc}} \cdot E^*_{\text{EE,exc}} \quad (4)$$

Onde adota-se $k_{\text{cana}} = 1$. (insumo externo).

Assim, com a finalidade de encontrar os custos energéticos do açúcar, do etanol, do bagaço excedente e da eletricidade excedente, o volume de controle global (planta de produção de açúcar e etanol) é dividido em 8 subsistemas nos quais é realizado o balanço de custos identificando os produtos e insumos energéticos de cada subsistema.

Os subsistemas considerados são:

1. Lavagem, preparo e extração
2. Tratamento do caldo para produção de açúcar
3. Tratamento do caldo para produção de etanol
4. Sistema de Evaporação

5. Cozimento + Secagem de açúcar
6. Preparação do mosto e fermentação
7. Destilação e Retificação
8. Sistema de Cogeração

O detalhamento da análise e as considerações adotadas em cada um destes subsistemas esta apresentado no item 2.1.3.

Para a avaliação do conteúdo energético dos insumos e produtos decidiu-se adotar o PCI – Poder Calorífico Inferior de cada um deles, como indicado na Tabela 2.1.1. A seguir reportam-se os detalhes destes cálculos.

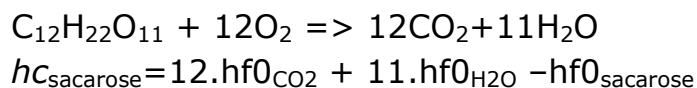
Poder calorífico dos sacarídeos

Para o presente estudo, a sacarose foi considerada como um combustível, uma vez que ela libera energia dentro do corpo humano através de processos metabólicos. O poder calorífico de um combustível é definido como a quantidade de calor liberado quando um combustível é queimado completamente em um processo em regime permanente com os produtos levados a igual estado, padronizado a 25°C e 1 atm, dos reagentes. Em outras palavras o poder calorífico de um combustível é igual ao valor absoluto da sua entalpia de combustão:

$$PCI = |hc| \quad [kJ/kg \text{ de combustível}]$$

Como valor representativo do poder calorífico dos diferentes sacarídeos presentes na cana-de-açúcar foi considerado o PCI da sacarose.

Considerando a reação de combustão da sacarose $C_{12}H_{22}O_{11}$ e as condições de referencia: $T_0 = 25^\circ C$ e $P_0 = 101,325 \text{ kPa}$ tem-se:

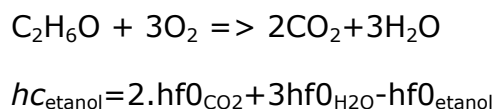


Clarke e Stegeman, (1939) apud NIST, (2009) fornecem o dado da entalpia padrão de formação da sacarose a 25°C: $hf_{sacarose} = -2221200 [kJ/kmol]$. A partir destes dados pode ser calculado o poder calorífico inferior da sacarose:

$$PCI_{sacarose} = 15 \ 078 \text{ kJ/kg}$$

Poder calorífico do etanol

O poder calorífico do etanol também é calculado a partir da entalpia de combustão do etanol a 25°C e $P = 101,325 \text{ kPa}$. Os dados das entalpias de formação padrão do etanol, do dióxido de carbono e da água são obtidos da tabela JANAF do software EES – Engineering Equation Solver.



$$PCI_{etanol} = 27 \ 723 \text{ kJ/kg}$$

Este valor corresponde ao etanol puro, com 100% de conteúdo de etanol.

Poder calorífico do bagaço

O poder calorífico inferior do bagaço pode ser calculado segundo Rein (2007) com a seguinte equação.

$$PCI_{\text{bagaço}} = 18260 - 207,01 * w_{\text{ba}} - 182,60 * w_{\text{cinzas}} - 31,14 * w_{\text{ds}}$$

Onde w_{ba} é a umidade do bagaço, w_{cinzas} é o conteúdo de cinzas e w_{ds} é o Brix do bagaço.

Considerando bagaço totalmente seco ($w_{\text{ba}} = 0$), conteúdo de cinzas 2% e sem conteúdo de sólidos solúveis ($w_{\text{ds}} = 0$) tem-se:

$$PCI_{\text{bagaço,seco}} = 17\ 895 \text{ kJ/kg}$$

Por outro lado considerando o bagaço que sai da moenda com umidade $w_{\text{ba}}=50\%$ e brix $w_{\text{ds}}=3,095$ e conteúdo de cinzas de 2% tem-se:

$$PCI_{\text{bagaço,umido50\%}} = 7\ 448 \text{ kJ/kg}$$

Poder calorífico da cana

A cana-de-açúcar é um composto bifásico sólido – líquido. A fase sólida é um complexo pentoxan e lignocelulósico integrado por fibras celulósicas formando canais entre os entrenós, nos que se aloca o caldo. O caldo é uma solução aquosa contendo uma grande variedade de compostos orgânicos e inorgânicos sendo os açúcares aproximadamente 90% (Spencer e Meade, 1967 apud Fernández Parra, 2003). Esta estrutura morfológica da cana-de-açúcar leva a estabelecer, para os fins desta pesquisa, a cana como a soma da fibra mais o caldo. Na Tabela 78 apresenta-se a composição elementar a cana-de-açúcar reportada na literatura por vários autores.

Tabela 78: Composição elementar da cana-de-açúcar

Autor	Fibra	Água	Sacarose	Glicose	Frutose
Leme Jr. 1965	8-18	65-75	11-18	0,1-1	0-0,6
Jackson 1990	8-4	75-82	14,5-22	0,3-1,1	0-0,7
Spencer e Meade, 1967	11-16	73-76	7,8-14	0,2-6,4	0,2-6,4
Howard Payne, 1982	12,5	72	15,5	-	
Noa et al. 1991	12,21	71	14,1	1,33	

Fonte: Fernández Parra (2003)

Assim, o poder calorífico total da cana pode ser calculado como a soma de duas parcelas, sendo a primeira o poder calorífico da fibra seca e a segunda o do caldo. O caldo que é uma dissolução multicomponente de compostos orgânicos e inorgânicos, sendo que a sacarose contida está em maior proporção, assim foi considerado o poder calorífico do caldo como sendo igual ao poder calorífico da sacarose contida nele.

Finalmente o poder calorífico da cana-de-açúcar pode ser calculado segundo a seguinte expressão:

$$PCI_{cana} = x_{fibra} \cdot PCI_{bagaço,seco} + x_{sacarose} \cdot PCI_{sacarose}$$

Onde x_{fibra} é a porcentagem de fibra e $x_{sacarose}$ é o pol da cana. Para o presente estudo é considerada uma porcentagem de fibra na cana $x_{fibra} = 14\%$ e um pol da cana de 14. Com estes valores o poder calorífico inferior da cana resulta em:

$$PCI_{cana} = 4616 \text{ kJ/kg}$$

A água presente no caldo não contribui para o conteúdo energético da cana.

2.3.1.2 Casos analisados

O primeiro caso em análise corresponde a uma usina com sistema de cogeração com ciclo a vapor e parâmetros de vapor vivo de 22 bar e 300°C.

A Figura 49 apresenta o esquema do sistema de cogeração considerado. Neste esquema a caldeira produz vapor a 22 bar e 300°C, uma parte do vapor é destinada para as turbinas de acionamento mecânico da moenda, desfibradores, picadores e outros. A outra parte do vapor vai para a turbina de geração onde se expande até 2,5 bar; depois este vapor vai para o desuperaquecedor onde se junta com o vapor proveniente das turbinas de acionamento direto para depois atender as necessidades do processo.

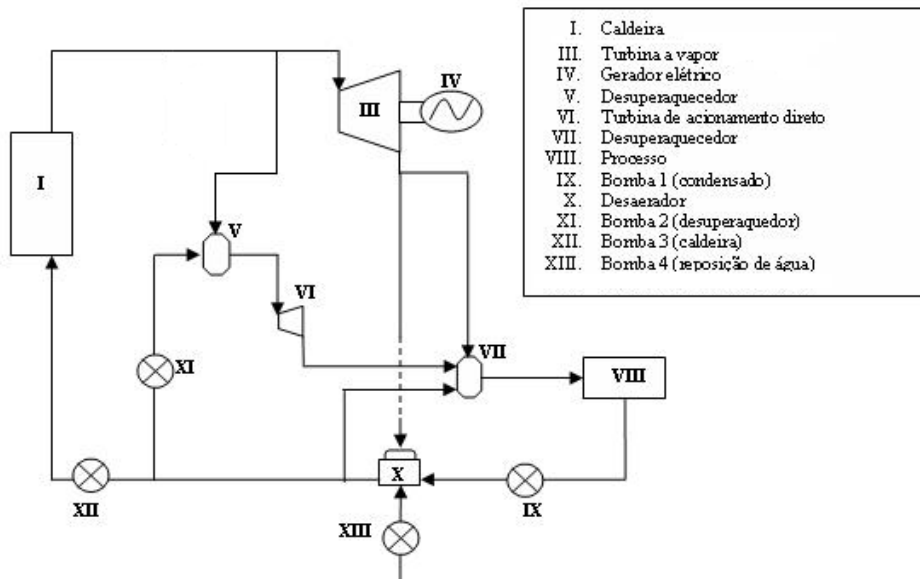


Figura 49: Sistema de cogeração - Caso 1

A eficiência da caldeira foi considerada em 75% base PCI enquanto a eficiência do turbogerador foi considerada em 70% (Seabra, 2008). A eficiência isentrópica das turbinas de acionamento direto foi considerada em 55% segundo Ensinas (2008).

O valor considerado para a eficiência das turbinas de acionamento direto corresponde aos praticados hoje, com turbinas de três estágios. Turbinas pequenas mais antigas, de apenas um estágio, costumam ter eficiências menores, em torno de 40%. Esta possibilidade não foi considerada na avaliação.

O segundo caso corresponde a uma usina com sistema de cogeração com ciclo a vapor e parâmetros de vapor vivo de 67 bar e 500°C.

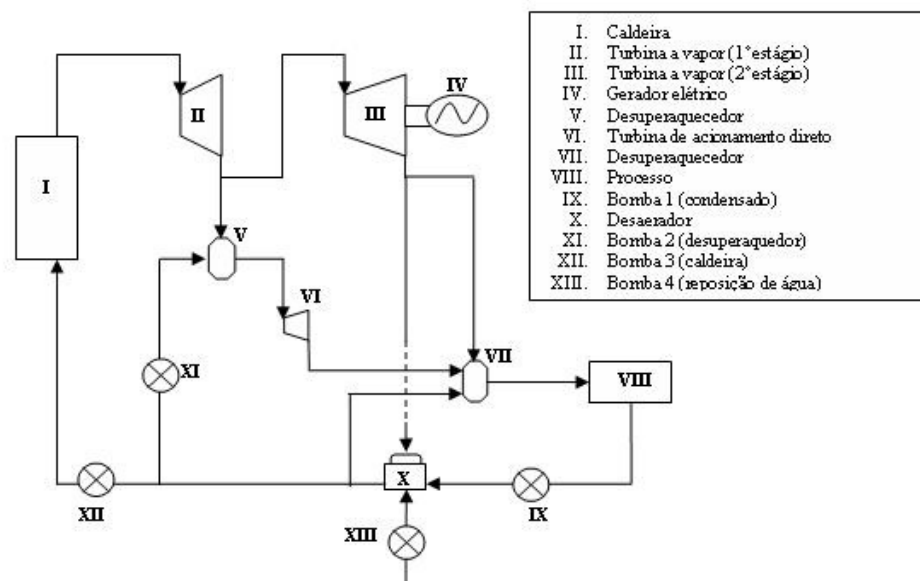


Figura 50: Sistema de cogeração - Caso 2

Este caso possui também turbinas de contrapressão. O vapor produzido na caldeira a 67bar e 500°C se expande primeiro na turbina de vapor de alta pressão; xxx

depois uma parte vai para as turbinas de acionamento mecânico enquanto a outra se expande na turbina de média pressão até 2,5 bar para depois atender os requerimentos do processo.

Neste caso foi adotada uma eficiência da caldeira de 85% em base PCI enquanto a eficiência dos turbogeradores foi adotada em 80% (Seabra, 2008). Estes valores correspondem às melhores práticas atuais.

2.3.1.3 Volumes de controle adotados para a análise

No seguinte diagrama é apresentado o fluxograma completo do processo de produção de açúcar e etanol. Também são indicados os volumes de controle adotados para a realização da análise de Custo Energético.

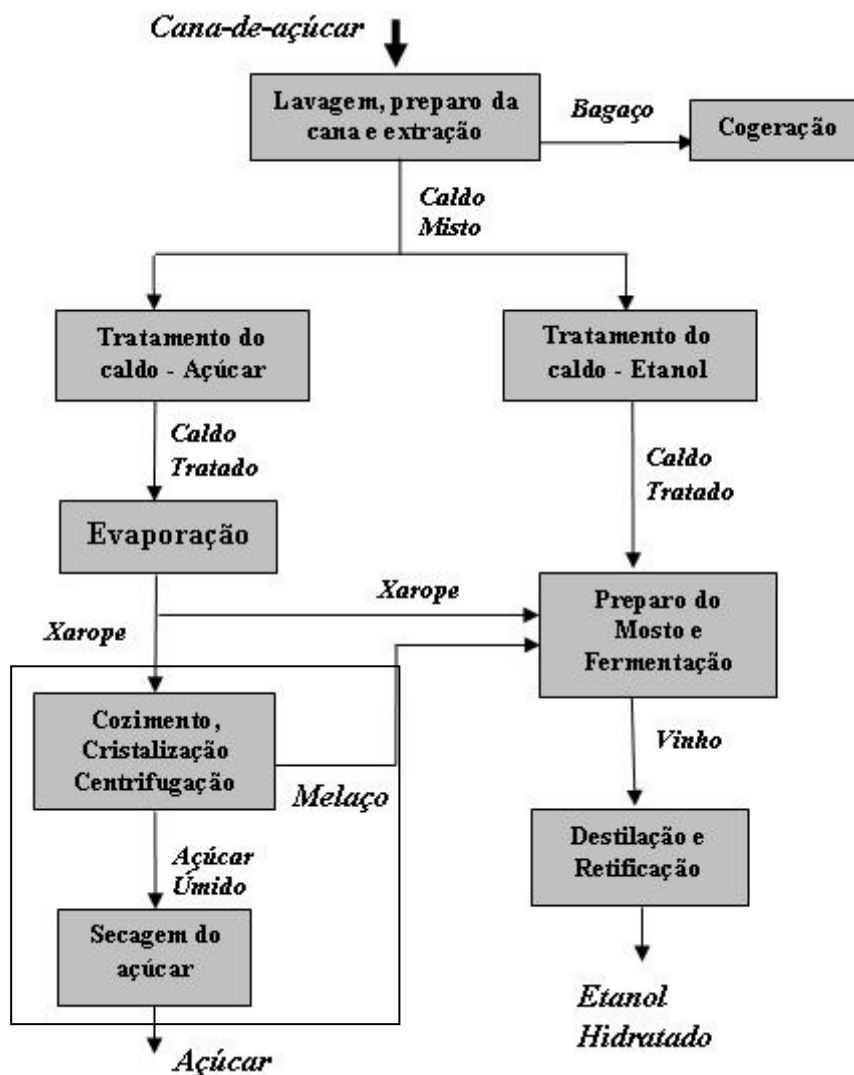


Figura 51: Fluxograma do processo de produção de açúcar e etanol

Subsistema A - Lavagem, preparo e extração

Na Figura 52 é apresentado um esquema indicando os insumos e produtos energéticos no volume de controle A – Lavagem, preparo e extração, enquanto na Tabela 79 é apresentada a descrição de cada fluxo energético, assim como a sua equação de cálculo.

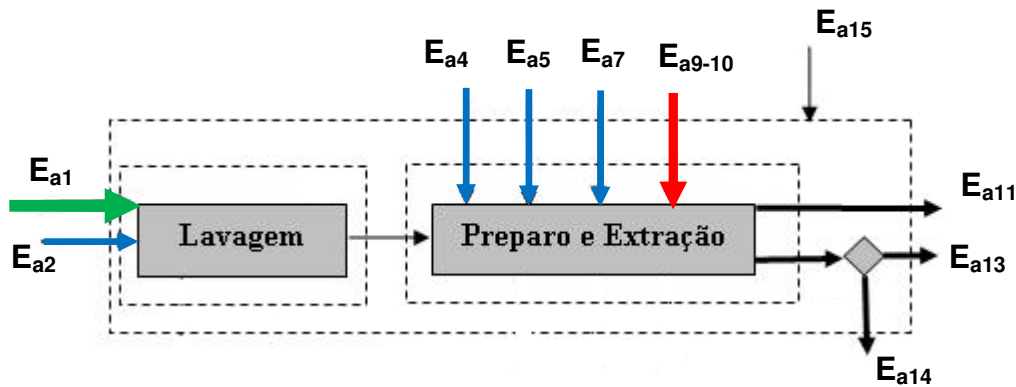


Figura 52: Volume de controle – A – lavagem preparo e extração

Tabela 79: Fluxos energéticos no volume de controle – A

Variável	Descrição	Equação
E_{a1}	Energia da cana-de-açúcar	$E_{a1} = m_{a1} * PCI_{cana}$
E_{a2}	Energia fornecida na água de reposição da lavagem da cana	0
E_{a4}	Energia fornecida na água de embebição	$E_{a4} = m_{a4} * (h_{a4} - h_{a4;0})$
E_{a5}	Energia fornecida na água de reposição do resfriamento de mancais	0
E_{a7}	Energia fornecida na água de reposição do resfriamento do óleo de lubrificação	0
E_{a9-10}	Energia fornecida para o acionamento de moendas	$E_{a9-10} = m_{a9-10} * (h_{v;a9} - h_{c;a9})$
E_{a11}	Energia do bagaço	$E_{a11} = m_{a11} * PCI_{bagaço50\%}$
E_{a13}	Energia contida no caldo misto para açúcar	$E_{a13} = m_{a13} * x_{sac;a13} * PCI_{sacarose} + m_{a13} * (h_{a13} - h_{a13;0})$
E_{a14}	Energia contida no caldo misto para etanol	$E_{a14} = m_{a14} * x_{sac;a14} * PCI_{sacarose} + m_{a14} * (h_{a14} - h_{a14;0})$
E_{a15}	Energia elétrica	$E_{a15} = W_{a15}$

Neste subsistema as condições de temperatura e pressão da água de reposição de lavagem de cana, resfriamento de mancais, resfriamento do óleo de lubrificação são iguais às condições de referencia $T_0=25^\circ\text{C}$ e $P_0=101,325\text{kPa}$. Assim, estes fluxos energéticos são considerados nulos :

$$E_{a2} = E_{a5} = E_{a7} = 0$$

Também é considerado que o bagaço é um subproduto deste sistema, assim o custo energético unitário do bagaço será igual ao custo energético unitário da cana:

$$ka_{11} = k_{cana} = 1.$$

Os produtos deste sistema E_{a13} e E_{a14} têm o mesmo custo energético unitário:

$$ka_{13} = ka_{14}.$$

x_{sac} é a fração em massa de sacarose contida no respectivo fluxo mássico.

Subsistema B – Tratamento do caldo – açúcar

Na Figura 53 é apresentado o esquema indicando os insumos e produtos energéticos no volume de controle B – Tratamento do caldo açúcar, enquanto na tabela 2.1.4 é apresentada a descrição de cada fluxo assim como a sua equação de cálculo.

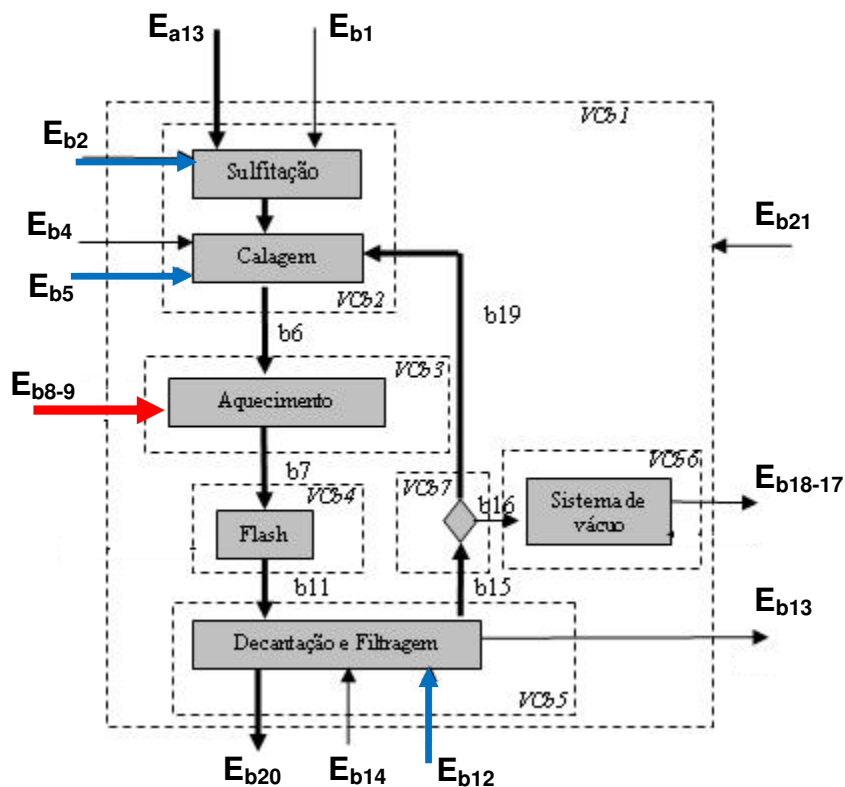


Figura 53: Volume de controle – B – Tratamento de caldo açúcar

Tabela 80: Fluxos energéticos no volume de controle – B

Variável	Descrição	Equação
E_{b1}	Energia fornecida no dióxido de enxofre	0
E_{b2}	Energia fornecida na água de reposição do resfriamento da sulfitação	0
E_{b4}	Energia fornecida no óxido de cálcio	0
E_{b5}	Energia fornecida na água de diluição do leite de cal	$E_{b12} = m_{b5} * (h_{b5} - h_{b5;0})$
E_{b8-9}	Energia fornecida para o aquecimento do caldo – vapor vegetal V1	$E_{b8-9} = m_{b8} * (h_{v;b8} - h_{c;b9})$
E_{b12}	Energia fornecida na água para lavagem da torta	$E_{b12} = m_{b12} * (h_{b12} - h_{b12;0})$
E_{b13}	Energia na torta de filtro	$E_{b13} = 0$
E_{b14}	Energia fornecida no bagacilho	$E_{b14} = m_{b14} * PCI_{bagaço50\%}$
E_{b18-17}	Energia dissipada no sistema de vácuo	$E_{b18-17} = m_{b18} * h_{b18} - m_{b17} * h_{b17}$
E_{b20}	Energia contida no caldo tratado	$E_{b20} = m_{b20} * x_{sac;b20} * PCI_{sacarose} + m_{b20} * (h_{b20} - h_{b20;0})$
E_{b21}	Energia elétrica	$E_{b21} = W_{b21}$

Neste subsistema esta sendo considerando que os insumos químicos como o dióxido de enxofre e o óxido de cálcio têm custo energético zero devido que eles estão entrando no sistema às mesmas condições de pressão e temperatura de referencia.

Considerou-se também que a água de reposição do resfriamento da sulfitação entra no subsistema B nas condições de referência, conseqüentemente

$$E_{b4} = 0$$

Uma vez que a torta de filtro não terá utilidade energética posterior considerou-se como Custo Energético unitário da torta de filtro:

$$k_{b13} = 0.$$

Também é considerado que o custo energético unitário do bagacilho é igual ao custo do bagaço

$$k_{b14} = k_{a11}$$

A torta de filtro, embora seja utilizada como fertilizante na lavoura, não foi incluída como um produto do sistema, portanto, atribuiu-se valor nulo à energia que ela carrega.

Tabela 81: Fluxos energéticos no volume de controle – C

Variável	Descrição	Equação
E_{c1}	Energia fornecida no óxido de cálcio	0
E_{c2}	Energia fornecida na água de diluição do leite de cal	$E_{c2} = m_{c2} * (h_{c2} - h_{c2;0})$
E_{c5-6}	Energia fornecida para o aquecimento do caldo – vapor vegetal V1	$E_{c5-6} = m_{c5} * (h_{v;c5} - h_{c;c6})$
E_{c9}	Energia fornecida na água para lavagem da torta	$E_{c9} = m_{c9} * (h_{c9} - h_{c9;0})$
E_{c10}	Energia fornecida no bagacilho	$E_{c10} = m_{c10} * PCI_{\text{bagaço}50\%}$
E_{c11}	Energia na torta de filtro	$E_{c11} = 0$
E_{c14-13}	Energia dissipada no sistema de vácuo	$E_{c14-13} = m_{c14} * h_{c14} - m_{c13} * h_{c13}$
E_{c17}	Energia contida no caldo tratado	$E_{c17} = m_{c17} * x_{\text{sac};c17} * PCI_{\text{sacarose}}$
E_{c18}	Energia elétrica	W_{c18}

Subsistema D – Sistema de evaporação

Na Figura 55 é apresentado o esquema indicando os insumos e produtos energéticos no volume de controle D – Sistema de evaporação, enquanto na Tabela 82 é apresentada a descrição de cada fluxo assim como a sua equação de cálculo.

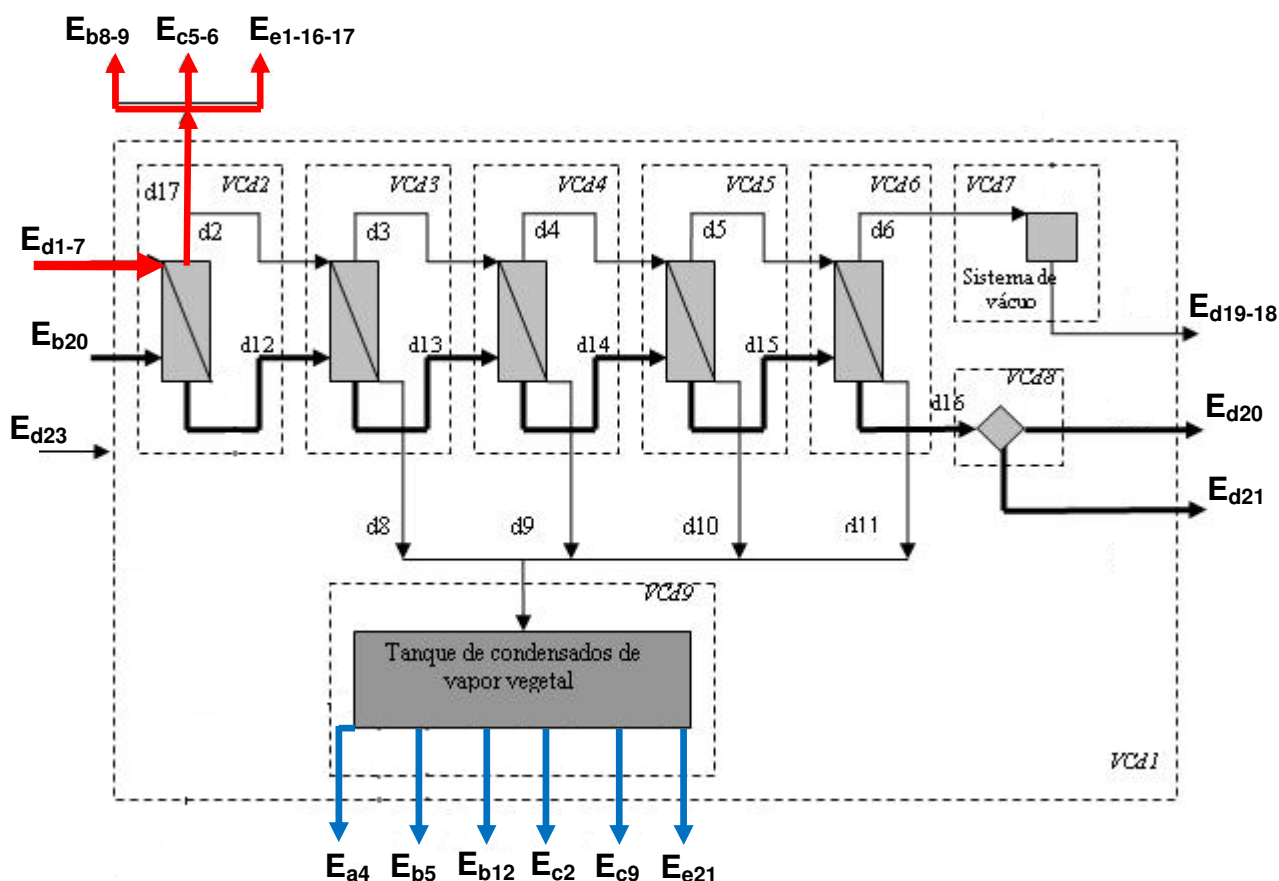


Figura 55: Volume de controle – D – Sistema de evaporação

Tabela 82: Fluxos energéticos no volume de controle – D

Variável	Descrição	Equação
E_{d1-7}	Energia de aquecimento para a evaporação – vapor de escape	$E_{d1-7} = m_{d1} * (h_{v;d1} - h_{c;d7})$
E_{d19-18}	Energia dissipada no sistema de vácuo	$E_{d19-d18} = m_{d19} * h_{d19} - m_{d18} * h_{d18}$
E_{d20}	Energia contida no xarope para preparação do mosto	$E_{d20} = m_{d20} * x_{sac;d20} PCI_{sacarose} + m_{d20} * (h_{d20} - h_{d20;0})$
E_{d21}	Energia contida no xarope para preparação de açúcar	$E_{d21} = m_{d21} * x_{sac;d21} PCI_{sacarose} + m_{d21} * (h_{d21} - h_{d21;0})$
E_{d23}	Energia elétrica	W_{d23}

Os produtos xarope para preparação do mosto e xarope para preparação de açúcar têm o mesmo custo energético unitário:

$$kd_{20} = kd_{21}.$$

Os produtos térmicos tais como vapor vegetal (b8-9, c5-6, e1-16-17) e condensados de vapor vegetal (a4, b5, b12, c2, c9, e21) têm o mesmo custo energético unitário que o vapor de acionamento (d1-7).

$$k_{d1-7} = k_{b9-8} = k_{c5-6} = k_{e1-16-17}$$

$$k_{d1-7} = k_{a4} = k_{b5} = k_{b12} = k_{c2} = k_{c9} = k_{e21}$$

Esta última suposição foi feita com o intuito de carregar sempre nos produtos de cada subsistema os custos da energia consumida no mesmo.

A energia dissipada no sistema de vácuo, fluxo E_{d19-18} não foi considerada como produto útil, já que se trata de uma perda.

Subsistema E+F – Cozimento + secagem de açúcar

Na Figura 56 é apresentado o esquema indicando os insumos e produtos energéticos no volume de controle E+F – Cozimento + secagem de açúcar, enquanto na Tabela 83 é apresentada a descrição de cada fluxo assim como a sua equação de cálculo.

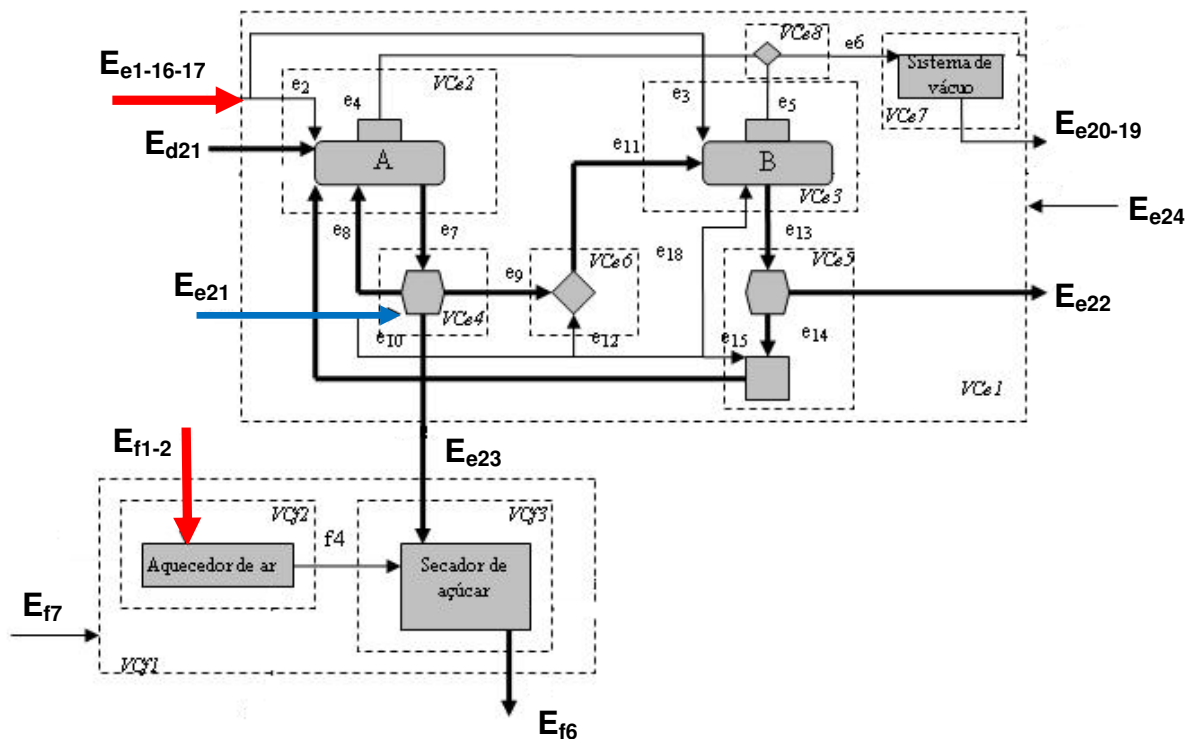


Figura 56: Volume de controle – E+F – Cozimento + Secagem de açúcar

Tabela 83: Fluxos energéticos no volume de controle – E+F

Variável	Descrição	Equação
$E_{e1-16-17}$	Energia de aquecimento para o cozimento – vapor vegetal V1	$E_{e1-16-17} = m_{e1} * (h_{v;e1} - h_{c;e17})$
E_{e20-19}	Energia dissipada no sistema de vácuo	$E_{e20-19} = m_{e20} * h_{e20} - m_{e19} * h_{e19}$
E_{e21}	Energia fornecida na água adicionada no cozimento	$E_{e21} = m_{e21} * (h_{e21} - h_{e21;0})$
E_{e22}	Energia contida no melão	$E_{e22} = m_{e22} * x_{sac;e22} PCI_{sacarose} + m_{e22} * (h_{e22} - h_{e22;0})$
E_{e24}	Energia elétrica	$E_{e24} = W_{e24}$
E_{f1-2}	Energia de aquecimento para o secador de açúcar – vapor de escape	$E_{f1-2} = m_{f1-2} * (h_{v;f1} - h_{c;f2})$
E_{f6}	Energia contida no açúcar	$E_{f6} = m_{f6} * x_{sac;f6} PCI_{sacarose}$
E_{f7}	Energia elétrica	$E_{f7} = W_{f7}$

Considerou-se que o melão é um subproduto deste sistema, assim, ele tem o mesmo custo energético unitário que o xarope para preparação de açúcar:

$$k_{d21} = k_{e22}.$$

Como no caso anterior, a energia dissipada no sistema de vácuo, fluxo E_{e20-19} não foi considerada como produto útil, já que se trata de uma perda.

Subsistema G – Preparação do mosto e fermentação

Na Figura 57 é apresentado o esquema indicando os insumos e produtos energéticos no volume de controle G – Preparação do mosto e fermentação, enquanto na Tabela 84 é apresentada a descrição de cada fluxo assim como a sua equação de cálculo.

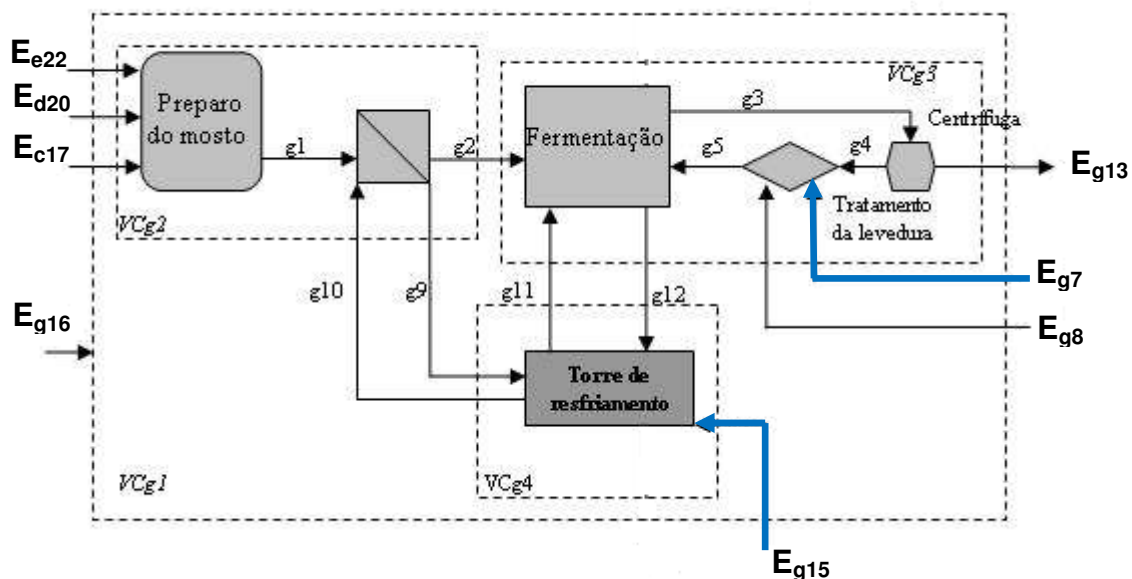


Figura 57: Volume de controle – G – Preparação do mosto e fermentação

Tabela 84: Fluxos energéticos no volume de controle – G

Variável	Descrição	Equação
E_{g7}	Energia fornecida na água de diluição do leite de levedura	0
E_{g8}	Energia fornecida no ácido sulfúrico	0
E_{g13}	Energia contida no vinho centrifugado	$E_{g13} = m_{g13} \cdot x_{\text{etanol};g13} \cdot PCI_{\text{etanol}}$
E_{g15}	Energia fornecida na água de reposição da torre de resfriamento	0
E_{g16}	Energia elétrica	$E_{g16} = W_{g16}$

Neste subsistema é considerado que a água de diluição do leite de levedura assim como o ácido sulfúrico e a água de reposição da torre de resfriamento estão ingressando neste volume de controle às condições de referência T_0 e P_0 . Conseqüentemente:

$$E_{g7} = E_{g8} = E_{g15} = 0.$$

Neste volume de controle acontece a transformação dos açúcares em etanol. Assim, o conteúdo energético do vinho centrifugado é calculado em função da fração mássica de etanol neste fluxo ($x_{\text{etanol};g13}$).

Subsistema H – Destilação e retificação

Na Figura 58 é apresentado o esquema indicando os insumos e produtos energéticos no volume de controle H – Destilação e retificação, enquanto na Tabela 85 é apresentada a descrição de cada fluxo assim como a sua equação de cálculo.

Neste volume de controle esta sendo considerado o etanol hidratado (h17) como produto principal, enquanto o etanol de segunda (h5) esta sendo considerado como um subproduto. Assim, esta sendo atribuído para o etanol de segunda (h5) o mesmo custo energético unitário que para o vinho centrifugado (g13):

$$kh5=kg13.$$

Também esta sendo considerado que a vinhaça e a flegmassa que saem deste volume de controle (h11), a pesar do seu conteúdo de etanol, não tem utilidade térmica posterior, conseqüentemente são computadas nos cálculos como uma perda ($kh11 = 0$).

Os fluxos correspondentes às energias dissipadas (perdas) com os gases que escapam do volume de controle, E_{h4-3} e E_{h7-6} não foram considerados fluxos úteis.

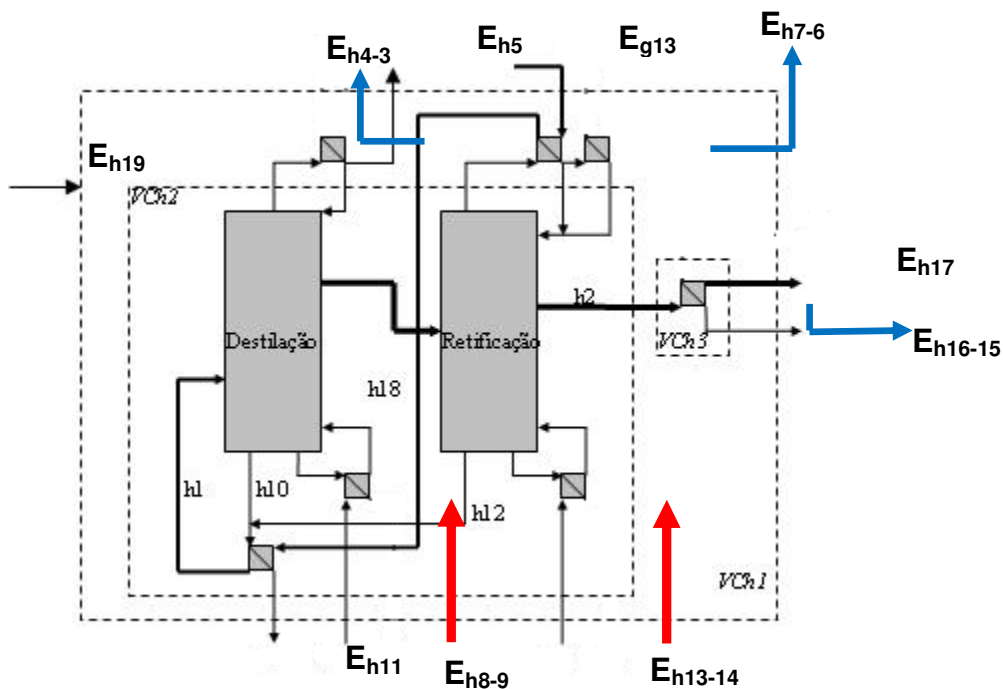


Figura 58: Volume de controle – H – Destilação e retificação

Tabela 85: Fluxos energéticos no volume de controle – H

Variável	Descrição	Equação
E_{h5}	Etanol de segunda	$E_{h5} = m_{h5} * x_{\text{etanol};h5} PCI_{\text{etanol}}$
E_{h4-3}	Energia dissipada no condensador da coluna A	$E_{h4-3} = m_{h4} * (h_{h4} - h_{h3})$
E_{h7-6}	Energia dissipada no condensador da coluna B	$E_{h7-6} = m_{h7} * (h_{h7} - h_{h6})$
E_{h8-9}	Energia de aquecimento no refeedor da coluna A	$E_{h8-9} = m_{h8} * (h_{v;h8} - h_{c;h9})$
E_{h11}	Energia contida na Vinhaça + Flegmassa	$E_{h11} = m_{h11} * x_{\text{etanol};h11} PCI_{\text{etanol}}$
E_{h13-14}	Energia de aquecimento no refeedor da coluna B	$E_{h13-14} = m_{h13} * (h_{v;h13} - h_{c;h14})$
E_{h16-15}	Energia trocada no resfriamento do etanol	$E_{h16-15} = m_{h16} * (h_{h16} - h_{h15})$
E_{h17}	Etanol hidratado	$E_{h17} = m_{h17} * x_{\text{etanol};h17} PCI_{\text{etanol}}$
E_{h19}	Energia elétrica	$E_{h9} = W_{h9}$

Subsistema J – Cogeração

Na Figura 59 é apresentado o esquema indicando os insumos e produtos energéticos no volume de controle J – Cogeração, enquanto na Tabela 86 é apresentada a descrição de cada fluxo assim como a sua equação de cálculo.

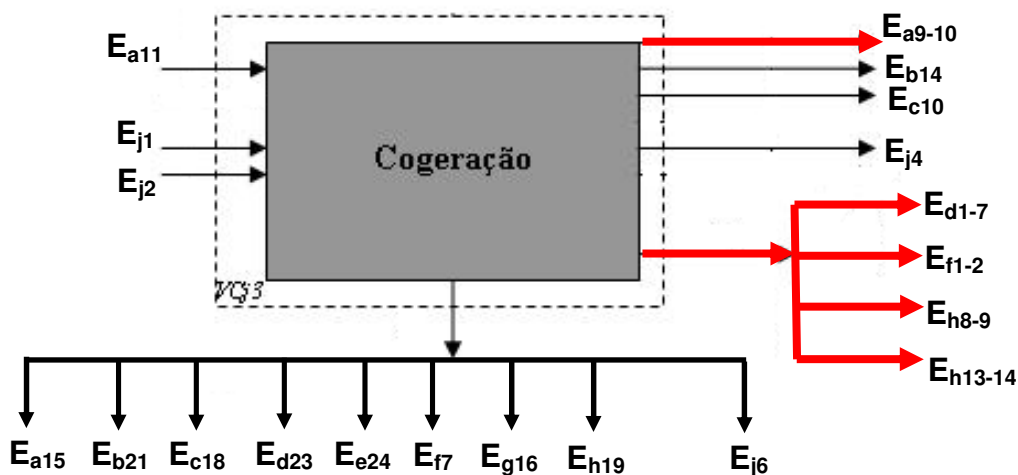


Figura 59: Volume de controle – J – Sistema de cogeração

Uma vez que a água de reposição para o gerador de vapor (j1) e a água de reposição para o lavador de gases (j2) estão entrando neste volume de controle às condições de referência T0 e P0 a energia destes fluxos é zero:

$$E_{j1} = E_{j2} = 0$$

Tabela 86: Fluxos energéticos no volume de controle – J

Variável	Descrição	Equação
E_{j1}	Energia na água de reposição para gerador de vapor	0
E_{j2}	Energia na água de reposição para lavador de gases	0
E_{j4}	Energia no bagaço excedente	$E_{j4} = m_{j4} * PCI_{\text{bagaço}50\%}$
E_{j6}	Energia elétrica excedente	$E_{j6} = W_{j6}$

O bagaço excedente (E_{j4}) assim como os fluxos energéticos de bagacilho (E_{b4} e E_{c10}) são considerados como subprodutos deste subsistema, assim estes fluxos têm o mesmo custo energético unitário que o insumo principal que é o fluxo de bagaço (E_{a11}):

$$k_{a11} = k_{b14} = k_{c10}$$

Os fluxos energéticos de vapor, tanto de escape da turbina (E_{d1-7} , E_{f1-2} , E_{h8-9} , E_{h13-14}) como de vapor vivo (E_{a9-10}) têm o mesmo custo energético unitário:

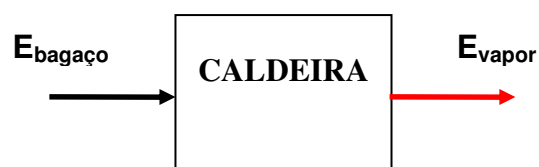
$$k_{d1-7} = k_{f1-2} = k_{h8-9} = k_{h13-14} = k_{a9-10}$$

Também todos os fluxos de eletricidade têm o mesmo custo energético unitário:

$$k_{a15} = k_{b21} = k_{c18} = k_{c18} = k_{d23} = k_{e24} = k_{f7} = k_{g6} = k_{h8} = k_{j6}$$

Caldeira

Com a finalidade de fechar o sistema de equações é realizado também o balanço de custos na caldeira do sistema de cogeração:



$$E_{\text{bagaço}} \cdot k_{\text{bagaço}} = E_{\text{vapor}} \cdot k_{\text{vapor}}$$

Onde o custo energético unitário do bagaço que ingressa na caldeira é igual ao custo energético do bagaço na saída do sistema de extração

$$k_{\text{bagaço}} = k_{a11},$$

e o custo energético unitário do vapor produzido na caldeira é igual ao custo energético unitário do vapor utilizado para o acionamento das moendas:

kvapor=ka9-10

Subsistema I – Sistema de refrigeração de água

Este último subsistema tem a finalidade de resfriar os fluxos de água (condensados) destinados ao sistema de resfriamento da planta consumindo para isto energia elétrica.

Dentre as utilidades frias que requer a planta estão: os fluxos de água para o sistema de vácuo do tratamento de caldo para açúcar e etanol, para o sistema de evaporação, para o sistema de cozimento e para a dissipação de calor no sistema de destilação e retificação.

Neste estudo o consumo de energia elétrica do sistema de resfriamento de água E_{i3} foi distribuído entre os subsistemas que precisam estas utilidades frias (B, C, D, E+F e J) em função do calor trocado em cada um destes subsistemas.

2.3.2 Resultados e Discussão

Na Tabela 87 são apresentados os resultados da análise de custo energético para a planta de produção de açúcar e etanol. A tabela mostra os fluxos nos volumes de controle referentes ao processo, nesta tabela os fluxos energéticos (E) são iguais tanto para o Caso 1 quanto para o Caso 2, sendo diferentes só os Custos Energéticos (E^*) e os Custos energéticos unitários (k).

Tabela 87: Resultados da análise de custo energético para os fluxos de processo da planta de produção de açúcar e etanol

FLUXO	DESCRIÇÃO	Caso 1			Caso 2	
		E kW	E* kW	k	E* kW	K
	SUBSISTEMA A - LAVAGEM PREPARO E EXTRAÇÃO					
a1	Cana-de-açúcar	641111	641111	1	641111	1
a4	Água de embebição	4375	5744	1,313	5066,25	1,158
a9-10	Energia para acionamento das moendas	8000	10504	1,313	9264	1,158
a15	Energia elétrica	1200	3880	3,233	2154	1,795
a11	Bagaço	289644	289644	1	289644	1
a13	Caldo misto para açúcar	202033	259006	1,282	256581,91	1,27
a14	Caldo misto para etanol	87771	112522	1,282	111469,17	1,27
	SUBSISTEMA B - TRATAMENTO DE CALDO AÇÚCAR					
b5	Água de diluição da leite de cal	771	1012	1,313	892,818	1,158
b8-9	Energia para aquecimento do caldo	30676	40278	1,313	35522,808	1,158
b12	Água para lavagem da torta	2341	3074	1,313	2710,878	1,158
b14	Bagacilho	3606	3606	1	3606	1
b21	Energia elétrica	627,4	2028	3,233	1126,183	1,795
b20	Caldo tratado	226343	308958	1,365	300357,16	1,327
	SUBSISTEMA C - TRATAMENTO DE CALDO ETANOL					
c2	Água de diluição da leite de cal	334,9	439,7237	1,313	387,8142	1,158
c5-6	Energia para o aquecimento do caldo	133368	17510,168	1,313	15443,088	1,158
c9	Água para lavagem da torta	1017	1335,321	1,313	1177,686	1,158
c10	Bagacilho	1566	1566	1	1566	1
c18	Energia elétrica	272,6	881,3158	3,233	489,317	1,795
c17	Caldo tratado	98404	134321,46	1,365	130483,7	1,326

Tabela 88: (continuação) Resultados da análise de custo energético para os fluxos de processo da planta de produção de açúcar e etanol

FLUXO	DESCRIÇÃO	Caso 1			Caso 2	
		E kW	E* kW	k	E* kW	k
	SUBSISTEMA D - SISTEMA DE EVAPORAÇÃO					
d1	Energia para evaporação	102300	134319,9	1,313	118463,4	1,158
d23	Energia elétrica	900	2909,7	3,233	1615,5	1,795
d20	Xarope para preparação do mosto	21873	36637,275	1,675	35237,403	1,611
d21	Xarope para fabricação de açúcar	177812	297835,1	1,675	286455,13	1,611
	SUBSISTEMA E+F - COZIMENTO + SECAGEM DE AÇÚCAR					
e21	Água para cozedores	1438	1888,094	1,313	1665,204	1,158
e24	Energia elétrica	1800	5819,4	3,233	3231	1,795
e1-16-17	Energia para aquecimento cozedores	31078	40805,414	1,313	35988,324	1,158
e22	Melaço	34878	58420,65	1,675	56188,458	1,611
f1-2	Energia para secagem	337,4	443,0062	1,313	390,7092	1,158
f7	Energia elétrica	150	484,95	3,233	269,25	1,795
f6	Açúcar	135711	288928,72	2,129	271964,84	2,004
	SUBSISTEMA G - PREPARAÇÃO DO MOSTO E FERMENTAÇÃO					
g16	Energia elétrica	600	1939,8	3,233	1077	1,795
g13	Vinho centrifugado	126834	231218,38	1,823	222974,17	1,758
	SUBSISTEMA H - DESTILAÇÃO RETIFICAÇÃO					
h19	Energia elétrica	300	969,9	3,233	538,5	1,795
h8-9	Aquecimento refervedor coluna A	22021	28913,573	1,313	25500,318	1,158
h13-14	Aquecimento refervedor coluna B	13604	17862,052	1,313	15753,432	1,158
h5	Etanol de segunda	6233	11362,759	1,823	10957,614	1,758
h17	Etanol hidratado	116669	267638,69	2,294	253871,74	2,176

Tabela 89: Resultados da análise de custo energético para os fluxos do sistema de cogeração

FLUXO	DESCRIÇÃO	Caso 1		Caso 2	
		E	k	E	K
		kW		kW	
j4	Bagaço excedente	64864	1	66923	1
j6	Energia elétrica excedente	2537	3,233	20816	1,795

Por outro lado, a tabela 2.1.12 apresenta os resultados para o volume de controle do sistema de cogeração. Nesta tabela pode ser observado que os fluxos energéticos de bagaço excedente e de energia elétrica excedente são diferentes sendo maiores para o caso 2. Isto como consequência de uma maior eficiência na caldeira e nos turbogeradores do caso 2 o que se reflete em um menor custo energético do vapor e da eletricidade produzida no sistema de cogeração.

Assim, no caso 2 o bagaço excedente é 3% maior em comparação ao caso 1 enquanto a energia elétrica excedente é 8 vezes a do caso 1.

Dos resultados dos custos energéticos unitários para o açúcar e para o etanol podem ser feitas algumas reflexões:

- Do custo energético do açúcar para o Caso 1: $k_{\text{açúcar}} = k_{f6} = 2,129$ significa que foram consumidas **2,129kJ** para produzir **1kJ** do açúcar. Este valor energético do açúcar pode ser entendido como a energia devida a seu conteúdo da sacarose.

Considerando que o conteúdo energético da sacarose no açúcar é o mesmo que foi fornecido pela cana-de-açúcar pode ser concluído que o custo adicional para produzir uma unidade energética de açúcar foi:

$$k_{\text{energia; adicional}} = k_{f6} - 1 = 1,129 \text{ kJ/kJ de açúcar.}$$

Nesta energia adicional esta contida a energia fornecida pelo bagaço assim como as perdas de sacarose ao longo do processo. Assim, considerando a densidade energética do açúcar produzido na planta:

$$p_{e;f6} = 15033 \text{ kJ/kg de açúcar}$$

A quantidade de energia adicional para a produção de 1 kg de açúcar pode ser calculado:

$$E_{\text{adicional}} \Rightarrow \text{açúcar, caso1} = 16979 \text{ kJ/kg de açúcar}$$

Fazendo os mesmos cálculos para o Caso 2, a energia do bagaço que foi utilizada para a produção de 1kg de açúcar foi:

$$E_{\text{adicional}} \Rightarrow \text{açúcar, caso2} = 15092 \text{ kJ/kg de açúcar}$$

- Para o caso do etanol o custo energético unitário no caso 1 foi $k_{\text{etanol}} = k_{h17} = 2,294$. Isto significa que foram utilizados 2,294kJ para produzir 1kJ de

etanol. Este caso é um pouco diferente uma vez que na cana não se tem etanol originalmente.

Observando a fermentação e contabilizando a energia que carrega a sacarose que ingressa neste volume (141918 kW) e a energia que o etanol carrega na saída (124917 kW), pode ser obtida uma relação entre a energia no etanol produzido e a energia na sacarose originária: $R_{\text{sacarose/etanol}} = 1,136$.

Conseqüentemente 1kJ de etanol produzido seria equivalente a 1,136kJ de sacarose da cana. Assim o conteúdo energético de sacarose que originalmente estava na cana ($E_{\text{sacarose,na,cana}}$) pode ser relacionado com o conteúdo energético do etanol produzido (E_{etanol}):

$$E_{\text{sacarose,na,cana}} = R_{\text{sacarose/etanol}} \cdot E_{\text{etanol}}$$

Também pode ser afirmado que o Custo Energético do etanol produzido tem duas componentes, uma devido ao conteúdo energético da sacarose, que transformou-se em etanol e outra devido à energia adicional do processo:

$$E_{\text{etanol}} = E_{\text{sacarose,na,cana}} + E_{\text{ad}} = R_{\text{sacarose/etanol}} \cdot E_{\text{etanol}} + E_{\text{ad}}$$

Dividindo ambos membros pelo conteúdo energético do etanol produzido tem-se:

$$E_{\text{etanol}} / E_{\text{etanol}} = R_{\text{sacarose/etanol}} + E_{\text{ad}} / E_{\text{etanol}}$$

Definindo o coeficiente $k_{\text{ad}} = E_{\text{ad}} / E_{\text{etanol}}$ e substituindo valores tem-se:

$$k_{\text{ad}} = 1,136 + 1,158 = 2,294$$

Calculando a densidade energética do etanol ($\rho_{\text{e}} = 20777 \text{ kJ/l}$ de etanol) e multiplicando pelo valor de k_{ad} pode ser obtida a quantidade de energia adicional destinada para a produção de etanol:

$$E_{\text{ad}} = k_{\text{ad}} \cdot \rho_{\text{e}} = 2,294 \cdot 20777 = 47662 \text{ kJ/l de etanol}$$

Realizando o mesmo cálculo para o caso 2 tem-se:

$$E_{\text{ad}} = 2,18 \cdot 20777 = 45294 \text{ kJ/l de etanol}$$

Tabela 90: Resumo dos indicadores obtidos – “custo” energético

Descrição	Caso 1	Caso 2
Energia térmica	1,31	1,16
Energia Elétrica	3,23	1,80
Açúcar	2,13	2,00
Etanol hidratado	2,29	2,18

Apêndice

Cálculo dos custos energéticos - Método da matriz de incidência

Para o cálculo dos custos energéticos dos fluxos energéticos nos diferentes subsistemas analisados será utilizada a metodologia da matriz de incidência.

A matriz de incidência tem por objetivo fazer um mapeamento dos fluxos e subsistemas da planta, na forma:

$$\begin{bmatrix} \text{"n" subsistemas /} & \text{"m" fluxos} & \rightarrow & . & . \\ & \downarrow & & . & . & . & . \\ & . & & . & . & . & . \\ & . & & . & . & . & . \\ & . & & . & . & . & . \end{bmatrix}$$

Onde cada elemento da matriz representa:

$A_{x,y}$ = fluxo "y" entrando e saindo no subsistema "x".

Os fluxos e os subsistemas que foram considerados na análise da planta estão indicados na Tabela A.1, a seguir.

Tabela A.1 Planta de produção de açúcar e etanol simplificada

	VOLUMES DE CONTROLE		FLUXOS
A	Lavagem, preparo e extração	E_{a1}	Energia da cana-de-açúcar
B	Tratamento do caldo – açúcar	E_{a4}	Energia fornecida na água de embebição
C	Tratamento do caldo etanol	E_{a9}	Energia fornecida para o acionamento de moendas
D	Sistema de evaporação	E_{a11}	Energia do bagaço
E+F	Cozimento + secagem de açúcar	E_{a13}	Energia contida no caldo misto para açúcar
G	Preparação do mosto e fermentação	E_{a14}	Energia contida no caldo misto para etanol
H	Destilação e retificação	E_{a15}	Energia elétrica
J	Cogeração	E_{b5}	Energia fornecida na água de diluição do leite de cal
		E_{b8-9}	Energia fornecida para o aquecimento do caldo
		E_{b12}	Energia fornecida na água para lavagem da torta
		E_{b14}	Energia fornecida no bagacilho
		E_{b20}	Energia contida no caldo tratado
	VOLUMES DE CONTROLE		FLUXOS
		E_{b21}	Energia elétrica
		E_{c2}	Energia fornecida na água de diluição do leite de cal
		E_{c5-6}	Energia fornecida para o aquecimento do caldo
		E_{c9}	Energia fornecida na água para lavagem da torta
		E_{c10}	Energia fornecida no bagacilho
		E_{c17}	Energia contida no caldo tratado
		E_{c18}	Energia elétrica
		Ed1-7	Energia de aquecimento para a evaporação
		Ed20	Energia contida no xarope para preparação do mosto
		Ed21	Energia contida no xarope para preparação de açúcar
		Ed23	Energia elétrica
		Ee1-16-17	Energia de aquecimento para o cozimento
		Ee21	Energia fornecida na água adicionada no cozimento
		Ee22	Energia contida no melaço
		Ee24	Energia elétrica
		Ef1-2	Energia de aquecimento para o secador de açúcar
		Ef6	Energia contida no açúcar
		Ef7	Energia elétrica
		Eg13	Energia contida no vinho centrifugado
		Eg16	Energia elétrica

		Eh5	Etanol de segunda
		Eh8-9	Energia de aquecimento no refervedor da coluna A
		Eh13-14	Energia de aquecimento no refervedor da coluna B
		Eh17	Etanol hidratado
		Eh19	Energia elétrica
		Ej4	Energia elétrica excedente

A incidência de cada fluxo é representada apenas pelos números:

+1: no caso em que o fluxo em questão entre no sistema

-1: quando o fluxo sai do sistema

0: quando o fluxo não corresponde a esse subsistema.

A continuação faz-se uma classificação dos fluxos em insumos e produtos:

Tabela A.2 Classificação dos fluxos em insumos e produtos

Volume de controle	Insumos	Produtos
A	Ea1+ Ea4+ Ea9-10+ Ea15	Ea11+ Ea13+ Ea14
B	Ea13+Eb5+ Eb8-9+ Eb12+ Eb14+ Eb21	Eb20
C	Ea14+Ec2+ Ec5-6+ Ec9 +Ec10+ Ec18	Ec17
D	Eb20+Ed1-7+ Ed23	Ed20+Ed21+Eb8-9+Ec5-6+Ee1-16-17+.. +Ea4+Eb5+Eb12+Ec2+Ec9+Ee21
E+F	Ee1-16-17+ Ed21+ Ee21+ Ee24+ Ef1-2+ Ef7	Ef6+ Ee22
G	Ee22+ Ed20+ Ec17+ Eg16	Eg13
H	Eg13+ Eh19+ Eh8-9+ Eh13-14	Eh5+ Eh17
J	Ea11	Ea9-10+ Ed1-7+ Ef1-2+ Eh8-9+ Eh13-14+ Eb14+ Ec10+Ej4+ Ea15+ Eb21+ Ec18+ Ed23+ Ee24+ Ef7+ Eg16+Ej6

É útil definir o vetor de custos energéticos:

→
E*

de dimensão igual ao número de fluxos no sistema, cujos elementos são os custos energéticos (unidades kW) de cada um dos portadores de energia.

O custo energético unitário de cada um dos portadores de energia é definido como:

$$k_y = E_y^* / E_y$$

E considerando que o custo energético dos insumos será carregado pelos produtos de cada subsistema, pode-se aplicar esta proposição a cada um dos subsistemas do sistema global. Utilizando a matriz de incidência (A) anteriormente definida, o cálculo de custos pode ser expresso vetorialmente como: pode ser feita a seguinte operação:

$$\vec{A} \cdot \vec{E}^* = \vec{0}$$

Desdobrando:

$$\begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} & \dots & \dots & \dots & A_{1m} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} & \dots & \dots & \dots & A_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_{n1} & A_{n2} & A_{n3} & \dots & \dots & \dots & A_{nm} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_1^* \\ E_2^* \\ E_3^* \\ \dots \\ \dots \\ \dots \\ E_m^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \dots \\ \dots \\ \dots \\ 0 \end{bmatrix}$$

Como em geral é $m > n$, tem-se mais incógnitas que equações é necessário arbitrar outros critérios para chegar as m equações necessárias para resolver o sistema. Estas $(m-n)$ equações são arbitradas das proposições que atribuem valores aos custos dos portadores de energia que entram no sistema, das perdas e das bifurcações.

No caso dos portadores de energia que entram no sistema (fluxos externos), seu custo energético é considerado como sendo igual à energia que estes carregam $E^* = E$.

Quando mais de um fluxo pode ser considerado produto do sistema (bifurcações), seus custos energéticos são considerados iguais, como foi feito no caso do subsistema A:

$$k_{a13} = k_{a14},$$

o que também pode ser escrito como:

$$E_{a13}^* / E_{a13} = E_{a14}^* / E_{a14}$$

Quando um fluxo é considerado "subproduto" o seu custo energético é igualado a algum dos insumos que entram no sistema. Como foi feito com o custo energético do bagaço e da cana:

$$k_{a11} = k_{cana} = 1$$

Assim estas equações arbitradas podem ser expressas em forma simbólica como:

$$\vec{a}_e \cdot \vec{E}^* = \vec{w}_e; \quad \text{para os portadores de energia que entram no sistema, e}$$

$$\vec{a}_b \cdot \vec{E}^* = 0; \quad \text{para as bifurcações}$$

As novas equações, obtidas na base destas proposições, permitem fechar o sistema chegando ao mesmo número de equações que de incógnitas. O sistema ampliado seria:

$$\begin{bmatrix} \vec{A} \\ \vec{\alpha}_e \\ \vec{\alpha}_b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \vec{E}^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \vec{0} \\ \vec{w}_e \\ \vec{0} \end{bmatrix}$$

Onde a matriz ampliada da esquerda, inclui a matriz de incidência, a de entradas e saídas e a de bifurcações. O vetor da direita inclui o vetor da energias dos fluxos de entrada e dois vetores nulos.

Resolvendo o sistema podem ser calculados os custos energéticos de cada fluxo em consideração.

2.4 Mapeamento das trajetórias de indicadores críticos selecionados – tecnológicos, econômicos, sociais e ambientais – da produção e uso do bioetanol ao longo dos últimos 30 anos²³

Os indicadores tecnológicos, econômicos, sociais e ambientais da produção e uso do bioetanol são valores que podem auxiliar especialistas e poder público a analisar de forma mais abrangente o todo do processo e indicar as melhores atitudes e decisões que devem ser tomadas visando o desenvolvimento e sustentabilidade da atividade em questão.

2.4.1 Indicadores tecnológicos

Através de dados coletados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) pode-se analisar a evolução da área de cana-de-açúcar no Brasil, verifica-se que tanto a área plantada quanto a área colhida apresentaram crescimento significativo nos últimos anos. No período de 1975 a 2008, a área colhida de cana-de-açúcar ficou 4,3 vezes maior, enquanto que a área plantada teve um crescimento de 4,7 vezes.

²³ Pesquisadores Responsáveis: André Tosi Furtado (NIPE/UNICAMP) e Terezinha de Fátima Cardoso (CTBE)

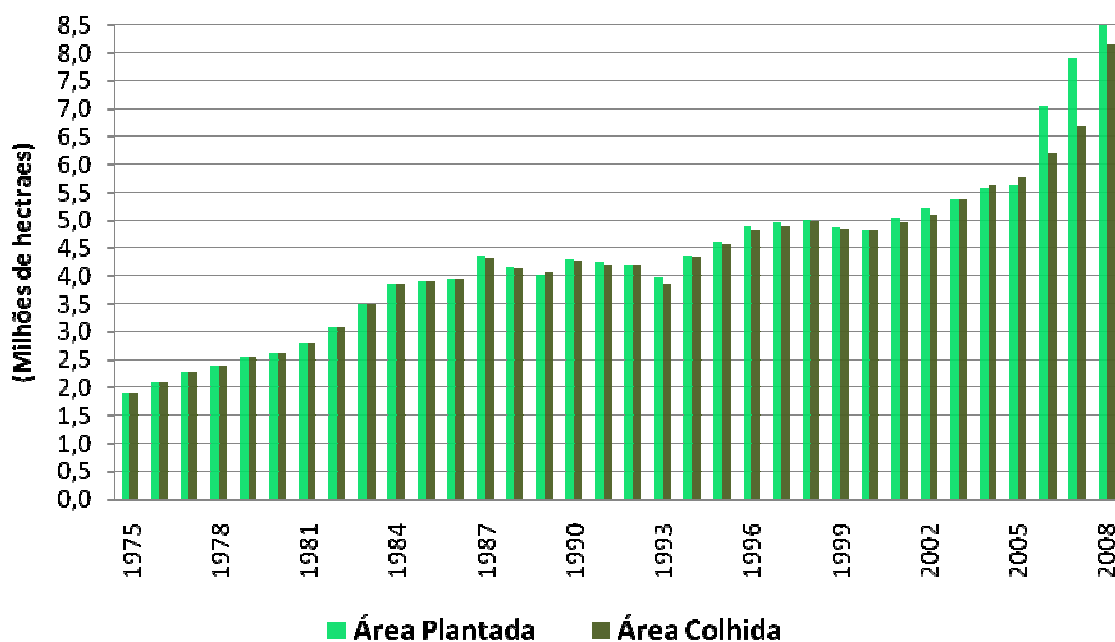


Figura 60: Evolução da área de cana-de-açúcar no Brasil

Fonte: Anuário Estatístico da Agroenergia – MAPA (2009), dados IBGE

A produção de toneladas cana-de-açúcar (cana colhida) teve um aumento de 7,3 vezes no período (Figura 61), em virtude do aumento de 65% na produtividade (tonelada por hectare) nesse período (Figura 62).

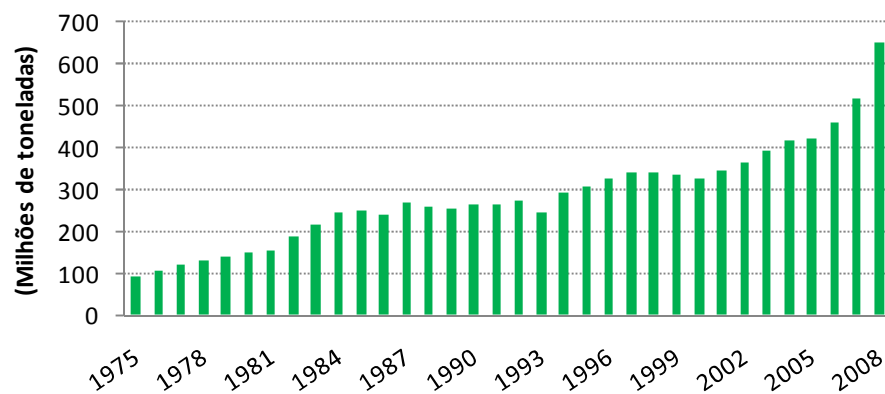


Figura 61: Evolução da produção brasileira de cana-de-açúcar

Fonte: Anuário Estatístico da Agroenergia – MAPA (2009), dados IBGE

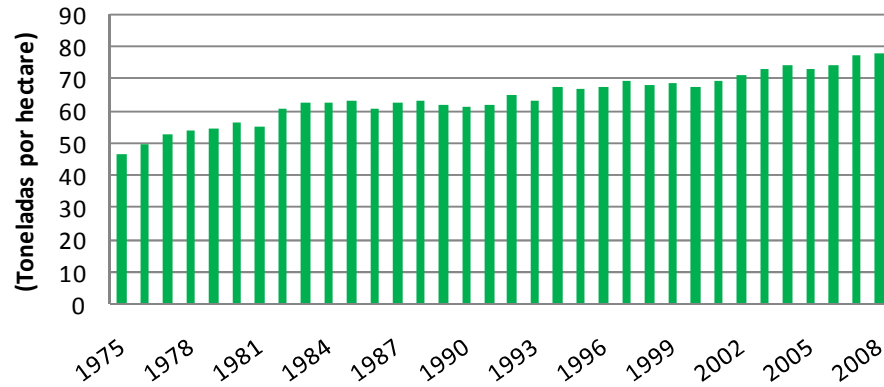


Figura 62: Evolução da produtividade brasileira de cana-de-açúcar

Fonte: Anuário Estatístico da Agroenergia – MAPA (2009), dados IBGE

O Centro de Tecnologia Canavieira (CTC) é uma associação civil de direito privado, sem fins lucrativos, voltada ao desenvolvimento tecnológico dos setores de cana-de-açúcar, açúcar, álcool e bioenergia e atua no desenvolvimento de pesquisas para toda a cadeia produtiva da cana-de-açúcar, do campo à agroindústria. Possui unidades associadas (usinas de açúcar e álcool, destilarias, companhias energéticas e associações de fornecedores de cana-de-açúcar) nos estados de Alagoas, Pernambuco, Minas Gerais, São Paulo, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Espírito Santo e Paraná.

De acordo com pesquisas realizadas pelo CTC, a tecnologia empregada na produção de cana-de-açúcar foi responsável por poupar cerca de 3 milhões de hectares de terra (Figura 63).

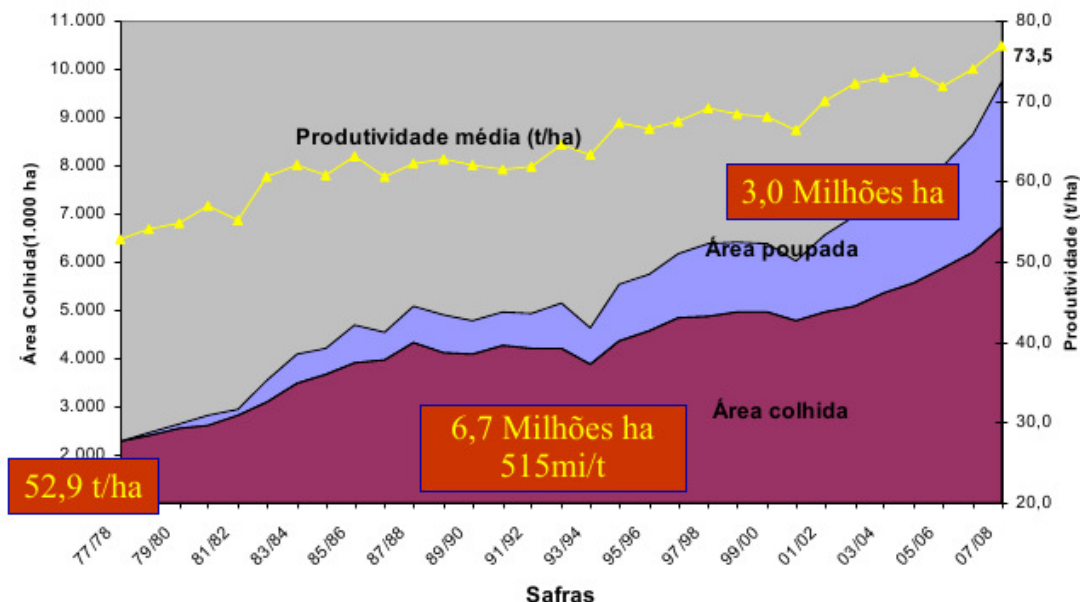


Figura 63: Área poupada pela introdução de tecnologia

Fonte: Donzelli – CTC (2008)

2.4.2 Indicadores sociais

2.4.2.1 Indicadores sociais agregados por Unidades Territoriais

Além dos indicadores de apontados no item 2.2, existe um conjunto muito importante de indicadores sócio-econômicos que pode dar sustentação a um acompanhamento do impacto da cultura da cana-de-açúcar na sustentabilidade de regiões brasileiras. Esses indicadores são usados para calcular o IDH-Municipal publicado pelo PNUD. A grande vantagem desses indicadores é que eles estão disponíveis em nível Municipal. No entanto, esses dados, assim como os anteriores somente estão disponíveis com uma frequência decenal que acompanha a dos Censos Demográficos do IBGE.

Selecionamos entre um grande número de indicadores publicados pelo PNUD, um conjunto de 7 indicadores que são úteis para medir o nível de bem-estar sócio-econômico de uma unidade territorial. Esses indicadores são apresentados no quadro abaixo.

Quadro 2: Indicadores para mensuração do impacto sócio-econômico

Categoria	Indicador
Educação	1) Percentual de pessoas de 15 anos ou mais analfabetas
	2) Percentual de pessoas de 18 a 24 com acesso ao curso superior
Renda	3) Renda per Capita
	4) Índice de Gini
Social	5) Intensidade da pobreza
	6) Mortalidade até cinco anos de idade
Sintético	7) Índice de Desenvolvimento Humano Municipal

Fonte: PNUD, Atlas de Desenvolvimento Humano

Os indicadores 1) , 2), 5) e 6) são menos sensíveis a pequenas melhoras das condições de vida da população pobre em países de nível intermediário de desenvolvimento como o Brasil. Eles descrevem melhor os diferenciais de condições de vida das populações de renda baixa. Uma melhora nesses indicadores revela uma substancial evolução das condições de vida dessa população. No caso dos indicadores de educação, a redução do percentual de analfabetismo é mais difícil como atestam os números da última PNAD. O mesmo pode ser dito da parcela da população com acesso ao ensino superior que costuma ser muito baixa no Brasil, mas é criticamente reduzida em regiões periféricas e distantes de grandes centros urbanos. Nos indicadores sociais, o índice de pobreza mede a parcela da população que não tem atendida o conjunto de necessidades básicas e não apenas as de alimentação. A mortalidade até cinco anos é mais amplo do que apenas a mortalidade infantil que se limita até um ano de idade. Os dois outros indicadores índice de Gini e índice de IDH sintetizam um conjunto de elementos, o primeiro sobre a distribuição de renda e o segundo sobre o nível de desenvolvimento da população.

Apresentamos a título de exemplo esses indicadores para os Municípios da Micro-Região de Ribeirão Preto nos anos de 1991 e de 2000, que era nessa última data a principal micro-região produtora de cana do Estado de São Paulo nessa última data. A análise desses dados é extremamente reveladora do tipo de desenvolvimento que vem ocorrendo nesses Municípios onde a atividade sucro-alcooleira está concentrada. Em primeiro lugar, nota-se uma melhora bastante sensível dos indicadores sócio-educacionais e de renda da grande maioria dos municípios, tanto dos mais básicos como taxa de analfabetismo, mortalidade infantil, como os mais avançados como taxa de enrolamento no ensino superior. A renda per capita subiu em quase todos os municípios, embora dois deles apresentem queda. Essa evolução se reflete em uma melhora de todos os IDHs no período.

No entanto, dois elementos pesam contra esse diagnóstico em geral bastante positivo. De um lado, um aumento do índice Gini em 9 dos 16 municípios da micro-região. Esse índice mede a distribuição de renda entre os residentes de cada município. A desigualdade de renda não é apenas perceptível no índice Gini, mas expressa-se em um maior desnível entre as rendas per capita médias dos municípios mais ricos e mais pobres.

Por outro lado, constata-se um agravamento generalizado do nível de pobreza nesses municípios. Tal evolução pode estar relacionada a fatores macro-econômicos, como a queda da renda dos trabalhadores verificada nesse período no país. Mesmo assim, essa evolução é preocupante, uma vez que esse indicador mede qual é a parcela da população que não tem condições de acesso a condições de vida básicas, medidas através da longevidade, nível educacional e renda suficiente para atender às necessidades básicas.

Tais evoluções se reproduzem nos mais importantes municípios do Estado de São Paulo onde a produção de cana ocupa uma parcela expressiva da atividade agrícola. Elas nos alertam para um acompanhamento sistemático dos desdobramentos dessa atividade econômica em nível micro-regional e municipal, para subsidiar políticas sociais e econômicas que busquem mitigar os efeitos concentradores indesejáveis.

Tabela 91: Indicadores de Desenvolvimento Humano em Municípios da Micro-Região de Ribeirão Preto por Município 1991 e 2000

Município	Percentual de pessoas de 15 anos ou mais analfabetas, 1991	Percentual de pessoas de 15 anos ou mais analfabetas, 2000	Percentual de pessoas de 18 a 24 com acesso ao curso superior, 1991	Percentual de pessoas de 18 a 24 com acesso ao curso superior, 2000	Renda per Capita, 1991	Renda per Capita, 2000	Índice de Gini, 1991	Índice de Gini, 2000	Intensidade da pobreza, 1991	Intensidade da pobreza, 2000	Mortalidade até cinco anos de idade, 1991	Mortalidade até cinco anos de idade, 2000	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal, 1991	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal, 2000
Barrinha (SP)	18,4	12,24	1,63	2,08	232,91	216,39	0,43	0,47	26,56	44,57	23,95	17,36	0,725	0,766
Brodósqui (SP)	12,09	7,6	4,79	7,93	274,37	315,9	0,45	0,43	26,59	34,16	26,25	13,49	0,753	0,805
Cravinhos (SP)	13,34	9,05	5,98	8,17	319,13	351,41	0,55	0,51	26,76	38,62	26,08	12,08	0,755	0,815
Dumont (SP)	14,81	9,56	2,1	3,97	316,99	332,75	0,47	0,49	32,79	39,51	26,25	15,19	0,752	0,802
Guatapar (SP)	15,34	12,48	3,88	1,76	318,87	234,81	0,53	0,51	36	48,83	26,16	15,46	0,752	0,776
Jardinópolis (SP)	12,63	7,58	5,11	6,34	278,03	323,88	0,51	0,51	32,01	34,54	26,25	13,64	0,747	0,808
Luís Antônio (SP)	10,45	8,58	0,65	2,02	223,93	286,33	0,43	0,52	36,68	45,63	37,85	17,36	0,717	0,795
Pontal (SP)	18,01	12,32	3,38	2,28	249,64	355	0,45	0,63	37,37	40,24	24,51	17,36	0,732	0,792
Pradópolis (SP)	15,62	11,5	2,03	5,1	277,43	280,04	0,42	0,44	33,51	42,53	18,22	13,64	0,765	0,798
Ribeirão Preto (SP)	6,64	4,44	10,74	16,5	465,2	539,84	0,53	0,56	36,56	46,67	18,22	11,99	0,822	0,855
Santa Rita do Passa Quatro (SP)	14,56	8,43	6,65	13,01	259,36	471,37	0,48	0,57	33,07	36,29	19,44	11,99	0,764	0,832
Santa Rosa de Viterbo (SP)	10,39	7,31	6,11	6,6	267,13	298	0,48	0,54	32,27	37,8	24,47	15,87	0,762	0,804
São Simão (SP)	10,3	6,38	5,61	6,39	287,24	312,81	0,55	0,53	35,55	41,35	26,16	17,36	0,764	0,801
Serra Azul (SP)	18,88	12,85	0,35	1,45	201,69	214,25	0,41	0,49	30,9	36,24	38,03	25,39	0,691	0,742
Serrana (SP)	13,88	9,19	0,01	3,06	256,23	237,34	0,44	0,45	32,52	38,67	26,16	17,36	0,75	0,775
Sertãozinho (SP)	11,77	8,39	5,29	11,77	339,68	397,11	0,51	0,52	29,43	40,56	21,85	11,99	0,776	0,833

Fonte: PNUD, Atlas de Desenvolvimento Humano

2.4.2.2 Indicadores de Nível e Qualificação do Emprego

A implantação da mecanização, principalmente na colheita de cana-de-açúcar, possibilita o aumento da produção utilizando um menor número de trabalhadores envolvidos nas atividades do setor agrícola sucroalcooleiro, conforme mostra a Figura 64. Verifica-se que o número de empregados, apesar de ter aumentado nos últimos anos, apresenta tendência de queda quando analisamos os últimos 30 anos da cultura, principalmente se considerarmos o aumento significativo da produção de cana-de-açúcar, houve um aumento de 120% na produção e uma redução de 38,7% no número de empregados, como se observa na Figura 64.

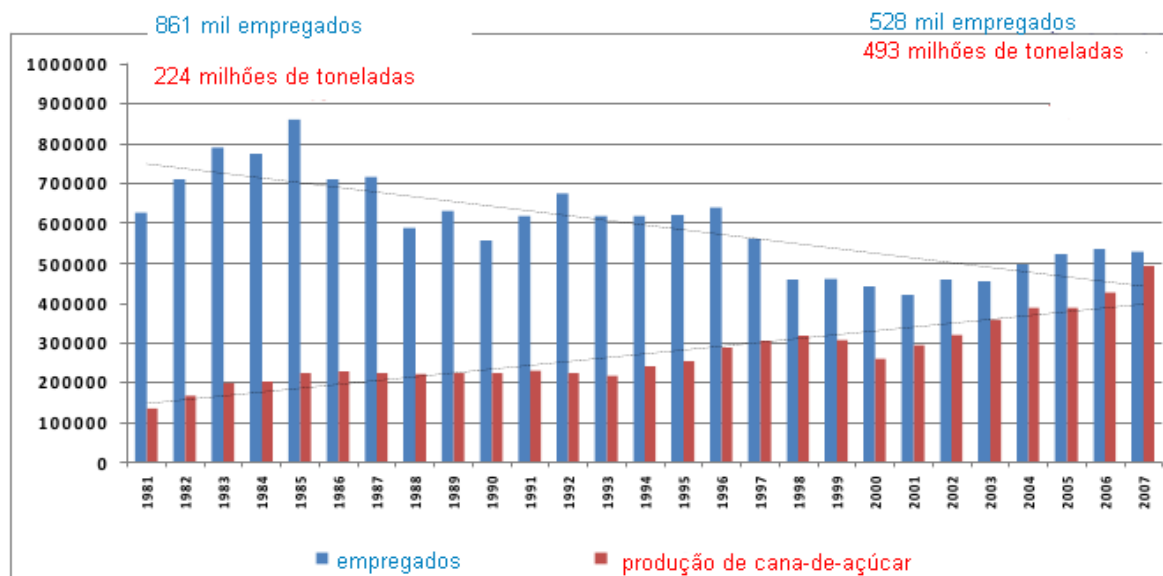


Figura 64: Evolução do número de empregados agrícolas e da produção de cana-de-açúcar

Fonte: elaborado Por Moraes (2009) a partir de PNAD (vários anos)

A partir desses dados, verifica-se que a produtividade por trabalhador em 1981 era de 260 toneladas por safra, passou a ser de 933 toneladas em 2007. Esse aumento expressivo (258%) da produtividade do trabalhador por safra se deu em virtude da implantação da mecanização e, também, das demais tecnologias tais como novas variedades de cana e fertilizantes.

Os dados utilizados por Moraes (2007, 2009) foram obtidos a partir da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD), vários anos, CD ROM, considerando o número de empregados (formais), e não de trabalhadores (informais), da atividade de cana-de-açúcar (código de atividade 01105). É ressaltado no trabalho de Moraes (2007) que a PNAD fornece um panorama de ocupação formal e informal e que possui caráter amostral, permitindo expansão dos resultados para todas as áreas do país, sendo elaborada desde 1967, porém de forma descontínua. Outras fontes de dados utilizadas por Moraes (2007, 2009) foram o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, vários anos, e Registros Administrativos do Ministério do Trabalho e Emprego (RAIS) – Ministério do Trabalho. RAIS possui informações de caráter sociodemográfico e profissional, podendo ser agregada/desagregada ao longo dos eixos temporais (1986 a 2000) espaciais (nacional, regional, estadual, municipal), econômico, natureza jurídica dos estabelecimentos empregadores e portes dos estabelecimentos, utilizando as classes 01139 (cultivo de cana-de-açúcar), 15610 (usinas de açúcar), 15628 (refino

e moagem de açúcar) e 23400 (produção de álcool), conforme nota de Moraes (2007).

A evolução da colheita mecânica é bastante observada na região Centro-Sul, principalmente no estado de São Paulo, onde o Protocolo Agroambiental firmado pelas usinas antecipa o fim das queimadas nos canaviais.

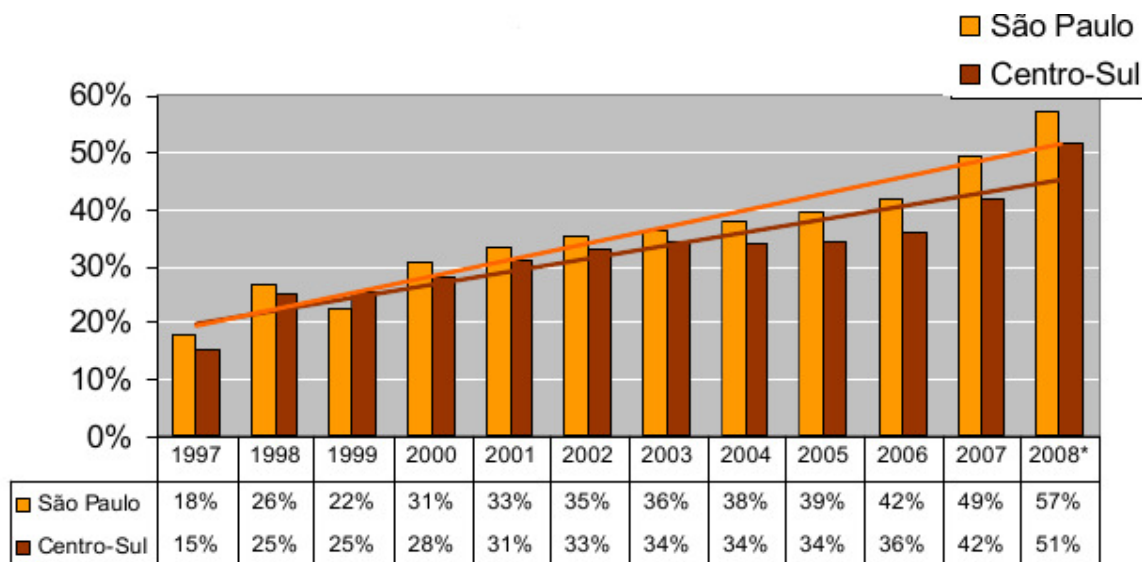


Figura 65: Evolução da colheita mecânica

Fonte: CTC (2008) * dados até maio de 2008

Na região Nordeste o índice de mecanização ainda é bastante pequeno em virtude das limitações das máquinas existentes em operar em terrenos declivosos (acima de 12% de inclinação).

Com a mecanização a faixa etária dos trabalhadores concentra-se entre 20 e 50 anos, com maior ênfase na faixa de 20 a 30 anos. Este aumento na faixa etária também indica uma redução no trabalho infantil (OLIVEIRA, 2009).

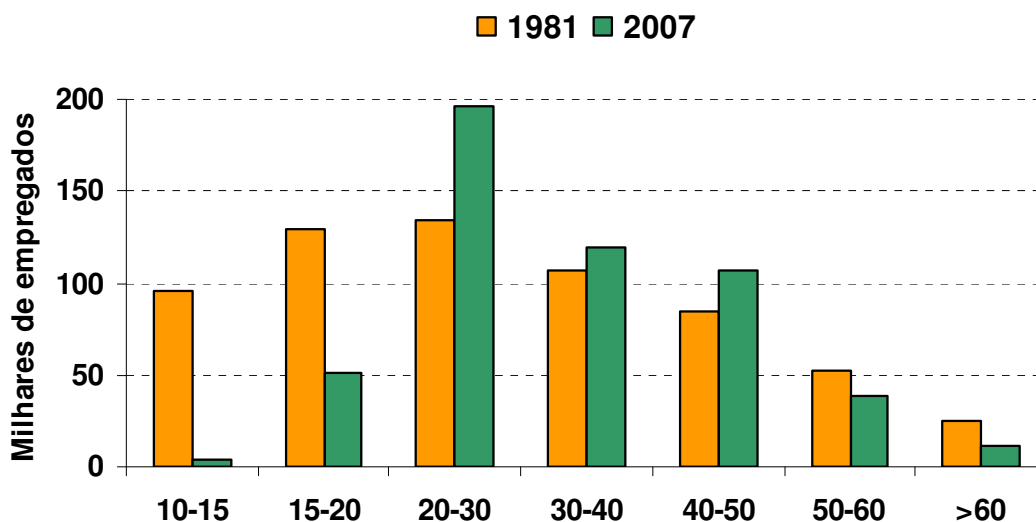


Figura 66: Número de empregados por faixa etária na cana-de-açúcar

Fonte: Adaptado de Moraes (2009) elaborado a partir de PNAD (vários anos)

Com a introdução da tecnologia o nível de escolaridade dos trabalhadores exigido é maior, o que acarreta no aumento de anos de estudo dos funcionários envolvidos na cultura de cana-de-açúcar, como pode ser observado na Figura 2.4.8.

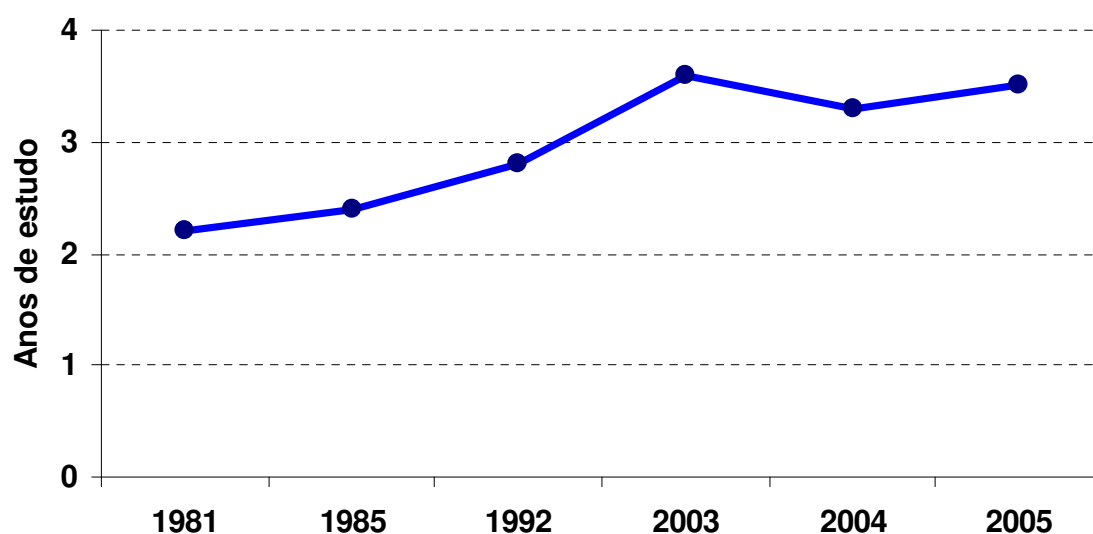


Figura 67: Evolução dos anos de estudo dos trabalhadores da cana-de-açúcar no Brasil

Fonte: Adaptado de Moraes (2007) elaborado a partir de PNAD (vários anos)

No período de 1992 a 2007, a Figura 68 mostra expressivo aumento do número de empregados com qualificação na cana-de-açúcar. Em Oliveira (2009) foram analisados dois grupos: não especializado (bóia-fria, colhedor, trabalhador braçal e volante) e especializado (supervisor, administrador, tratorista, técnico e demais funções).

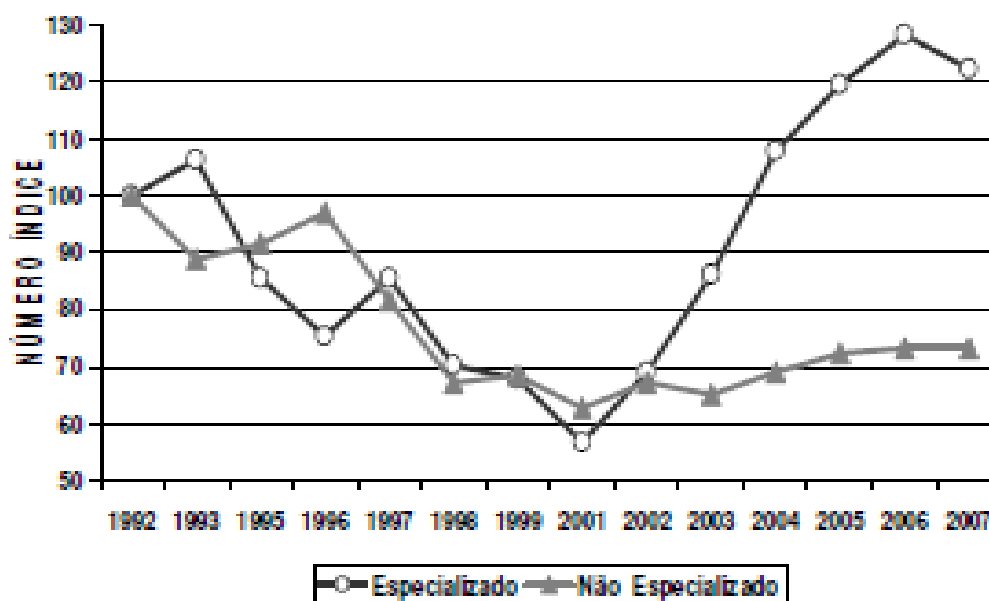


Figura 68: Empregados na cana-de-açúcar de acordo com especialização, Brasil

Fonte: IBGE (1992-2007) apud Oliveira (2009)

As pessoas que estão empregadas na mecanização da cana-de-açúcar (operadores de máquinas) e as que possuem especialização apresentam remuneração superior àquelas que não possuem especialização, como mostra a Figura 69.

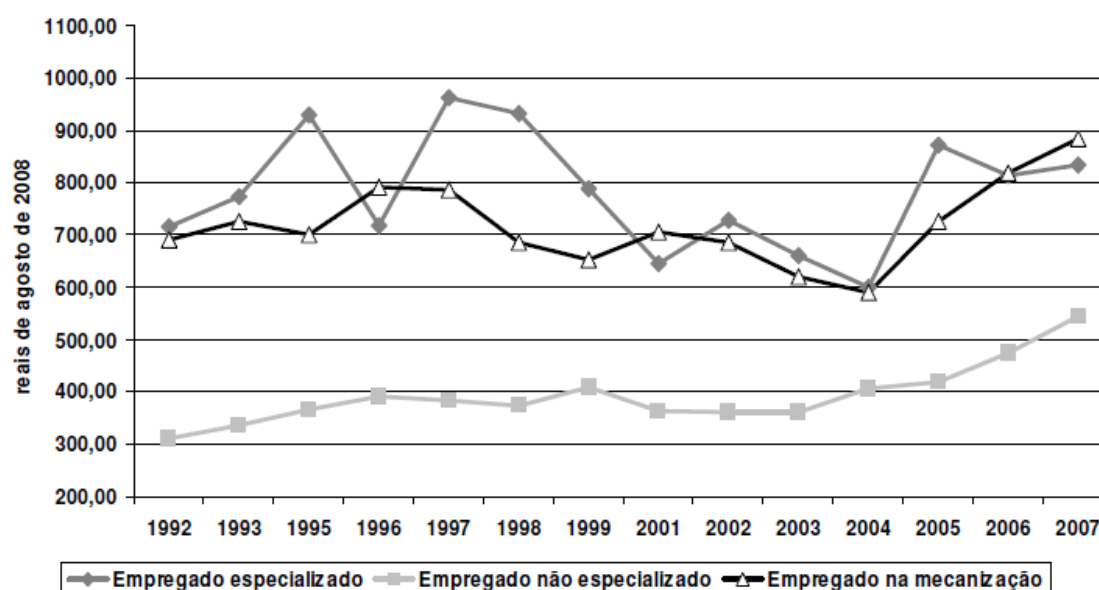


Figura 69: Remuneração média do trabalho principal das pessoas empregadas na cana-de-açúcar segundo a ocupação, Brasil

Fonte: IBGE (1992-2007) apud Oliveira (2009)

Verifica-se que ao longo dos anos o setor tem exigido trabalhadores mais bem preparados e, em contrapartida, tem oferecido melhores condições de trabalho. O índice de trabalhadores com registro em carteira (formais) apresenta significativo aumento.

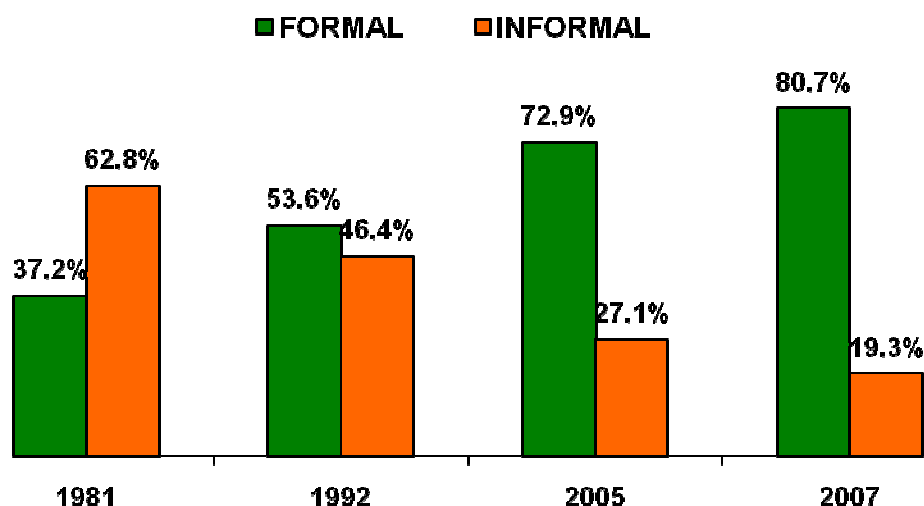


Figura 70: Evolução da formalização dos trabalhadores da cana-de-açúcar no Brasil

Fonte: adaptado de Moraes (2007, 2009) elaborado a partir de PNAD (vários anos)

Quando se analisa o estado de São Paulo, o índice de trabalhadores formais apresenta um crescimento ainda mais expressivo, como pode ser observado na Figura 2.4.12.

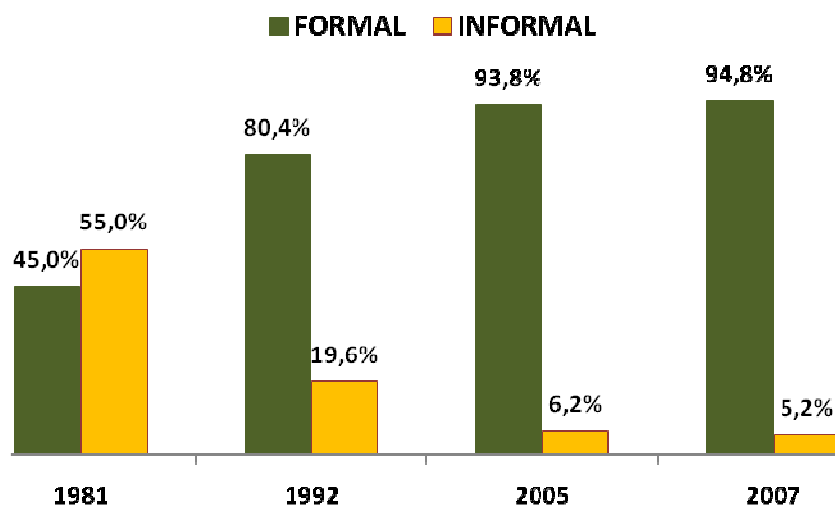


Figura 71: Evolução da formalização dos trabalhadores da cana-de-açúcar no estado de São Paulo

Fonte: adaptado de Moraes (2007, 2009) elaborado a partir de PNAD (vários anos)

2.4.3 Indicadores ambientais

Na colheita mecânica, a cana é colhida picada, o que inviabiliza a lavagem da cana, já que a perda de açúcar é grande. A não lavagem da cana tem aumentado as impurezas minerais, no entanto a taxa de água captada tem apresentado um decréscimo, como podemos observar na Figura 72 e Figura 73, respectivamente.

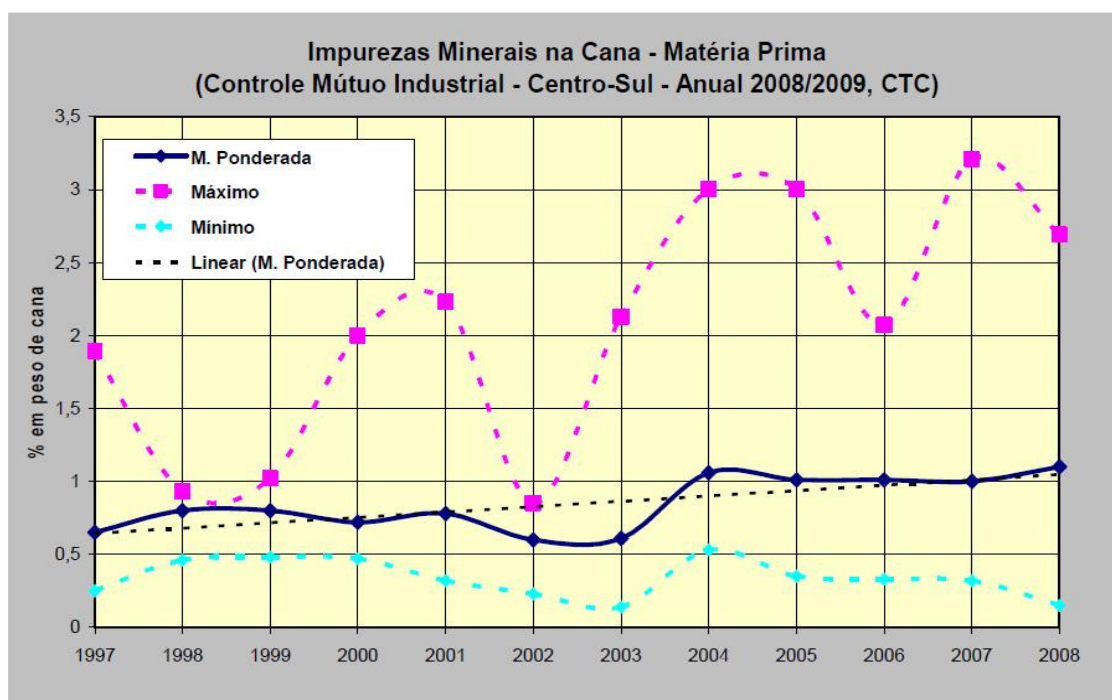


Figura 72: Impurezas minerais na cana – matéria-prima

Fonte: Elia Neto - CTC (2009)

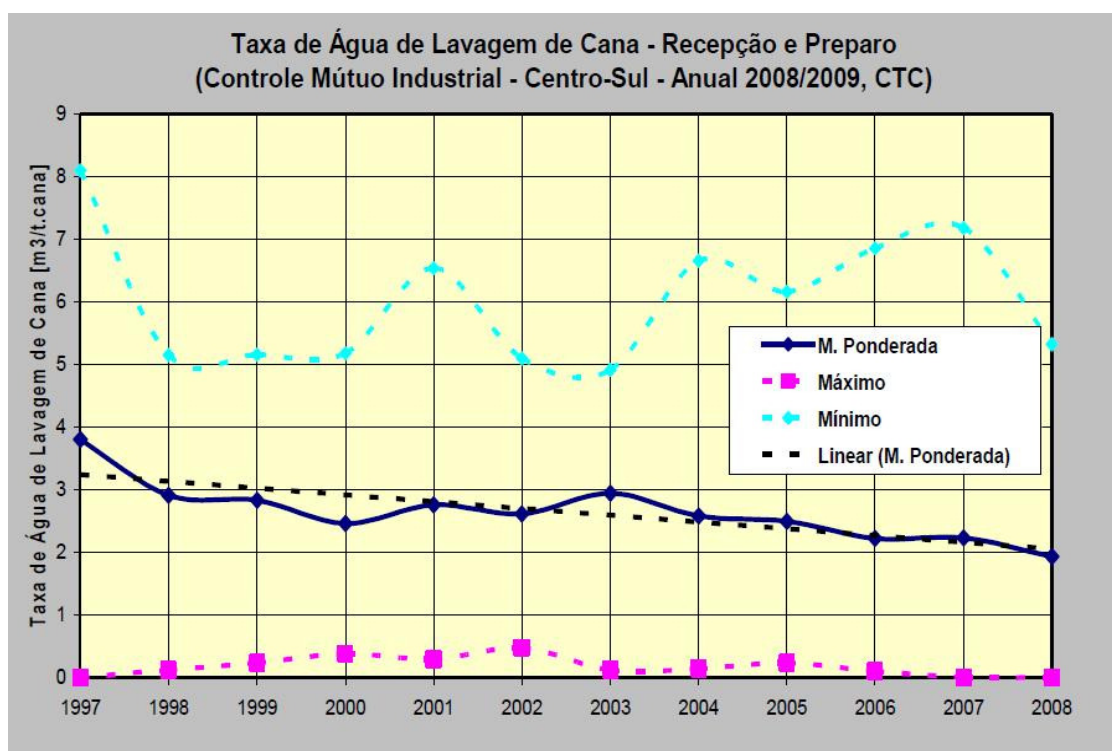


Figura 73: Taxa de água de lavagem de cana – recepção e preparo

Fonte: Elia Neto - CTC (2009)

Nos últimos anos verifica-se racionalização de consumo de água e maior preocupação com a reutilização, possibilitando atingir a média de captação de água de 1m³ por tonelada de cana em médio prazo (**Elia Neto**, 2005).

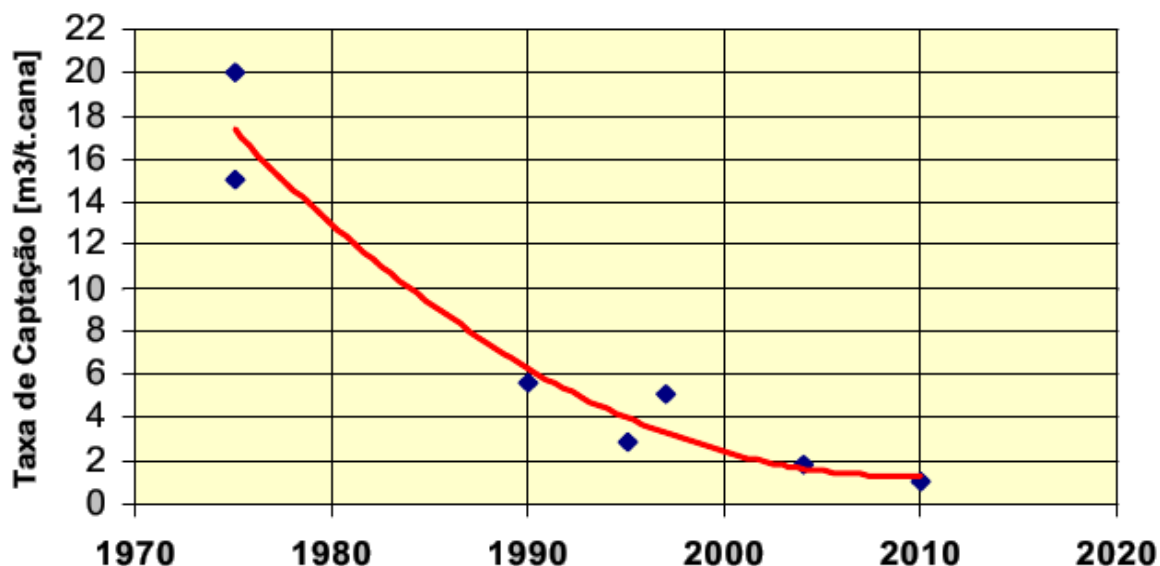


Figura 74: Curva de tendência da taxa de captação de água na indústria canaveira

Fonte: Elia Neto - CTC (2009)

2.4.4 Síntese dos Indicadores de Sustentabilidade

Em decorrência do esforço realizado neste capítulo apresentamos um conjunto de indicadores que seriam importantes para acompanhar a sustentabilidade da atividade da agro-indústria em suas diferentes dimensões. Esses indicadores foram divididos de acordo com seu nível de cobertura em agregados, quando dizem respeito a unidades geográficas como o País, a Macro-Região, Estado, Micro-Região ou Município, micro, quando sua unidade de análise consiste na unidade de produção.

Quadro 3: Indicadores Agregados de Sustentabilidade

Nome	Fórmula	Fonte de Informação	Unidade Territorial
Impacto Econômico Direto e Indireto	PIB/MJ de Etanol	Matriz Insumo-Produto do IBGE e BEN	Brasil
Impacto Social Direto e Indireto	Emprego Direto e Indireto/MJ de Etanol	Matriz Insumo-Produto do IBGE, PNAD e BEN	Brasil
Energia Líquida/Energia Bruta	MJ de Etanol/(MJ de Etanol + Custo Direto e Indireto)	Matriz Insumo-Produto do IBGE e BEN	Brasil
Razão Custo Energético/Energia Líquida	Custo de Energia Direta e Indireta/MJ de Etanol	Matriz Insumo-Produto do IBGE e BEN	Brasil
Renovabilidade dos Custos Energéticos	Proporção de Energia Renovável nos Custos Energéticos Diretos e Indiretos	Matriz Insumo-Produto do IBGE e BEN	Brasil
Razão Custo Fóssil/Energia Líquida	Custos Energéticos Diretos e Indiretos Fósseis/Etanol	Matriz Insumo-Produto do IBGE e BEN	Brasil
Taxa de Emissão de Gases de CO2	CO2 Direto e Indireto/MJ de Etanol	Matriz Insumo-Produto do IBGE e BEN	Brasil
Taxa de Ocupação da Cana	Área Plantada com Cana/Área Plantada com Culturas Temporárias	PAM-IBGE	Brasil Estados Micro-regiões Municípios
Taxa de Ocupação Total da Cana	Área Plantada com Cana/Área de Estabelecimentos Agrícolas	PAM-IBGE Censo Agropecuário IBGE	Brasil Estados Micro-regiões Municípios
Substituição de Áreas	Variação de Área com Cana/Variação de Área Agrícola e Pecuária	PAM-IBGE Censo Agropecuário IBGE	Brasil Estados Micro-regiões Municípios

Quadro 4: Indicadores Agregados de Sustentabilidade

Nome	Fórmula	Fonte de Informação	Unidade Territorial
Nível de Emprego	No de Trabalhadores	PNAD	Brasil
Nível de Escolaridade	No de Trabalhadores por faixa de ano de estudo	PNAD	Brasil
Nível de renda dos Trabalhadores	No de Trabalhadores por faixa de ano de estudo	PNAD	Brasil
Taxa de Analfabetismo Adulto	Percentual de Analfabetos com mais de 15 anos	Atlas de Desenvolvimento Humano	Brasil Estados Micro-regiões Municípios
Taxa de Enrolamento no Curso Superior	Percentual de população em Curso Superior sobre faixa de 18 a 24 anos	Atlas de Desenvolvimento Humano	Brasil Estados Micro-regiões Municípios
Mortalidade Infantil	N. de Mortes até 5 anos/População até 5 anos	Atlas de Desenvolvimento Humano	Brasil Estados Micro-regiões Municípios
Renda per Capita	Rendimentos/N. de Habitantes	Atlas de Desenvolvimento Humano	Brasil Estados Micro-regiões Municípios
Índice de Gini	Mede a Disparidade da Distribuição de Renda por faixa da População	Atlas de Desenvolvimento Humano	Brasil Estados Micro-regiões Municípios
Índice de Pobreza	Percentual da População vivendo abaixo do nível de pobreza	Atlas de Desenvolvimento Humano	Brasil Estados Micro-regiões Municípios
IDH	Indicador Sintético (Esperança de Vida ao nascer, taxa de alfabetização de adultos, taxa de escolarização bruta, PIB per capita)	Atlas de Desenvolvimento Humano	Brasil Estados Micro-regiões Municípios

Quadro 5: Indicadores Micro para a Sustentabilidade

Nome	Fórmula	Fonte de Informação	Unidade Territorial
Custo de Produção da Cana	Custos Totais de Capital e Operacionais/Produção Total	Unidades Agrícolas ou Consecana	
Custo de Produção do Etanol	Custos Totais de Capital e Operacionais/Produção Total	Usinas ou Consecana	
Rendimento Agrícola	Tonelada/hectare plantada	PAM-IBGE MAPA	Município Micro-Região Estado Brasil
Teor de sacarose da cana	ATR/tonelada de cana	Anuário Estatístico MAPA	Usina Estado Brasil
Taxa de Mecanização da Colheita	Área de colheita mecanizada/área total colhida	UNICA	São Paulo
Impureza da Cana	Peso das Impurezas/peso da cana na usina	CTC	Usina/São Paulo
Taxa de Água de Lavagem	M ³ de Água de Lavagem/tonelada de cana na usina	CTC	Usina/São Paulo
Taxa de Captação de Água	M ³ de Água captada/tonelada de cana na usina	CTC	Usina/São Paulo
Conteúdo energético da cana em pé	Energia contida na cana em pé (caldo+bagaço+palha)		
Conteúdo energético da Cana na Usina	Energia contida na cana na esteira (caldo+bagaço+palha aproveitada)		
Custo energético total	Total da energia da cana utilizada no processo industrial/conteúdo energético da cana		
Custo energético unitário	Energia da Cana usada para produzir uma unidade de álcool, açúcar, eletricidade de exportação		

3.1 Levantamento das iniciativas atuais, nacionais e internacionais, de certificação

3.1.1 Introdução

O crescimento acelerado da produção e uso dos biocombustíveis neste século está chamando a atenção em vários setores mundiais, quer seja pela preocupação legítima com os possíveis impactos negativos no meio ambiente e produção de alimentos pelos aumentos da área agrícola, quer seja pela sensação de invasão de seus mercados em alguns setores da economia. O fato é que o resultado desta preocupação tem sido uma série de iniciativas no sentido de assegurar que a produção de biocombustíveis seja feita de forma sustentável, em seu sentido mais amplo. Isso significa que, além dos aspectos econômicos, os aspectos ambientais e sociais têm que ser levados em conta nas avaliações. Estas iniciativas trazem em seus bojos preocupações e cuidados legítimos com a sustentabilidade dos biocombustíveis, mas podem embutir algumas ações de protecionismo, às vezes bem sutis, que precisam ser identificadas e combatidas pelos países que pretendem ser exportadores de combustíveis renováveis. Por esta razão é importante que o Brasil, com seu enorme potencial de produção e de exportação de biocombustíveis, acompanhe de perto estas iniciativas e desenvolva uma Agenda Nacional de Sustentabilidade dos Biocombustíveis, para sair da posição defensiva em que tem estado até o momento. Esta Agenda Nacional deverá contemplar todos os critérios e indicadores mais importantes dos programas internacionais e contar com uma base de dados ampla, confiável e rastreável, assim como uma metodologia de análise internacionalmente aceita, mas que leve em conta as especificidades nacionais.

Na fase inicial, coberta no Relatório Parcial do Projeto, foram pré-selecionadas algumas iniciativas sobre sustentabilidade dos biocombustíveis, considerando aquelas que têm mais possibilidade de se converterem em sistema de certificação a nível internacional e as nacionais que tenham mostrado alguma consistência e impacto. É fácil perceber que o Brasil ainda engatinha na busca de sua Agenda Nacional de Sustentabilidade de Biocombustíveis, mormente pela falta de uma coordenação mais abrangente e legitimada entre todos os *stakeholders*. Todavia, já é possível identificar vários esforços para cobrir os aspectos mais urgentes como são os casos do Zoneamento Agroecológico da Cana de Açúcar, recentemente aprovado pelo Governo Federal, o Zoneamento Agroambiental do Estado de São Paulo, os Protocolos Ambientais de São Paulo e Minas Gerais, o Programa Brasileiro de Certificação em Biocombustíveis, a ação da UNICA contra alguns pontos críticos das certificações da EU, EPA e Califórnia, assim como os desenvolvimentos de pesquisas e coletas de dados, importantes para os cálculos dos indicadores, por instituições como a EMBRAPA, CTC, CENA, Esalq, Unicamp, IAC e muitas outras; esforços estes que ainda carecem de uma coordenação e direcionamento de foco. O CTBE está se propondo a fazer uma parte deste trabalho de focalização de pesquisas para os tópicos de seu interesse, que são preliminarmente: balanços de

²⁴ Pesquisadores responsáveis: Arnaldo Cesar da Silva Walter (NIPE/UNICAMP) e Manoel Regis Lima Verde Leal (CENEA – Centro de Energias Alternativas e Meio Ambiente).

energia e de emissões de gases de efeito estufa (GEE), mudanças de uso do solo (diretas e indiretas), estoque de carbono no solo e emissões de GEE do solo, impactos socioeconômicos e uso da água e seus impactos na disponibilidade e qualidade dos recursos hídricos. Outros aspectos, também muito importantes, como preservação da biodiversidade, qualidade do ar e do solo, segurança alimentar e segurança energética, por dependerem muito das condições locais, podem ser abordados mais tarde.

3.1.2 Critérios e Indicadores de Sustentabilidade de Biocombustíveis

Talvez por ser a sustentabilidade um conceito fortemente afetado por percepções, experiências e culturas pessoais, que varia de indivíduo para indivíduo, a quantidade e diversidade de critérios e indicadores de sustentabilidade encontrados nas análises das iniciativas internacionais de sustentabilidade são enormes e merecem uma crítica séria para reduzir o número a um valor razoável devido às dificuldades e custos em quantificá-los. Sendo também um conceito normativo, a certificação traz dificuldades adicionais por necessitar de consenso em itens muitas vezes polêmicos e carregados de interesses específicos. A filtragem dos critérios e a identificação de indicadores realmente importantes, rastreáveis e mensuráveis ou quantificáveis, é uma tarefa de suma importância, prioritária e fundamental para a elaboração de um processo de certificação ao mesmo tempo significativo e viável. Um exercício neste sentido será desenvolvido a seguir utilizando-se as iniciativas internacionais de definição de sustentabilidade pré-selecionadas no Relatório Parcial. São elas:

- European Parliament Directive on Renewable Energy
- CARB – California Environmental Protection Agency – Air Resources Board: Low Carbon Fuel Standards.
- EPA – Environmental Protection Agency, Draft Regulatory Impact Analysis: Changes to Renewable Fuel Standard Program.
- GBEP – Global Bioenergy Partnership
- RSB - Roundtable on Sustainable Biofuels
- Cramer Report
- BSI – Better Sugarcane Initiative

3.1.2.1 Diretiva do Parlamento Europeu

Conforme apresentado no Relatório Parcial, os critérios de sustentabilidade de biocombustíveis na União Européia (UE) foram definidos pelo Parlamento Europeu em Dezembro de 2008. A publicação da legislação correspondente ocorreu em abril de 2009 (EC, 2009).

No que diz respeito à promoção de fontes renováveis de energia, a Diretiva define metas para seu uso em transportes, e critérios de sustentabilidade para os biocombustíveis. Os fornecedores de energia para sistemas de transportes devem

assegurar a redução das emissões de GEE associadas a seu suprimento em 6% no período 2011-2020, isso em relação às emissões de combustíveis fósseis em 2010. Esses agentes devem também apresentar avaliações das emissões de GEE no ciclo de vida dos energéticos a partir de 2011.

Em todos os Estados Membros da UE, ao menos 10% da demanda energética em transportes, em 2020, deve ser atendida por fontes renováveis, biocombustíveis entre elas. Biocombustíveis produzidos a partir de materiais lignocelulósicos e resíduos (segunda geração) terão suas emissões evitadas contabilizadas em dobro para o atendimento das metas. As emissões de GEE devem ser reduzidas no mínimo em 35% em relação àquelas do ciclo de vida de gasolina e diesel já a partir de 2010, chegando esse limite a 60% em 2018 (com a ressalva de que as emissões evitadas poderão ser 50% no caso das unidades já existentes no ano anterior).

Na Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009, no seu Artigo 17: Sustainability criteria for biofuels and bioliquids estão listados os principais critérios e indicadores para determinar a sustentabilidade destes produtos, de forma a que se qualifiquem para serem contabilizados para o cumprimento das metas estabelecidas. A linguagem da Diretiva é da forma de lei e por isso é muito detalhada e entediante, tornando sua leitura demorada. Aqui será utilizada uma linguagem simplificada para facilitar a compreensão dos critérios e indicadores em questão. Os pontos principais do Artigo 17 são:

Redução das emissões de GEE pelo uso de biocombustíveis

Para se qualificar para contar como parte do cumprimento das metas da Diretiva, o biocombustível precisa causar uma redução de emissões de no mínimo 35% em relação ao combustível fóssil de comparação, na análise de ciclo de vida dos dois combustíveis (para as instalações já em operação em 23/01/2008 este requisito só se aplicará a partir de 01/03/2013). Em 01/01/2017 o limite mínimo de reduções será de 50% e em 01/01/2018 passará para 60%, para as instalações que começarem a produzir a partir de 01/01/2017.

Proteção da biodiversidade

Os biocombustíveis não deverão ser produzidos de matérias primas cultivadas em áreas com alto valor de biodiversidade como:

- Florestas primárias ou outras áreas com espécies nativas nas quais o processo ecológico não está significativamente perturbado.
- Áreas designadas por lei ou por autoridade competente para proteção da natureza ou para proteção de ecossistemas raros, ameaçados ou em perigo, ou com espécies reconhecidas por acordos internacionais, ou incluídas em listas de organizações intergovernamentais, ou pela International Union for Conservation of Nature.
- Pastagens (grassland) de alta biodiversidade. A Comissão vai estabelecer os critérios e as faixas geográficas para definir quais pastagens se enquadraram neste tópico.

Áreas com elevados estoques de carbono

Os biocombustíveis não devem ser produzidos a partir de matérias primas cultivadas em áreas com elevado estoque de carbono, tais como:

- Áreas alagadas, ou seja, terra coberta de água ou saturada de água.
- Áreas com florestas contínuas com mais de um hectare e com árvores acima de cinco metros de altura e com cobertura de copa de mais de 30%.
- Áreas com mais de um hectare e árvores com altura acima de cinco metros e cobertura de copa entre 10 e 30%, a menos que haja evidência demonstrada que os estoques de carbono são compensados pelo uso do biocombustível.
- Áreas com depósitos de turfa, a menos que seja demonstrado que o cultivo e a colheita da matéria prima do biocombustível não envolveram a drenagem do solo, previamente não drenado.

A data de referências para as qualificações é janeiro de 2008.

Boas práticas agrícolas

As matérias primas dos biocombustíveis produzidas nos países membros da União Européia, para efeito de qualificação, precisam ser cultivadas dentro dos requisitos e padrões das normas européias.

Aspectos sociais e ambientais

A Comissão deverá apresentar relatório a cada dois anos ao Parlamento Europeu e ao Conselho a respeito das práticas de países membros e terceiros países sobre as medidas tomadas a respeito dos itens acima, para proteção do solo, ar e água. Os pontos principais da sustentabilidade social são os impactos da produção dos biocombustíveis nos alimentos e no direito de uso da terra, bem como a ratificação e o cumprimento das Convenções da Organização Mundial do Trabalho (ILO), em especial as que tratam de trabalho forçado e compulsório, direito de organização e barganha coletiva, liberdade de associação, igualdade dos gêneros e outras.

Quando houver evidência de que a produção de biocombustíveis causou impactos significativos nos preços dos alimentos deverá ser proposta ação corretiva.

O processo de cálculo das emissões evitadas de GEE, pela produção e uso de biocombustíveis, está bem detalhado no Anexo V da Diretiva (Rules for Calculating the GHG Impact of Biofuels, Bioliquids and their Fossil Comparators), sendo inclusive indicados valores típicos e de default para os vários tipos de biocombustíveis, levando em conta a matéria prima e o processo produtivo; está indicado também em que condições os valores default podem ser utilizados. É interessante observar que há um bônus de 29 gCO₂ e/MJ_f, válido por dez anos, para os biocombustíveis com matérias primas produzidas em áreas anteriormente degradadas ou contaminadas. Os métodos para contabilizar os rejeitos e resíduos, co-produtos e cogeração de energia excedente também estão estabelecidos.

O processo de verificação de atendimento dos requisitos da Diretiva para poder ter o uso do biocombustível contabilizado para o atendimento das metas está descrito no Artigo 18. Verification of compliance with the sustainability criteria for biofuels and bioliquids.

3.1.2.2 California Air Resources Board (CARB): Low Carbon Fuel Standard (LCFS)

O Low Carbon Fuel Standard (LCFS) visa ampliar os efeitos do Renewable Fuel Standard (RFS2) do Energy Independence and Security Act of 2007 (EISA), que foi estimado em cerca de 3% das emissões de GEE em 2010, chegando a cerca de 10% de redução das emissões do ano de referência (2010) (CEPA/ARB, 2009). Ao contrário do RFS1 e RFS2, que definem a participação em volume dos biocombustíveis no transporte como a meta prioritária, o LCFS estabelece as reduções da intensidade de carbono (carbon foot print ou carbon intensity, em gCO_2/MJ_f) dos combustíveis de transporte como um todo, deixando a escolha do tipo de combustível para os fornecedores de combustíveis (além do biocombustíveis podem ser utilizados vários tipos de combustíveis fósseis alternativos, como GNC, GLP, H_2 , energia elétrica e outros; o importante é reduzir as emissões de GEE na média, atendendo a uma curva de emissões médias entre 2010 e 2020).

A verificação das reduções de emissões é através de análise de ciclo de vida que deve ser feita em duas etapas: (1) da produção de matéria prima até a bomba de combustível; (2) uso no veículo. Desta forma, fica muito importante a tríade: eficiência do motor e veículo, uso do veículo e intensidade de carbono do combustível; isto torna muito importante o desenvolvimento de motores específicos para cada combustível (o que não será aceito facilmente pelas montadoras de veículos automotores). Na etapa (1) deverá ser considerado o total de emissões diretas, cobrindo toda a cadeia produtiva do combustível e seu transporte, bem como as emissões ditas indiretas; na etapa (2) as emissões são calculadas baseadas no conceito de fator de ajuste de eficiência veicular que leva em conta o consumo de combustível do veículo (km/litro ou milha/galão) e intensidade de carbono do combustível (gCO_2/MJ_f).

No caso das emissões diretas, o cálculo deverá ser feito com o uso do software GREET (Greenhouse Gases Regulated Emissions and Energy Use in Transport), desenvolvido pelo Argonne National Laboratory – ANL e modificado para incorporar as especificidades das condições do estado da Califórnia, chamado CA-GREET. O GREET considera valores médios de uso de energia na agricultura, obtidos de levantamentos feitos pelo Departamento de Agricultura do USA (USDA), coeficiente de emissões disponíveis na EPA, EPRI (Electric Power Research Institute) e outros, uso de produtos e insumos estimados pelo USDA (fertilizantes, herbicidas, pesticidas, etc.) que são convertidos pelo GREET em energia usada na produção e emissões associadas, N_2O de fertilizantes e CO_2 de calcário pelos fatores do IPCC; no processamento o modelo usa valores médios de consumo de energia e emissões para cada equipamento e, finalmente, inclui os créditos para os co-produtos. O LCA do combustível de referência é também feito com uso do CA-GREET.

As únicas emissões indiretas consideradas significativas pelo CARB são as resultantes das mudanças de uso do solo, diretas (LUC) e indiretas (ILUC), e o método de cálculo é através do software GTAP (Global Trade Analysis Project), que é um modelo de equilíbrio geral desenvolvido e mantido pela Universidade de Purdue; o GTAP divide o mundo em 111 regiões e foi adaptado para o LUC e ILUC com a adição de 18 Zonas Agroecológicas no mundo, com tabelas de fatores de emissões e de co-produtos. Os impactos dependem das áreas afetadas, ou seja, da área total de cada mudança de uso e o fator de emissão do tipo de conversão de

uso. O LCFS fornece valores de default para cada rota de produção e transporte dos vários combustíveis, inclusive para as emissões de LUC/ILUC.

O combustível de referência é a chamada California Reformulated Gasoline Bledstock for Oxygenate Blending (CARBOB); o valor da intensidade de carbono varia no período da norma (2011 a 2020), sendo 95,6 gCO₂e/MJ em 2011 e chegando a 86,27 em 2020, assim como os requisitos de intensidade média dos combustíveis alternativos.

A Tabela 92 mostra os valores da intensidade de carbono de cada rota de produção de combustível alternativo, com valores totais, emissões diretas e emissões do LUC/ILUC.

Tabela 92: Valores de intensidade de carbono ajustados para a gasolina e combustíveis que substituem a gasolina

**Adjusted Carbon Intensity Values
for Gasoline and Fuels that Substitute for Gasoline**

Fuel	Pathway Description	Carbon Intensity Values (gCO ₂ e/MJ)		
		Direct Emissions	Land Use or Other Effect	Total
Gasoline	CARBOB – based on the average crude oil delivered to California refineries and average California refinery efficiencies	95.86	0	95.86
	CaRFG-CARBOB and a blend of 100% average Midwestern corn ethanol to meet a 3.5% oxygen content by weight (approximately 10% ethanol)	96.09	---	96.09 ¹
	CaRFG-CARBOB and a blend of an 80% Midwestern corn ethanol and 20% California corn ethanol to meet a 3.5% oxygen content by weight blend (approximately 10% ethanol)	95.85	---	95.85 ¹
Ethanol from Corn	Midwest average; 80% Dry Mill; 20% Wet Mill; Dry DGS	69.40	30	99.40
	California; Dry Mill; Wet DGS; NG	50.70	30	80.70
	California average; 80% Midwest Average; 20% California; Dry Mill; Wet DGS; NG	65.66	30	95.66
	Midwest; Dry Mill; Dry DGS	68.40	30	98.40
	Midwest; Wet Mill	75.10	30	105.10
	Midwest; Dry Mill; Wet DGS	60.10	30	90.10
	California; Dry Mill; Dry DGS, NG	58.90	30	88.90
	Midwest; Dry Mill; Dry DGS; 80% NG; 20% Biomass	63.60	30	93.60
	Midwest; Dry Mill; Wet DGS; 80% NG; 20% Biomass	56.80	30	86.80
	California; Dry Mill; Dry DGS; 80% NG; 20% Biomass	54.20	30	84.20
	California; Dry Mill; Wet DGS; 80% NG; 20% Biomass	47.44	30	77.40
Ethanol from Sugarcane	Brazilian sugarcane using average production processes	27.40	46	73.40
Electricity	California average electricity mix	124.10	0	41.37 ²
	California marginal electricity mix of natural gas and renewable energy	104.70	0	34.90 ²
Hydrogen	Compressed H ₂ from central reforming of NG	142.20	0	61.83 ³
	Liquid H ₂ from central reforming of NG	133.00	0	57.83 ³
	Compressed H ₂ from on-site reforming of NG	98.30	0	42.74 ³
	SB 1505 Scenario; Compressed H ₂ from on-site reforming with renewable feedstocks	76.10	0	33.09 ³

¹ Calculated value; land use part of the value

² Adjusted by an EER factor of 3.0 to account for power train efficiency improvements over gasoline engines

³ Adjusted by an EER factor of 2.3 to account for power train efficiency improvements over gasoline engines

O parâmetro EER, mencionado na Tabela 1, refere-se ao energy economy ratio, que é a relação entre os consumos (base energética, ou seja, km/MJ) do combustível em questão e o combustível de referência; para os tipos de gasolina e etanol mostrados o valor é 1,0.

Esses são valores atuais, e é importante notar que, devido a inclusão de uma pesada parcela de 46 gCO₂e/MJ referente ao LUC/ILUC, o etanol brasileiro de cana de açúcar ficou com o valor intensidade de carbono de 73,40 gCO₂e/MJ, o que corresponderia a uma redução de emissões de apenas 24%, não se qualificando como Advanced Biofuel pelos critérios do RFS2. O valor das emissões de LUC/ILUC do etanol de milho americano é de 30 gCO₂e/MJ o que deixa este biocombustível

com a intensidade de carbono total variando de 77,4 a 99,4 gCO₂e/MJ, dependendo do processo produtivo e do local de produção.

O CARB (Executive Officer) pode aprovar o uso de valores diferentes dos de default listados na Tabela 1, para refletir rotas específicas, através de modificações nos valores de entrada do CA-GREET (Método A) ou da geração de novas rotas do combustível usando o CA-GREET (Método B). O requerimento para essas mudanças precisa ser acompanhado de evidência científica que justifique o pleito.

A sustentabilidade dos combustíveis alternativos considerados no LCFS está fortemente calcada na análise de ciclo de vida das emissões de GEE, neste primeiro momento, já que o foco é a redução das emissões de GEE no estado. Todavia, o CARB irá apresentar em dezembro de 2009 um plano de incorporar outros tópicos de sustentabilidade e as respectivas metodologias de medição e como elas serão incorporadas e exigidas no LCFS. Será certamente incluída a exigência de análise ambiental para determinar os impactos no uso e qualidade da água, recursos agrícolas, recursos biológicos, geologia e solos, materiais perigosos, recursos minerais, resíduos e efluentes e outros. O objetivo será garantir que não haverá impactos negativos que possam prejudicar a capacidade de utilizar combustíveis alternativos de baixa intensidade de carbono no futuro.

Os outros componentes da sustentabilidade, ambiental e social, irão exigir colaborações internacionais e o uso de padrões de certificação, a serem desenvolvidos pelo CARB em dois anos após a adoção do LCFS.

Do ponto de vista econômico, as preocupações são com o futuro custo do petróleo, os custos reais de produção dos combustíveis alternativos e a temporalidade de entrada dos combustíveis alternativos. Tanto o LCFS como o RFS2 resultarão na transferência de recursos de capital do setor de petróleo para a agricultura, setor químico, eletricidade e gás natural. Os principais pontos de preocupação são: altos valores de emissões de GEE indicados nas análises de LUC/ILUC, impacto nos preços dos alimentos e o aumento da intensidade de carbono dos tipos de petróleo não convencional que entrarão no mercado.

3.1.2.3 EPA – Environmental Protection Agency: Renewable Fuel Standard 2 (RFS2)

A Lei Federal dos USA Energy Independency and Security Act of 2007 (EISA) contém vários itens que visam primordialmente a segurança energética do país, via redução da dependência do petróleo e diversificação da matriz energética, mas também busca reduzir as emissões de GEE. Dentro deste último item se destaca o Renewable Fuel Standard revisado para estender o alcance da versão anterior contida no Energy Policy Act of 2005. Este último demandava o uso de etanol em escala crescente atingindo 4 bilhões de galões em 2006 e subindo a 7,5 bilhões de galões em 2012; a EISA estendeu esta demanda para 36 bilhões de galões em 2022 e dividiu os biocombustíveis em quatro categorias: combustível renovável (essencialmente etanol de milho), biocombustíveis avançados, diesel de biomassa e biocombustível celulósico. As quantidades demandadas de cada um destes quatro tipos estão mostradas na Tabela 93 para alguns anos do período 2008-2022.

Tabela 93: Quantidades de biocombustíveis demandadas pelo RFS2 (bilhões de galões)

Ano	Combustível Renovável	Biocombustíveis Avançados¹	Diesel de Biomassa	Biocombustível Celulósico	Total
2008	9,0	0	0	0	9,0
2012	13,2	2,0	1,0	0,5	15,2
2016	15,0	7,25	1,0	4,25	22,25
2020	15,0	15,0	1,0	10,5	30,0
2022	15,0	21,0	1,0	16,0	36,0

Nota 1: Os biocombustíveis avançados incluem o diesel de biomassa, o biocombustível celulósico e outros biocombustíveis com redução de emissões de GEE de no mínimo 50% em relação à alternativa fóssil.

Fonte: EPA (2009a)

Para cada um destes tipos de biocombustíveis o RFS2 estabelece limite mínimo de redução de emissões, conforme indicado na Tabela 94. A EISA autoriza à EPA a reduzir em até 10% os limites apresentados nesta tabela.

Tabela 94: Limites de redução de emissões no LCA dos biocombustíveis

Tipo de biocombustível	Limite mínimo de redução de emissões
Combustível renovável	20% ¹
Biocombustível avançado	50%
Diesel de biomassa	50%
Biocombustível de celulósico	60%

Nota 1: Este limite só se aplica aos biocombustíveis produzidos em instalações construídas depois de 19/12/2007

Fonte: EPA (2009a)

A análise de ciclo de vida tem que levar em conta, obrigatoriamente, as emissões por mudanças de uso do solo, diretas e indiretas. Os softwares utilizados pela EPA são: GREET para as LCA's das emissões diretas e o FASOM (Forest and Agriculture Sector Optimization, desenvolvido pela Universidade do Texas A&M) e o FAPRI (desenvolvido pela Universidade de Iowa) para avaliar as ocupações do solo pela expansão das culturas motivada pelo aumento da produção de biocombustíveis em questão; os combustíveis de referência são os derivados fósseis utilizados em 2005.

É exigido também a rastreabilidade dos biocombustíveis, sendo designados números de identificação para os lotes (RIN – Renewable Identification Number) desde suas origens.

Várias análises foram desenvolvidas pela EPA para determinar os impactos econômicos, na segurança energética, nos custos dos combustíveis, no consumo de

petróleo, nas emissões de GEE, no setor agrícola e na qualidade do ar (EPA, 2009), decorrentes da aplicação do RFS2. O mais importante é que se espera que o RFS2 reduza a dependência de petróleo importado, aumente a oferta interna de energia de fontes domésticas, diversifique a matriz energética e, principalmente, proporcione reduções significativas nas emissões de GEE.

Outro efeito colateral importante será o reforço na economia do setor agrícola e a impulsão na nova indústria de biocombustíveis de segunda geração, neste caso, pela reserva de mercado de proporções importantes para estas tecnologias. De uma forma resumida, os principais impactos esperados indicados nestas análises são:

Emissões de GEE

A EISA estabelece pela primeira vez nos USA o uso obrigatório da LCA de emissões de GEE para indicar as diferenças entre os biocombustíveis quanto às quantidades demandadas e alguns privilégios. Desta forma, a LCA dos biocombustíveis das categorias definidas na EISA tornou-se um dos pontos mais importantes desta legislação. A EPA recebeu a incumbência de realizar as LCA's dos biocombustíveis e compará-las com as LCA's dos combustíveis fósseis equivalentes, gasolina e diesel, tendo o ano de 2005 como referência. A metodologia está detalhada no Federal Register vol. 74, n. 99 (Federal Register, 2009), seção VI e inclui por força da EISA não só os efeitos diretos em termos de emissões na cadeia produtiva, transporte e uso final do biocombustível, mas também os efeitos indiretos significativos, que até o momento tem sido as emissões devidas às mudanças de uso do solo, diretas e indiretas, considerando inclusive as emissões em outros países. Pode ser visto neste documento que a metodologia de análise inclui o uso de modelos de processos (GREET) e modelos econômicos utilizando os métodos de equilíbrio parcial (FAPRI, FALSOM) bem como equilíbrio geral (GTAP). Imagens de satélite fornecem informações sobre os tipos de solos que serão convertidos em plantações. Duas opções são consideradas para os impactos das emissões: período de 100 anos e uma taxa de desconto de 2% ao ano para as emissões futuras, ou período de 30 anos com taxa de desconto 0%. Os valores finais das análises servem para indicar a categoria em que deve ser enquadrado o biocombustível em questão. A Tabela 95 mostra o resultado das análises da EPA para os principais tipos de biocombustíveis, inclusive o etanol de cana de açúcar produzido no Brasil e transportado para os USA (EPA, 2009b). Uma visão mais ampla da metodologia de LCA da EPA pode ser encontrada em EPA, 2006.

Tabela 95: Redução de emissões de GEE de acordo com LCA's da EPA para diferentes tipos de biocombustíveis e rotas de produção

Tipo de biocombustível	100 anos, taxa de desconto 2% (%)	30 anos, taxa de desconto 0% (%)
Etanol de milho (GN dry mill)	-16	+5
Etanol de milho (melhor caso de GN dry mill)	-39	-18
Etanol de milho (carvão dry mill)	+13	+34
Etanol de milho (biomassa dry mill)	-39	-18
Etanol de milho (biomassa dry mill com cogeração)	-47	-26
Biodiesel de soja	-22	+4
Biodiesel de gorduras	-80	-80
Etanol de cana de açúcar	-44	-26
Etanol de switchgrass	-128	-124
Etanol de resíduos de milho	-115	-116

Fonte: EPA (2009b)

É possível observar que o etanol de cana de açúcar não se qualifica como advanced biofuel, assim com o etanol de milho.

Impactos econômicos e segurança energética

Depois da redução de emissões de GEE a principal característica desejável de um biocombustível é sua contribuição para a segurança energética do país, através da redução de importação de petróleo e diversificação da matriz energética, e os aspectos econômicos relacionados aos impactos nas importações. A estimativa é de que a redução de gastos com a importação de petróleo será cerca de US\$ 16 bilhões em 2022; os benefícios totais com a segurança energética são estimados em uma redução de US\$ 12,38/barril no petróleo importado pelos USA, decorrente do deslocamento de 15 bilhões de galões de gasolina e diesel derivados de petróleo.

3.1.2.4 Roundtable on Sustainable Biofuels (RSB)

A RSB é uma iniciativa da École Polytechnique Federal de Lausanne (EPFL) na tentativa de estabelecer princípios globais e critérios para a produção sustentável de biocombustíveis (RSO, 2008). Em 2007 foram publicadas as primeiras propostas de princípios para a produção sustentável. Grupos de Trabalhos foram formados com membros dos vários setores interessados no assunto para sugerirem os critérios para se atingir esses princípios, em um processo bem diferente das três iniciativas analisadas anteriormente (Diretiva Europeia, LCFS e RFS2) no sentido de que o assunto é tratado de uma maneira mais global com envolvimento de participantes de vários países e regiões.

A proposta de norma para os princípios e critérios, assim como os elementos básicos para implementação estão baseados, principalmente, nos trabalhos já desenvolvidos pelo Forest Stewardship Council, Comissão Cramer da Holanda, Low Carbon Vehicle Partnership do Reino Unido, Roundtable on Sustainable Palm Oil, Agenda de Decent Work da ILO, Sustainable Agriculture Network, Better Sugarcane Initiative, e outros.

Os itens básicos são:

- Princípios: doutrinas gerais da produção sustentável.
- Critérios: condições a serem alcançadas para se atingir estas doutrinas.
- Indicadores: elementos que permitem avaliar se os produtores na cadeia dos biocombustíveis estão satisfazendo um critério em particular.

A seguir, na Tabela 96, são listados os temas e princípios sugeridos pela RSB, de forma simplificada:

Tabela 96: Temas e princípios sugeridos pela RSB

Tema	Princípio
Legalidade	A produção de biocombustíveis deve seguir as leis aplicáveis do país e deve buscar tratados internacionais relevantes.
Consulta, planejamento e monitoramento	Os projetos de biocombustíveis devem ser concebidos e operados dentro de um sistema consultivo apropriado envolvendo todos os atores.
Emissões de gases de efeito estufa (GEE)	Os biocombustíveis devem contribuir para a mitigação das mudanças do clima via redução significativa das emissões de GEE comparados com os combustíveis fósseis. Não só as emissões diretas de GEE da cadeia produtiva, transporte e uso devem ser consideradas, mas também aquelas resultantes das mudanças diretas e indiretas de uso do solo.
Direitos humanos e trabalhistas	A produção de biocombustíveis não deve violar os direitos humanos e trabalhistas, e deve assegurar trabalho decente e o bem estar dos trabalhadores.
Desenvolvimento social e rural	A produção de biocombustíveis deve contribuir para o desenvolvimento social e econômico dos povos e comunidades locais, rurais e indígenas.
Segurança alimentar	A produção de biocombustíveis não deve impactar negativamente a produção de alimentos.
Conservação	A produção de biocombustíveis deve evitar impactos negativos na biodiversidade, ecossistemas, e áreas de Alto Valor Conservacionista.
Solo	A produção de biocombustíveis deve promover práticas que busquem melhorar a saúde do solo e minimizar a degradação.
Água	A produção de biocombustível deve otimizar o uso dos recursos hídricos de superfície ou do solo, incluído a contaminação e exaustão destes recursos, e não deve violar os direitos de uso da água, formais ou habituais.
Ar	A poluição do ar advinda da produção e processamento de biocombustíveis deve ser minimizada ao longo de toda cadeia produtiva.
Eficiência econômica, tecnologia e	Os biocombustíveis devem ser produzidos da maneira mais econômica. O uso de tecnologia

melhorias contínuas	deve melhorar a eficiência de produção e o desempenho sócio-ambiental em todos os estágios da cadeia produtiva.
Direitos de posse terra	A produção de biocombustíveis não deve violar os direitos de posse da terra.

As orientações e detalhes de como os critérios e indicadores devem ser detalhados, medidos e avaliados são apresentados nesta proposta de norma, porém não cabem sem discutidos nesta avaliação.

3.1.2.5 Cramer Report

Trata-se do relatório elaborado por um grupo de projeto montado pelo governo holandês (Sustainable Production of Biomass) com o objetivo de formular critérios para a produção e o processamento de biomassa para energia, combustíveis ou produto químicos, tanto na Holanda como no exterior. O grupo de trabalho elaborou o Relatório Final com o título de Criteria for Sustainable Biomass Production (Cramer et al., 2006); o grupo foi coordenado pela ministra do Meio Ambiente da Holanda Jacqueline Cramer. O ponto de partida na definição dos critérios e indicadores foi a seleção de seis temas básicos e nove princípios para servir de base no detalhamento.

Temas:

- Emissões de gases de efeito estufa
- Competição com alimentos e aplicações locais de biomassa
- Biodiversidade
- Meio ambiente
- Prosperidade
- Bem estar social

Os princípios são:

1. O balanço de gases de efeito estufa da produção e uso da biomassa deve ser positivo
2. A produção de biomassa não deve ser à custa da destruição de importantes fontes de carbono no solo e na vegetação
3. A produção de biomassa para energia não deve prejudicar o suprimento local de alimentos e outros usos da biomassa

4. A produção de biomassa não deve afetar biodiversidade vulnerável e protegida, e sempre que possível deve fortalecer a biodiversidade
5. Na produção de biomassa a qualidade do solo deve ser mantida ou melhorada
6. Na produção de biomassa a água superficial ou de solo não deve ser exaurida e a qualidade desta água deve ser mantida ou melhorada
7. Na produção e processamento da biomassa a qualidade do ar deve ser mantida ou melhorada
8. A produção de biomassa deve contribuir para a prosperidade
9. A produção de biomassa deve contribuir para o bem estar social dos empregados e da população local

Os critérios e indicadores sugeridos serão mostrados a seguir, na Tabela 97, para o tema Emissões de gases de efeito estufa, como exemplo do desenvolvimento dos critérios e indicadores.

Tabela 97: Tema 1- Emissões de gases de efeito estufa

Princípio 1: O balanço de emissões de GEE na cadeia de produção e uso deve ser positivo.	
Critério 1.1 No uso da biomassa a redução líquida de emissões de GEE deve ocorrer em toda cadeia. A redução é calculada em relação a uma situação de referência com combustíveis fósseis.	Indicador 1.1.1 (requisito mínimo) A redução de emissões de GEE deve ser no mínimo 50-70% para eletricidade e no mínimo 30% para biocombustíveis, calculado pelo método descrito no Capítulo 4. Estes são requisitos mínimos. Aqui o princípio básico deve ser que os instrumentos de políticas devem promover reduções maiores que o mínimo especificado através da forte diferenciação na base das reduções de emissões de GEE.
Princípio 2: A produção de biomassa não deve ocorrer à custa de importantes estoques de carbono na vegetação e no solo.	
Critério 2.1 Conservação do estoque de carbono acima do solo (vegetação) quando a unidade de biomassa é implantada.	Indicador 2.1.1(requisito mínimo) A instalação de novas unidades de produção de biomassa (UPB) não deve ocorrer em áreas onde a perda de estoque de carbono acima do solo não poderá ser recuperada em menos de dez anos de produção (de biomassa). A data de referência é 1 de janeiro de 2007, com exceção daqueles fluxos de biomassa para os quais uma data de referência já se aplica (de outro sistema de certificação atualmente em desenvolvimento).
Critério 2.2 Conservação do estoque de carbono abaixo da superfície do solo quando unidades de biomassa são instaladas.	Indicador 2.2.1 (requisito mínimo) A instalação de novas unidades de produção de biomassa não deve ocorrer em áreas com grande risco de perdas significativas de carbono do solo, como pastagens, turfeiras, mangues e áreas úmidas. A data de referência é 1 de janeiro de 2007, com a exceção daqueles fluxos de biomassa para os quais a data de referência já existe de outros sistemas de certificação (atualmente em desenvolvimento).

No Relatório Cramer o processo de desenvolvimento de critérios e indicadores se apresenta de uma forma detalhada e didática, podendo ser utilizado como base no esforço de desenvolver estes parâmetros em uma Agenda Nacional de Sustentabilidade.

3.1.2.6 Global Bioenergy Partnership (GBEP)

O GBEP foi criado 2006, por solicitação do G8+5 na reunião do G8 em Gleneagles, em 2005 (GBEP, 2008), com as atividades baseadas em três pilares: segurança energética, segurança alimentar e desenvolvimento sustentável. Um ponto básico de preocupação é o risco do crescimento acelerado da produção e uso de bioenergia trazer impactos negativos na segurança alimentar e no meio ambiente. As mudanças de uso de solo e o desmatamento estão entre os itens mais focados. O Brasil é um dos membros ativos do GBEP, sendo representado pelo Ministério das Relações Exteriores (MRE), com atenção redobrada no tema de desenvolvimento de indicadores de sustentabilidade.

Em 2008 foi criada, dentro do GBEP, a Task Force on Sustainability que estabeleceu três subgrupos (ambiental, social e econômico e segurança alimentar) para desenvolver indicadores de sustentabilidade que sejam relevantes, práticos, baseados em ciência e voluntários para a produção e uso da bioenergia (GBEP, 2008). Cada subgrupo deverá partir tendo como base os indicadores já em uso e elaborar uma lista mais completa de seus candidatos relevantes a indicadores relacionando a base científica e praticidade (custo de coleta de informações) dos mesmos. O conjunto dos candidatos a indicadores será submetido à consulta a especialistas e atores do processo fora da Task Force. A lista final compilada pela Task Force será submetida ao Steering Committee.

Uma série de princípios e critérios para selecionar os indicadores foi elaborada como resumo abaixo (GBEP, 2008).

Relevância: O indicador deve ser relevante no que diz respeito à necessidade de medir o mais próximo possível a tendência de um critério ou componente de um critério. A relevância de cada indicador para os formuladores de políticas pode ser muito específica para o local e para a tecnologia; isso se refletirá na escolha de países e organizações para seu uso e informação. Todavia, a meta da Task Force é produzir um conjunto de indicadores que sejam universalmente relevantes.

Praticidade: A praticidade de um indicador vai determinar a extensão de seu uso. O histórico de uso de indicadores servirá para apontar os que estão sendo adequadamente medidos e utilizados, e as metodologias bem sucedidas podem ser facilmente adaptadas. A disponibilidade de dados e a habilidade de coletar dados para a medida de um indicador é determinante na praticidade deste indicador.

Base científica: O GBEP considera que a base científica dos indicadores é o ponto crucial para a operacionalidade, objetividade, transparência e credibilidade do produto. O objetivo é ter uma relação cientificamente estabelecida entre o indicador e o efeito que se quer medir, expresso pelo critério ou componente do critério. A metodologia de medição e o nível de confiança nos resultados devem contar com a concordância geral.

Escala geográfica dos indicadores: Os indicadores que estão sendo desenvolvidos pelo GBEP são prioritariamente dirigidos para informar os formuladores de políticas nacionais e por isso devem medir os efeitos a nível doméstico.

No desenvolvimento do conjunto final de indicadores é importante que se tenha em mente que eles serão utilizados nas análises domésticas de bioenergia em um

grande número de países e, por isso, o número de indicadores deve ser minimizado, mas garantindo a abrangência da análise.

O GBEP é uma iniciativa que merece ser acompanhada, devido ao grande número de países envolvidos, apoio do G8+5, e pela participação ativa do Brasil desde o início. Esta sua característica positiva é também o grande complicador por envolver interesses e culturas muito diversificados, e pelo grande número de atores. A Task Force está considerando utilizar a metodologia apresentada em Energy Indicators for Sustainable Development desenvolvido pela UNDESA, IEA e outros.

3.1.2.7 Better Sugarcane Initiative (BSI)

Apesar de ser uma iniciativa em uma escala muito menor que o GBEP em termos de participação (BSI, 2009), a BSI tem a sua importância entre as iniciativas de sustentabilidade de bioenergias pelo fato de ser direcionada para a produção de cana de açúcar, exatamente o ponto mais sensível da sustentabilidade do etanol brasileiro. Sua composição é de empresas privadas e ONG`s, tendo sido criada em 2005 pelo WWF e pelo World Bank International Finance Corporation. Os objetivos principais declarados são:

- Definir princípios, critérios, indicadores e padrões que sejam aplicáveis globalmente para assegurar a produção sustentável de cana de açúcar;
- Promover melhorias mensuráveis nos mais importantes impactos econômicos, sociais e ambientais da produção de cana de açúcar e de seu processamento;
- Desenvolver um sistema de certificação que assegure a todos os agentes envolvidos na cadeia produtiva da cana de açúcar, e de seus produtos, que a produção se dá de acordo com critérios aceitos, confiáveis, transparentes e mensuráveis;
- Apoiar a transição da BSI para uma plataforma internacionalmente aceita e que tenha como metas o aumento da eficiência de produção e a sua sustentabilidade.

Os trabalhos da BSI são baseados nos cinco princípios declarados:

- Observância às leis;
- Respeito aos direitos humanos e às convenções da Organização Mundial do Trabalho (ILO);
- Gerenciamento dos recursos, bem como eficiências de produção e de processamento que assegurem a sustentabilidade;
- Comprometimento com a melhoria contínua nas áreas chave de suas atividades;
- Gestão ativa dos serviços da biodiversidade e dos ecossistemas.

É importante que se diga que representantes importantes do setor sucroalcooleiro brasileiro, como a UNICA, participam do processo, facilitando a aceitação futura, entre os produtores nacionais, do sistema a ser proposto pela BSI.

3.1.3 Iniciativas Nacionais

O Brasil não tem uma agenda nacional de sustentabilidade de biocombustíveis e por isso tem ficado sempre na defensiva dos ataques e surpresas que vem do exterior, como foi o caso recente das análises de ciclo de vida do etanol brasileiro feitas pela US Environmental Protection Agency (EPA) e pelo California Air Resources Board (CARB), que deixaram nosso biocombustível fora da classificação de Advanced Renewable Fuels do RFS2, colocando-o na mesma situação que o etanol de milho americano.

A montagem de uma agenda nacional deveria começar pela definição de princípios, e depois pela definição de critérios e de indicadores de sustentabilidade, que orientassem os formuladores de políticas públicas e os produtores de biocombustíveis. Algumas iniciativas importantes estão ocorrendo, mas de forma descoordenada, o que não levará a uma agenda nacional de grande aceitação e eficácia. Os principais esforços na direção de uma produção sustentável serão repetidos a seguir.

3.1.3.1 Iniciativa de Certificação do INMETRO

Em 2007-2008 o INMETRO tomou a iniciativa de conduzir o chamado Programa Brasileiro de Certificação em Biocombustíveis. De acordo com as premissas iniciais, a certificação seria voluntária e o procedimento deveria ter como foco o fomento das exportações de biocombustíveis e a redução de barreiras comerciais. Uma primeira versão dos princípios e critérios propostos foi disponibilizada para consulta pública em meados de 2008. A decisão final quanto à implantação ou não do Programa deveria ser tomada pelo governo brasileiro no primeiro semestre de 2009, mas até agora não se tem notícia do que irá acontecer ao Programa. Com o envolvimento do MRE com o GBEP, é provável que o Programa do INMETRO não tenha continuidade.

3.1.3.2 Zoneamento Agroambiental em São Paulo

O estado de São Paulo, como responsável por cerca de 60% da produção nacional de cana de açúcar, tomou a iniciativa de elaborar e lançar um programa de Zoneamento Agroambiental para a cana de açúcar. Foram definidas as áreas no estado onde a cana poderia ser plantada sem restrições, plantada com restrições e não poderia ser plantada. Os critérios são claros e os requisitos para os licenciamentos ambientais das novas usinas e adequação das usinas existentes, em cada tipo de área, são claros e bem definidos. Foram consideradas restrições de solo e clima, topografia, disponibilidade de água superficial e riscos ao lençol freático, existência de áreas protegidas, áreas que devem ser protegidas pela

importância da biodiversidade e qualidade do ar. A área total apta para o cultivo da cana de açúcar foi estimada em 7,9 Mha, dos quais 4,3 Mha já estavam cultivados com cana em 2006.

Em adição, os Protocolos Ambientais de São Paulo e Minas Gerais foram assinados pela grande maioria dos produtores de cana de açúcar destes dois estados e seus respectivos governos. Apesar de voluntário os protocolos tiveram adesão maciça. Dez diretrizes técnicas foram definidas, com apresentado abaixo (São Paulo, 2008).

- Antecipação do prazo para eliminação total da queima de cana de açúcar em áreas com declividade até 12% (de 2021 para 2014)²⁵;
- Antecipação do prazo final para eliminação da queima de cana de açúcar em áreas com declividade maior do que 12% (de 2031 para 2017);
- Em áreas de expansão da cana, a queima da cana não deve ocorrer;
- Os subprodutos da cana de açúcar não podem ser queimados na ausência de sistemas de controle;
- Proteção das matas ciliares em áreas de cultivo da cana de açúcar²⁶;
- Recuperação da vegetação natural para proteger as nascentes de água nas áreas plantadas com cana de açúcar;
- Implementar Plano Técnico de Conservação do Solo, incluindo o combate à erosão e a contenção de águas pluviais;
- Implementar Plano Técnico de Conservação de Recursos Hídricos, incluindo programa de controle da qualidade da água e reuso da água utilizada no processo industrial;
- Adotar boas práticas para o descarte de embalagens de agrotóxicos;
- Adotar boas práticas destinadas a minimizar a poluição atmosférica de processos industriais e otimizar a reciclagem e o reuso adequados dos resíduos gerados na produção de açúcar e etanol.

3.1.3.3 Compromisso Ambiental de Melhores Práticas

O Compromisso Nacional para Aperfeiçoar as Condições Trabalho na Cana de Açúcar é uma iniciativa do Governo Federal, da qual são signatárias organizações dos produtores e dos trabalhadores (ex. UNICA) e dos trabalhadores (ex. Contag e Feraesp). O acordo foi assinado no fim de junho de 2009 e nele foram definidos o fim da terceirização, a eliminação do atravessador, transparência na aferição da cana cortada, melhores condições de saúde e de segurança do trabalho.

Se, por um lado, o acordo é um marco nas relações de trabalho do setor canavieiro, como reconhecem tanto organizações de produtores quanto de trabalhadores, também é, por outro lado, uma clara evidência da heterogeneidade das práticas empresariais do setor, e de quanto ainda há por avançar nas relações trabalhistas. Por exemplo, é declarado que o principal objetivo do acordo é humanizar as relações de trabalho na lavoura, uma vez que são freqüentes as denúncias de Grupo de Trabalho Móvel do Ministério do Trabalho de práticas de trabalho análogo ao trabalho escravo. Se não bastasse, também chama a atenção o fato de ter sido negociada a concessão aos trabalhadores de um recipiente térmico para transporte da alimentação, mas que não houve acordo sobre a obrigação dos empregadores fornecerem comida aos cortadores de cana durante a jornada de trabalho.

3.1.3.4 Zoneamento Agroecológico Nacional

Depois de mais de um ano de negociações internas no governo foi finalmente liberado o Zoneamento Agroecológico da Cana de Açúcar que define as áreas onde esta poderá ser cultivada. Foi levado em conta o estudo de solo e clima para definir os ambientes de produção com a produtividade mínima estabelecida, excluídas as áreas com declividade acima de 12% (que não permitem a mecanização da colheita), eliminação das áreas sensíveis (áreas com vegetação nativa, biomas da Amazônia, Pantanal e na bacia do Alto Paraguai), exclusão das áreas importantes para a segurança alimentar, priorização das áreas degradadas ou de pastagens. Com todas estas restrições ainda restaram quase 65 Mha de terras onde a cana pode ser cultivada.

Esta iniciativa vai facilitar de sobremaneira o desenvolvimento sustentável da cultura de cana de açúcar no país.

3.2 Sugestão Para o Desenvolvimento de Critérios e Indicadores de Sustentabilidade

Das análises das iniciativas internacionais e nacionais para definir os critérios e indicadores de sustentabilidade de biocombustíveis é possível se identificar tópicos que estão presentes na maioria destas iniciativas. Desta forma, se sugere a seguir o procedimento para estabelecer os princípios, critérios e indicadores para a sustentabilidade da produção de biocombustíveis no Brasil e, assim, ajudar a desenvolver uma agenda nacional sobre o tema.

Como se trata apenas de uma sugestão de como se iniciar o processo, optou-se para se utilizar o conjunto dos critérios e indicadores apresentados no primeiro relatório da Comissão Cramer, que depois foi expandido no Relatório Final. A razão para isto é que achamos que o início do processo deve ser simples, com um número mínimo de critérios e indicadores, mas que cubram os temas principais.

A Tabela 98 a seguir apresenta a proposta inicial da Comissão Cramer de aplicação imediata. A evolução destes parâmetros no tempo teria que ser incluída, mas não fará parte deste relatório pela complexidade deste estudo.

Tabela 98: Lista preliminar de Critérios e Indicadores de Sustentabilidade da produção de biocombustíveis baseado na versão Preliminar do Relatório Cramer

Critério	Indicador/Procedimento
<p>1. Balanço de emissões de GEE</p> <p>A redução líquida de emissões comparadas com a referência fóssil é pelo menos 50%.</p> <p>Aqui uma forte diferenciação de instrumentos de políticas é considerada, na qual um melhor desempenho levaria a um maior suporte financeiro.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Teste com o auxílio de métodos de cálculo • Use valores padrão para diferentes passos em cadeias padrões
<p>2. Competição com alimento, suprimento local de energia, remédios e materiais de construção.</p> <p>Confirmação de que a disponibilidade de biomassa para alimento, suprimento local de energia, materiais de construção ou remédios não deve decrescer.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Obrigação de relatar a disponibilidade de biomassa para alimento, fornecimento local de energia, material de construção ou remédios
<p>3. Biodiversidade</p> <p>Não haverá deterioração de áreas protegidas ou ecossistemas valiosos</p>	<p>Cumprir com os requisitos locais</p> <ul style="list-style-type: none"> • Plantações não devem estar localizadas dentro ou na vizinhança imediata de áreas protegidas pelo governo ou áreas de Alto Valor Conservacionista. • Obrigação de relatar que outros aspectos de biodiversidade devem vir para discussão.
<p>4. Prosperidade econômica</p> <p>Confirmação de efeitos positivos na economia regional ou nacional.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Obrigação de relatar, entre outras coisas, os Indicadores de Desempenho Econômico, conforme expresso no Global Reporting Initiative. Um protocolo para isto tem que ser elaborado, no qual os efeitos indiretos na meso e macro economia serão levados em conta.

Continuação Tabela 7

<p>5. Bem Estar</p> <p>Não deve haver efeitos negativos no bem estar social dos trabalhadores e população local, levando-se em conta:</p> <p>5a Condições de trabalho</p> <p>5b Direitos humanos</p> <p>5c Direitos de propriedade e de uso</p> <p>5d Conhecimento das circunstâncias sociais da população local</p> <p>5e Integridade</p>	<p>Cumprir com o Social Accountability 8000 e com a Declaração Tripartite de Princípios referente Empresas Multinacionais e Política Social compilada pela Organização Mundial do Trabalho.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cumprir com a Declaração Universal dos Direitos Humanos (em relação a: não discriminação, liberdade de associação, trabalho infantil, trabalho forçado ou compulsório, práticas disciplinares, práticas de segurança). • Não utilizar terras sem o consentimento do usuário original adequadamente informado. • O uso da terra é detalhadamente descrito e oficialmente registrado. • A propriedade e o uso oficial, e as leis habituais da população indígena são reconhecidos e respeitados. • Obrigação de relatar acerca dos efeitos sociais no cultivo da biomassa na população local. • As companhias na cadeia produtiva cumprem as regras do Business Principles for Countering Bribery
	<ul style="list-style-type: none"> • Cumprir com a legislação local e nacional e com as regulamentações. • Utilizar as diretrizes de Boas Práticas Agrícolas para gerenciamento agrícola. • Cumprir as leis e regulamentações locais e

	<p>nacionais.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Obrigação de relatar os seguintes aspectos que aparecerem. • Plano de controle de erosão • Prevenção de cultivo em terrenos de alta declividade e em solos marginais ou vulneráveis • Monitorar as condições de solo e plano de manejo • Balanço de nutrientes • Obrigação de relatar o uso da água e o tratamento de água. • Cumprir as leis e regulamentação local e nacional
--	---

3.3 Comentários Finais

O desenvolvimento e implantação de um sistema de critério e indicadores de sustentabilidade de biocombustíveis não é uma tarefa trivial e requer a participação de todos os agentes da cadeia produtiva e do uso final. A que foi apresentado neste relatório visa apenas indicar quais são os aspectos mais relevantes no processo, baseando-se nas experiências já adquiridas em iniciativas a nível internacional e nacional.

Está claro que a capacidade do biocombustível mitigar as emissões de GEE no setor de transporte, e a metodologia para se avaliar o nível de mitigação, são os pontos cruciais das análises de sustentabilidade e está se constituindo no critério básico para diferenciação e valoração entre as alternativas existentes e futuras. Os pontos mais polêmicos neste aspecto são as análises das mudanças de uso do solo, principalmente as indiretas, e os respectivos impactos nos balanços de emissões de GEE.

A Agenda Nacional de Sustentabilidade de biocombustíveis deveria priorizar este tema e iniciar o desenvolvimento de metodologia com bases científicas sólidas e organizar um banco de dados de informações confiáveis e rastreáveis para uso nos cálculos e análises.

OE4. Estudo das emissões de gases de efeito estufa na cadeia produtiva de bioetanol de 1ª e 2ª geração^{27,28}

4.1 Introduction

Bioethanol has a long history in Brazil. The production started back in 1930's, when a 5% blend with gasoline was compulsory; but only during the 1970's, with the oil crisis, the national ethanol program (Pro-álcool) was launched, and the production was boosted. In the last 30 years technology evolution in both agricultural and industrial systems led to important cost reductions (see Figure 4.1-1). Today sugarcane ethanol is cost-competitive with fossil fuels, without any need for subsidies, and further improvement is foreseen in the near future (van den Wall Bake et al., 2009).

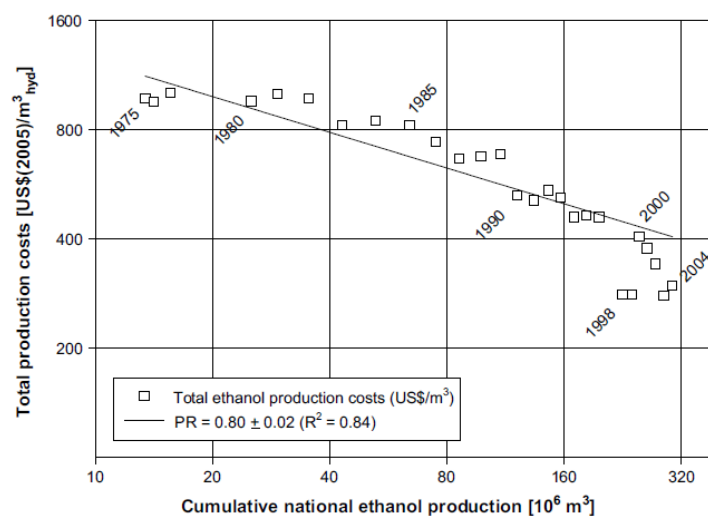


Figure 4.1-1. Experience curve for total hydrated ethanol (1975-2004) including feedstock costs.

Source: van den Wall Bake et al. (2009).

The technology advances in ethanol production have also impacted its environmental performance. Considering the current conditions, ethanol can mitigate more than 80% of gasoline GHG emissions. For the future, emission reductions can be even higher, as mills adopt, for example, more efficient technologies to produce electricity (or even more ethanol) from cane's residual biomass. In this case, co-product credits are going to play a much more important role, as they can offset the emissions related to ethanol production. However, land

²⁷ Pesquisadores responsáveis: Isaias de Carvalho de Macedo (NIPE/UNICAMP), Weber Antônio Neves do Amaral (ESALQ), André Meloni Nassar (ICONE), Joaquim Seabra (NIPE/UNICAMP), João Paulo Marinho (ESALQ/USP), Rudy Tarasantchi (ESALQ/USP), Augusto Beber (Venture Partners do Brasil), Eduardo Giuliani (Venture Partners do Brazil), Bernardo F.T. Rudorff (INPE), Laura Barcellos Antoniazzi (ICONE), Daniel Alves de Aguiar (INPE), Miriam Rumenos Piedade Bacchi (CEPEA/ESALQ/USP) e Marcos Adami (INPE).

²⁸ As atividades do OE4 foram desenvolvidas no âmbito do Memorandum of Understanding (MoU) para o avanço da colaboração em biocombustíveis, assinado entre Brasil e EUA em Março de 2007. Assim, o relatório é apresentado em inglês para possibilitar sua divulgação dentro desse programa internacional.

use change effects must also be addressed, as well as other environmental aspects, for a better evaluation of sugarcane ethanol sustainability.

These aspects are discussed in this report, which is organized in three Sections. **Section I** presents a summary of three recent studies on specific sustainability issues of sugarcane ethanol production and use in Brazil. Data on important environmental sustainability of sugarcane production and processing are presented, including survey results about soil carbon stocks (below and above ground) for land uses involved in the recent sugarcane expansion. Land use change dynamics of sugarcane crop expansion was assessed for current and future scenarios in Brazil, as well as ethanol lifecycle GHG emissions, with a separated evaluation of LUC emissions considering initial collected data on soil carbon stocks and land use change.

The results updating the main parameters of sugarcane production and processing, considering data for 2008/2009 season, are presented in this section. This work was aimed not only at parameters updating, but also standardization of the database information, in order to facilitate future LCA analysis with different methodologies. This section also discusses methodological issues related to emission credits due to ethanol by-products production. Today different methods are applied to evaluate by-product credits, leading to different final ethanol emission results. For this reason, it is important to consolidate a consistent methodology to evaluate sugarcane ethanol by-product credits, as bioelectricity (and others, in the future) rises as important sugarcane product.

In **Section II**, a conceptual methodology to calculate ILUC is presented and discussed. In the light of this conceptual methodology, the specific approaches to measure ILUC used in the proposed legislations for biofuels were investigated and evaluated. The outcomes of these approaches are still quite fragile with respect to measure ILUC in Brazil because the models used do not capture accurately the dynamics and the reality of the Brazilian agriculture.

On the other hand, some significant improvements have been reached since the publication of Nassar et al. (2008). The Brazilian Land Use Model (BLUM) has been improved to generate results on land use change instead of land allocation. However, the need for additional improvements has been identified. A list of research priorities is presented, and the integration of socio-economic and biophysical models is recognized as one of the most promised areas to be developed.

Section III presents an assessment of the literature and other sources of information (grey literature specially) for carbon content (above and below ground) for different crops and vegetation biomes in Brazil, and for nitrogen emissions from sugar cane under different management and harvest regimes. More than 100 sources of information was compiled and organized to support complete life cycle studies of ethanol from sugar cane in Brazil.

Research gaps and research needs for the implementation of a strategy of long term monitoring key indicators of sustainability in sugar cane production systems, under different management and harvest regimes were identified, and recommendations for a transdisciplinary research program were made considering the consolidated and the new frontier of current trends of sugar cane expansion in Brazil.

SECTION I

4.2 Sugarcane ethanol sustainability: summary of the state of the art

4.2.1 "Environmental sustainability of sugarcane ethanol in Brazil"

Weber Antônio Neves do Amaral^a, João Paulo Marinho^a, Rudy Tarasantchi^a, Augusto Beber^b and Eduardo Giuliani^b

^a University of São Paulo, ESALQ – Escola Superior de Agricultura 'Luiz de Queiroz', Piracicaba (SP), Brazil.

^b Venture Partners do Brazil - São Paulo (SP), Brazil.

Introduction

Brazil's commitment to sustainability in the agribusiness can be assessed by concrete examples such as the development and implemental of stringent legal environmental frameworks, agricultural zoning, massive investments in research and development and rural social policies, being the ethanol business a good example from which best practices could be disseminated. The long track record of Brazilian sugarcane ethanol proved its economic sustainability over time, while improving its social and environmental indicators, involving technology transfer from Europe, US and other regions and developing several innovations at national level.

Increasing internal demands and the possibility of future exports will lead to considerably higher production levels. Several steps will be necessary to achieve these production targets, including sustainable planning of the sugarcane expansion into new areas, improving the logistics, the development of global markets and continuously developing new technological innovations, while at the same time improving the environmental performance of existing brown fields and especially from new green fields.

The Brazilian environmental legal framework regulating ethanol production

The Brazilian environmental legal framework is complex and one of the most stringent and advanced in the World. As an agribusiness activity, the ethanol/sugar industry has several environmental restrictions that require appropriate legislation or general policies for its operation. Some of them are pioneers in the area which define principles in order to maintain the welfare of living beings and to provide resources for future generations: the first version of the Brazilian forest code dated from 1931, already addressed the need to combine forest cover with quality of life and livelihoods.

Brazil has wide range of federal and state laws regarding environmental protection, aiming at combining the social economic development with environmental preservation. They also involve frameworks such as the Environmental Impact Assessment and Environmental Licensing, among others, especially for the implementation of new project.

Volunteer adherence to Environmental Protocols represents also a major breakthrough for the sugar business. For example, the “Protocolo Agroambiental do Setor Sucroalcooleiro” (Agriculture and Environmental Protocol for the ethanol/sugar industry) signed by UNICA and the Government of the State of São Paulo in June 2007 deals with issues such as: conservation of soil and water resources, protection of forests, recovery of riparian corridors and watersheds, reduction of greenhouse emissions and improve the use of agrochemicals and fertilizers. But its main focus is anticipating the legal deadlines for ending sugarcane burning by 2014 from previous deadline of 2021. In February 2008, the State Secretariat of Environment reported that 141 industries of sugar and alcohol had already signed the Protocol, receiving the “Certificado de Conformidade Agroambiental” (Agricultural and Environmental Certificate of Compliance). These adherences correspond for more than 90% of the total sugarcane production in São Paulo. A similar initiative is happening in the State of Minas Gerais with the “Protocolo de Intenções de Eliminação da Queima da Cana no Setor Sucroalcooleiro de Minas Gerais” from August 2008.

Environmental indicators

Greenhouse gases (GHG) balance

One of the goals of using biofuels is to contribute with net reduction of GHG emissions and thus not affecting carbon stock negatively in different sub-systems of production, below and above ground biomass (roots, branches and leaves) and in the soil (carbon fixed in clay, silt, sand and organic matter). Figure 1 shows that ethanol from sugarcane reduces 86% of the GHG emissions when compared to gasoline. It has also a leading performance when compared to other biofuels from other feedstocks.

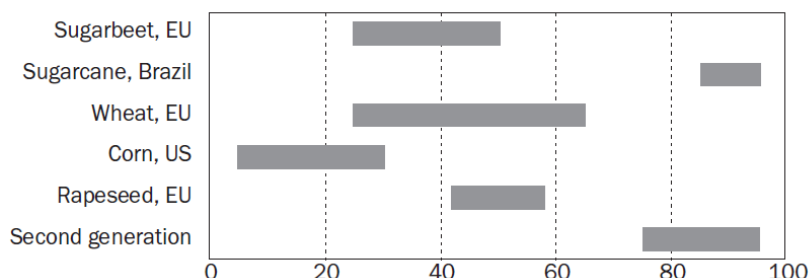


Figure 1: GHG emissions avoided with ethanol or biodiesel replacing gasoline.

Source: International Energy Agency (IEA/OECD, 2006).

Carbon stock changes in the soil due to land use change for biofuels production are now being accounted for in the GHG balance. In this case, it is necessary to know how much carbon would be fixed or released into the air under different land use regimes compared with the previous baseline of use. One limiting factor to perform an in depth analysis of these balances is the lack of long term monitoring plots assessing precisely these dynamics through time. The stock and flows of carbon for major crops like soybean, maize, cotton and sugarcane have been extensively studied, but in general using different methodologies. There are also other factors that affect the results: crop productivity and management, soil physical and chemical properties, climate and land use history for example.

In large countries such as Brazil, there are many different soils and climatic conditions. The different characteristics of each region will influence the potential for carbon storage. The land use history is also relevant when assessing and explaining current levels of carbon, because when land use changes do occur, soil carbon stocks take several years to achieve a new carbon balance. Table 1 presents the carbon stocks in soil for some selected Brazilian crops and in the native vegetation. For carbon stored in the biomass, crop productivity is of great importance as indicator carbon stored in the above ground biomass per unit of area (Table 2), which is a measure much easier to obtain and with a larger dataset from multiple management and production systems in Brazil. From these numbers, the carbon balance resulting from land use change to sugarcane crop can be estimated for each previous use (Table 3).

Table 1: Carbon stock in soil for selected crops and native vegetation

Biomass	Carbon stocks in soil (Mg/ha)
Campo Limpo – grassland savannah (a)	72
Sub-tropical forest (b)	72
Tropical forest (c)	71
Natural pasture (d)	56
Soybean (e)	53
Cerradão – woody savannah (a)	53
Managed pasture (f)	52
Cerrado – typical savannah (a)	46
Sugarcane without burn (g)	44
Degraded pasture (h)	41
Maize (h)	40
Cotton (i)	38
Sugarcane burned (g)	35

Sources: (a) Lardy et al. (2001); (b) Cerri et al. (1986); (c) Trumbore et al. (1993); (d) Jantalia et al. (2005); (e) Campos (2006); (f) Rangel and Silva et al. (2007); (g) Estimated from Galdos (2007); (h) d'Andréa et al. (2004); (i) Neves et al. (2005).

Table 2: Carbon stocks in the above biomass of selected crops and native vegetation (fully grown crop).

Biomass	Carbon stocks in biomass (Mg/ha)
Tropical rain forest (a)	200.0
Cerradão – woody savannah (b)	33.5
Cerrado – typical savannah (b)	25.5
Sugarcane without burn (c)	17.5
Sugarcane burned (c)	17.0
Campo Limpo – grassland savannah (b)	8.4
Managed pasture (d)	6.5
Maize (e)	3.9
Cotton (f)	2.2
Soybean (g)	1.8
Degraded pasture (d)	1.3

Sources: (a) INPE; (b) Ottmar et al. (2001); (c) VPB Estimative; (d) Estimated from Szakács et al. (2003); (e) Estimated from Titon et al. (2003); (f) Adapted from Fornasieri and Domingos et al. (1978); (g) Adapted from Campos (2006).

Table 3: Carbon balance under different land uses replaced by sugarcane.

Biomass	Total carbon stocks (Mg/ha)	Carbon balance due to sugarcane replacement (Mg/ha)
Cotton (d)	40.1	21.8
Degraded pasture (b)	42.0	19.8
Maize (h)	44.1	17.7
Sugarcane burned (g)	52.1	9.7
Soybean (e)	54.9	6.9
Managed pasture (f)	58.5	3.3
Cerrado – typical savannah (a)	71.5	-9.7
Campo Limpo – grassland savannah (a)	80.4	-18.6
Cerrado – Woody savannah (a)	86.5	-24.7
Tropical forest (c)	271.0	-209.2
Total carbon stocks in sugarcane not burned = 61.8 Mg/ha		

Sources: (a) Lardy et al. (2001)/Ottmar et al. (2001); (b) d`Andréa et al. (2004)/Estimated from Szakács et al. (2003); (c) Trumbore et al. (1993)/INPE; (d) Neves et al. (2005)/Adapted from Fornasieri and Domingos et al. (1978); (e) Campos (2006)/Adapted from Campos (2006); (f) Rangel and Silva et al. (2007)/Estimated from Szakács et al. (2003); (g) Estimated from Galdos (2007) / VPB Estimative; (h) d`Andréa et al. (2004)/Estimated from Titon et al. (2003).

Water

Practically all of the sugarcane produced in São Paulo State is grown without irrigation. The levels of water withdraw and release for industrial use have substantially decreased over the past few years, from around 5 m³/ton sugarcane collected in 1990 and 1997 to 1.83 m³/ton sugarcane in 2004 (sampling in São Paulo). Mills with better water management practice replace only 500 liters in the industrial system, with a recycling rate of 96,67%. Recent developments might lead to convert sugarcane mills from water consumers to water exporters industry. Dedini, the largest Brazilian manufacturer of sugar mills and equipment supplies, has developed technologies (to be available in 2009) leading to zero water intake

for the industrial mill (actually, a fraction of the 700 l water / t cane in the harvested sugar cane will be exported from the mill).

Soil and fertilizers

The sustainability of the culture improves with the protection against soil erosion, compacting and moisture losses and correct fertilization. In Brazil, there are soils that have been producing sugarcane for more than 200 years, with ever-increasing yields and soil carbon content. Soil erosion in sugarcane fields is lower than in soybean and maize and other crops. It is expected also that the growing harvesting of cane without burning will further improve this condition, with the use of the remaining trash in the soil. Recent sugarcane expansion in Brazil has happened mostly in low fertility soils (pasture lands), and thus improving their organic matter and nutrient levels from previous land use patterns. Sugarcane uses lower inputs of fertilizers: ten, six and four times lower than maize respectively for nitrogen, phosphorous and potassium.

An important characteristic of the Brazilian sugarcane ethanol is the full recycling of industrial waste to the field. Vinasse, a waste of the distillation process, rich in nutrients (mainly potassium) and organic matters is a good example, which is being used extensively as a source of fertiirrigation (nutrients associated with water). Investments in infrastructure have enabled the use water from the industrial process and the ashes from boilers. Filter cake recycling processes were also developed, thereby increasing the supply of nutrients to the field.

Management of diseases, insects and weeds

Strategies for disease control involve the development of disease resistant varieties within large genetic improvement programs. This approach kept the major disease outbreak managed by replacing susceptible varieties. The soil pest monitoring method in reform areas enabled a 70% reduction of chemical control, thereby reducing costs and risks to operators and the environment.

Insecticide consumption in sugarcane crops is lower than in citrus, maize, coffee and soybean crops; the use of insecticides is also low, and fungicides use is virtually null. Among the main sugarcane pests, the sugarcane beetle, *Migdolus fryanus* (the most important pest) and the cigarrinha, *Mahanarva fimbriolata*, are biologically controlled. The control or management of weeds encompasses specific methods or combinations of mechanical, cultural, chemical and biological methods, making up an extremely dynamic process that is often reviewed. In Brazil, sugarcane uses more herbicides than coffee and maize crops, less herbicides than citrus and the same amount as soybean.

Conservation of biodiversity

Brazil has biodiversity hotspots and contains more than 40% of all tropical rain forest of the World. Brazilian biodiversity conservation priorities were set mainly between 1995 and 2000, with the contribution of hundreds of experts; protected areas were established for the six major biomes in the National Conservation Unit System.

The percentage of forest cover represents a good indicator of conservation of biodiversity in agricultural landscapes. In São Paulo State for example the remaining forest covered is 11%, of which 8% being part of the original Atlantic

Forest. Data from São Paulo State show that while the sugarcane area increased from 7 to 19% of the State territory, native forests also increased from 5 to 11%, demonstrating that it is possible to recover biodiversity in intense agricultural systems.

Air quality

Burning sugarcane for harvesting is one of the most criticized issue of sugarcane production system, causing local air pollution and affecting air quality, despite of the benefits of using 100% ethanol running engines instead of gasoline, which decreases air pollution from 14 to 49%. In order to eliminate gradually sugarcane burning, several attempts are being made. The São Paulo Green Protocol is being considered the most important one, setting an example for other regions and states in Brazil. Voluntarily 141 of the total of 170 sugar mills from the state of São Paulo signed this Protocol, and recently 13 thousand sugarcane independent suppliers, members of the Organization of Sugarcane Farmers of the Center-South Region (Orplana), signed also this protocol.

Initiatives towards ethanol certification and compliance

Several initiatives are being developed in Europe and in the United States related to certification, traceability and definition of criteria and indicators for sustainable production of biofuels, mainly due to different supporting policies. Governmental and multiple stakeholder initiatives are supporting different assessment studies. The main environmental issues addressed in such studies are related to greenhouse gas reduction compared with fossil fuels, competition with other land uses (especially food competition), impacts on the biodiversity and on the environment. In all cases, we can say that Brazilian sugarcane ethanol do comply with the targets for GHG emissions reduction and present outstanding performance for the other criteria.

While the above concerns are well-justified, some criticism of biofuels and their impacts are motivated by protectionism and interest in agricultural subsidies and agribusiness production chains in several developing countries, especially from EU countries. Certification schemes suggested may become non-tariff barriers, rather than environmentally and socially sound schemes.

Scientific and technological assessments comparing different kinds of biofuels are needed to reduce the play of such interests and to establish the strengths of best potential of biofuels along with their dangers and limitations. The last OECD report (OECD, 2007) stated that sugarcane ethanol in Brazil (and some other biofuels) can substantially reduce greenhouse gases compared with gasoline and mineral diesel. But the report also recognized that while still trade barriers would persist to the international market, it will be difficult for the world to take advantage of the environmental qualities of the use of some biofuels, mainly the ethanol form sugarcane and so forth, as international markets are not yet fully created for biofuels.

4.2.2 “Prospects of the sugarcane expansion in Brazil: impacts on direct and indirect land use changes”

André Meloni Nassar^a, Bernardo F.T. Rudorff^b, Laura Barcellos Antoniazzi^a, Daniel Alves de Aguiar^b, Miriam Rumenos Piedade Bacchi^c and Marcos Adami^b

^a ICONE - Instituto de Estudos do Comércio e Negociações, São Paulo (SP), Brazil.

^b INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos (SP), Brazil.

^c CEPEA - Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada, University of São Paulo, ESALQ - Escola Superior de Agricultura 'Luiz de Queiroz', Piracicaba (SP), Brazil.

Introduction

The complexity associated to measure land use change in the context of assessing biofuel's carbon life cycle is largely related to the extension of the concept. Two approaches are considered: direct land use change (LUC) emissions; and the inclusion of indirect land use change (ILUC) emissions. In this section, the measurement and evaluation of direct changes of land use caused by the sugarcane expansion over the last years as well as the consequences of future expected expansion are presented. Land use changes were measured in terms of crops and pasture directly displaced by the sugarcane expansion. This paper was supported by different methodologies to understand this process: (1) when measuring the past land use change, primary data based on remote sensing images and environmental licensing reports as well as secondary data based on planted and harvested area were used; (2) with respect of projections of land allocated to sugarcane, a partial equilibrium model based on profitability and demand/supply responses to price variations was developed.

The dynamics of sugarcane expansion in Brazil

Based on data from the Canasat Project and IBGE, it is estimated that in 2008 the cultivated area in the South-Central region was 7.4 million ha (85.0%) and in the Northeast region was 1.3 million ha (14.7%). Figure 1 presents the evolution of sugarcane area for three regions: South-Central (comprising its six most important states), Northeast and all the other states. São Paulo is the most important state for sugarcane, representing 55.7% of the total sugarcane area in Brazil in 2008. The four states with the largest sugarcane area are São Paulo, Paraná, Minas Gerais and Goiás; they are responsible for 75.2% of total sugarcane area in Brazil. Coincidentally, these states plus Mato Grosso and Mato Grosso do Sul have experienced the greatest sugarcane expansion area over the last years. A new and promising region for sugarcane is located in the states of Maranhão, Piauí and Tocantins, in the Cerrado biome, commonly known in Brazil as the MAPITO region; however, in 2008 these states were responsible for only 0.25% of the cultivated sugarcane area in Brazil. South-Central, including MAPITO region, is here called Expanded South-Central and is considered to be a relevant region for sugarcane expansion analysis. The sugarcane area in the Expanded South-Central in 2008 was 7.5 million hectares (84% of total area) and represents 97% of the total sugarcane expansion.

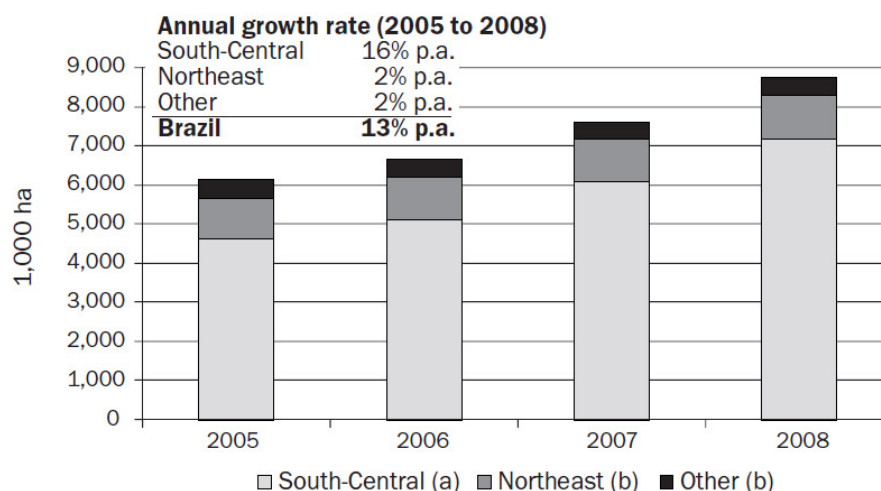


Figure 2: Sugarcane area cultivated in Brazil according to production regions (2005 to 2008).

Sources: (a) Canasat/INPE, comprising São Paulo, Minas Gerais, Paraná, Goiás, Mato Grosso and Mato Grosso do Sul; (b) PAM/IBGE (2005 and 2006) and LSPA/IBGE (2007 and 2008).

Methodology

This study divided the analysis of land use changes (LUC) caused by sugarcane expansion basically in observed LUC (past trend) and projected LUC (future trend). Three different methods were used to estimate past land use dynamics, and another one to project future trend. For observed LUC and sugarcane expansion, the authors used the information extracted from remote sensing images, secondary data by IBGE, and field research through environmental licensing studies. The satellite image analysis was carried out for São Paulo, Minas Gerais, Paraná, Goiás, Mato Grosso and Mato Grosso do Sul. Using IBGE data, all these states plus Tocantins, Maranhão, Piauí and Bahia were analyzed due to their potentiality for future expansion of agricultural area in Brazil. For the field research, the analyzed states were São Paulo, Minas Gerais, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás and Tocantins, capturing both past and near future trends.

The approach used for projecting land allocation for sugarcane is based on a partial equilibrium model that is under development by the Institute for International Trade Negotiations (ICONE). The model is based on demand response to price changes and supply response to market returns (profitability) changes. National and regional prices are calculated according to a basic assumption of microeconomics: they are achieved when supply and demand prices for each coincide, leading to market equilibrium.

Results

A summary of the results obtained from the three different methodologies used in the study is presented in Table 4.1-4.

Table 4: Land use classes converted to sugarcane: comparative results in the South-Central region (1000 ha).

	Period/measurement method		
	2002-2006 (harvested area)¹	2007-2008 (planted area)²	2008-2018 (harvested area)³
Sugarcane expansion	1,030	2,184	3,848
Agriculture	122 (12%)	1,152 (53%)	1,455 (38%)
Pasture	793 (77%)	991 (45%)	2,369 (62%)
Other	114 (11%)	42 (2%)	24 (1%)

Sources: ¹ secondary data from IBGE; ² satellite images; ³ projection model.

Sugarcane expansion is taking place in anthropized areas. Although no evidence regarding deforestation in Brazil is presented, it is well known that deforestation is observed in the agricultural frontier. Brazil has two most important frontiers: the Amazon Biome region, where the Amazon Forest is located, and the North-northeast Cerrados region (also called MAPITO region), where the larger stock of savannah land is located. Both past data and projections of the study have shown that sugarcane is not significantly expanding in these regions.

Projections developed for this study are indicating that harvested sugarcane area in Brazil will reach 11.7 million ha in 2018, departing from 7.8 million ha in 2008. Area allocated for crops (soybean, maize, cotton, rice and dry beans) is expected to grow from 37.8 million ha to 43.8 million ha. Pasture area will move to the opposite direction, being reduced from 165 to 162 million ha. Results for the South-Centre region show that the expansion of grains (3.2 million ha) and sugarcane (3.3 million ha) are fully compensated by the reduction on pasture area (6.1 million ha). Projections also confirm that cattle production is improving in terms of productivity given that the herd is increasing despite of the reduction on pasture area.

Regarding to the indirect land use change (ILUC), the study raises some important arguments. In the states where sugarcane area increased from 2002 to 2006, area for other crops has also increased (exception for São Paulo), which means there is no clear reason to state that sugarcane has displaced crops which in turn could occupy natural vegetation. A similar rationale can be made for pasture land, but now including yield improvement. The states that have lost pasture land have also increased cattle herd (exception for São Paulo and Paraná), meaning there was an improvement in the cattle sector. Moreover, the expansion of pastures and grains area in the Amazon Biome region, which one would argue that it is happening due to the indirect effect, are lower than the area displaced by sugarcane in the South-Central region.

Yield improvements in crops can be considered as area's release; they provide area for other purposes. Sugarcane cultivated over these areas does not compete with land and has no indirect effects. For a total of about 1,390 thousand ha of agricultural area displaced for sugarcane verified by satellite images in the six states analyzed, 572 thousand ha were released by crop yield improvements.

The study concludes that the expansion of other crops (except sugarcane) and pasture land is taking place despite of the sugarcane expansion. This is important because it reinforces that, even recognizing that sugarcane expansion contributes

to the displacement of other crops and pasture, there is no evidence that deforestation caused by indirect land use effect is a consequence of sugarcane expansion. Results on past data and projections show that increasing cattle herd stocking rate is able to offset pasture land reduction in regions where competition for land is taking place. Increasing productivity on cattle production, therefore, also reinforces that the expansion of pasture land on the Amazon Biome is not directly promoted by the expansion of crops and sugarcane in the non-frontier regions.

The authors strongly recommend that the analysis presented in the study continues on a regular base in order to guarantee that sugarcane activity continues to respect natural landscapes. As any other agricultural product, sugarcane also contributes to land use changes. However, as discussed here, these changes do not undermine sugarcane's environmental benefits as a renewable agricultural-based biofuel.

4.2.3 "Mitigation of GHG emissions using sugarcane bioethanol"

Isaias C. Macedo^a and Joaquim E.A. Seabra^a

^a NIPE – Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas (SP), Brazil.

Introduction

The implementation of the Brazilian sugarcane ethanol program always included a continuous assessment of its sustainability. The possibilities for increasing production in the next years must consider the exciting promises of new technologies (that may lead to 50% more commercial energy/ha, from sugarcane) as well as environmental restrictions. The greenhouse gases emissions associated with the expansion are analyzed in the next sections.

Ethanol production in 2006 and two Scenarios for 2020

The evaluation of the GHG emissions (and mitigation) from the sector in the last years (2002-2008) and the expected changes in the expansion from 2008 to 2020 must consider technology (the continuous evolution and selected more radical changes), both in cane production as in cane processing. Two (alternative) technology paths were selected:

- The Electricity Scenario follows the technology trends today, with commercially available technologies: the use of trash (40% recovery) and bagasse to produce surplus electricity in conventional high pressure co-generation systems.
- The Ethanol Scenario considers advanced ethanol production through the bioconversion of cane lingo-cellulosic residues; ethanol would be produced from sucrose but also in an adjacent plant with the surpluses of bagasse and of the 40% trash recovered. This condition would lead to a smaller area (29% smaller, for the same ethanol production) than the Electricity Scenario; technologies may be commercial in the next ten years.

The 2006 results are based on 2005/2006 average conditions, with the best available and comprehensive data for the Brazilian Center-South Region (Macedo et al., 2008). Note that GHG emissions/mitigation are evaluated for each Scenario specific conditions; Scenario implementation schedules are not presented (or

needed) for the objective of this study. However, it must be said that the Electricity Scenario implementation is occurring now in all Greenfield operations, and already in some retrofit of existing units. The Ethanol Scenario as proposed still depends on technological development of the biomass hydrolysis/fermentation processes, and it would take longer to be implemented to a significant level in the context of the Brazilian ethanol production.

The data used for 2006 is for a sample of 44 mills (100 M t cane/season), all in the Brazilian Center South. Data have been collected/processed for the last 15 years, for agriculture and industry, for the CTC 'mutual benchmarking'. Agricultural data used for 2020 scenarios are authors' projections, based on estimations suggested by sugarcane sector specialists, while industrial yields are result from simulations, derived from information presented in literature.

Energy flows and lifecycle GHG emissions/mitigation

The systems boundaries considered for the energy flows and GHG emissions and mitigation include the sugarcane production, cane transportation to the industrial conversion unit, the industrial unit, ethanol transportation to the gas station, and the vehicle engine (performance). Methodologies use data and experimental coefficients and, in some cases, IPCC defaults. The CO₂ (and other GHG) related fluxes are:

- CO₂ absorption (photosynthesis) in sugarcane; its release in trash and bagasse burning, residues, sugar fermentation and ethanol end use. These fluxes are not directly measured (not needed for the net GHG emissions).
- CO₂ emissions from fuel use in agriculture and industry (including input materials); in ethanol transportation; and in equipment/buildings production and maintenance.
- Other GHG fluxes (N₂O and methane): trash burning, N₂O soil emissions from N-fertilizer and residues (including stillage, filter cake, trash).
- GHG emissions mitigation: ethanol and surplus bagasse (or surplus electricity) substitution for gasoline, fuel oil or conventional electricity.

The GHG emissions associated with direct land use change (LUC) are estimated separately in the next section, where the possible indirect impacts of land use change (ILUC) are also discussed for the specific case of the expansion of ethanol production in Brazil. The energy use/conversion for 2006 and for each 2020 Scenario is presented in Table 5, and the corresponding GHG emissions for are in Table 6.

Table 5: Energy balance in anhydrous ethanol production (MJ/t cane).

	2006	2020 electricity	2020 ethanol
Energy input	235	262	268
Agriculture	211	238	238
Industry	24	24	31
Energy output	2,198	3,171	3,248
Ethanol ^a	1,926	2,060	2,880
Electricity surplus ^b	96	1,111	368
Bagasse surplus ^a	176	0	0
Energy ratio	9.4	12.1	12.1

^a Based on LHV (Low Heating Value).

^b Considering the substitution of biomass-electricity for natural gas-electricity, generated with 40% (2006) and 50% (2020) efficiencies (LHV).

Table 6: Total emission in ethanol life cycle (kg CO2 eq/m3 anhydrous).^a

	2006	2020 electricity	2020 ethanol
Cane production	417	326	232
Ethanol production	25	24	22
Ethanol distribution	51	43	43
Credits			
Electricity surplus ^b	-74	-803	-190
Bagasse surplus ^c	-150	0	0
Total	269	-409	107

^a Emissions for hydrous ethanol/m³ are about 5% less than values verified for anhydrous ethanol.

^b Considering the substitution of biomass-electricity for natural gas-electricity, generated with 40% (2006) and 50% (2020) efficiencies (LHV).

^c Considering the substitution of biomass fuelled boilers (efficiency = 79%; LHV) for oil fuelled boilers (efficiency = 92%; LHV).

Note that the differences in total emissions are strongly dependent on the co-products credits. The large difference between 2006 and the 2020 Electricity Scenario is due to an actual increase in the system energy efficiency (much larger energy output). An analogous increase in energy output occurred between 2006 and the 2020 Ethanol Scenario, but note that the change is an increase in ethanol output (rather than in electricity) and also the emissions are presented in kg CO2eq/m3 ethanol.

The net GHG avoided emissions, including the ethanol substitution for gasoline and considering the engines performances in Brazil (based on the experience with the fleet of 23 M vehicles, in the last 30 years, with E-24, E-100 and Flex Fuel engines) is shown in Table 4.1-7. The use of the allocation (energy) criterion for the co-products (with the whole GHG emissions associated with cane and ethanol production being distributed among ethanol, electricity and surplus bagasse according to their energy content, and with no co-product credits considered in the

net emission) is compared to the use of the substitution criterion (with the mitigation derived from ethanol, electricity and surplus bagasse use being considered as well as all emissions from cane and ethanol production) in Figure 3; the substitution criterion results are detailed in Table 7.

Table 7: Avoided emissions due to ethanol use (t CO2 eq/m3 hydrous or anhydrous; substitution criterion for the co-products).

	Ethanol use ^a	Avoided emissions ^b	Net emission ^c
2006	E100	-2.0	-1.7
	E25	-2.1	-1.8
2020 electricity	E100	-2.0	-2.4
	FFV	-1.8	-2.2
2020 ethanol	E25	-2.1	-2.5
	E100	-2.0	-1.9
	FFV	-1.8	-1.7
	E25	-2.1	-2.0

^a E100, or HDE: hydrous ethanol in dedicated engines; FFV: hydrous ethanol in flex-fuel engines; E25: anhydrous ethanol (25% volume) and gasoline blend.

^b Avoided emission (negative values) due to the substitution of ethanol for gasoline; fuel

equivalencies verified for each application in Brazil.

^c Net emission = (avoided emission due to ethanol use) + (ethanol life cycle emission). Co-products credits are included.

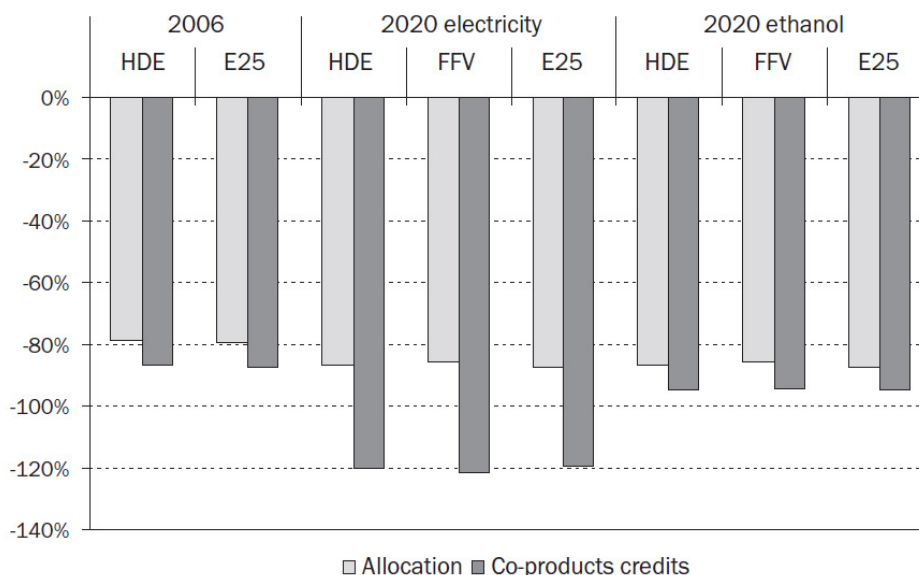


Figure 3: GHG mitigation with respect to gasoline: allocation or co-products credits.

Estimated emissions from LUC

For the changes from 2002 to 2006 (areas closer to the existing mills) soil types were frequently HAC, and some of the cane was burned; for the expansion now and in next decade, soils will be closer to LAC (and for 2020, 100% green cane harvesting is assumed). The trends for land use change until 2020 are discussed in

the next sections. It is assumed that at least 70% of the pasture land used for cane is not planted pasture, with varying degrees of degradation. Using the values in presented by Amaral et al. (2008), and the areas for each type of vegetation replaced with sugarcane, the total carbon stock change was evaluated and divided by a 20 year period. For the above ground carbon stock, only the values corresponding to perennial vegetation were considered. Results are in Table 8.

Table 8: Emissions associated with LUC to unburned cane.

Reference crop	Carbon stock change ^a (t C/ha)	Emissions (kg CO ₂ eq/m ³)		
		2006	2020 electricity	2020 ethanol
Degraded pasturelands	10	-302	-259	-185
Natural pasturelands	-5	157	134	96
Cultivated pasturelands	-1	29	25	18
Soybean cropland	-2	61	52	37
Maize cropland	11	-317	-272	-195
Cotton cropland	13	-384	-329	-236
Cerrado	-21	601	515	369
Campo Limpo	-29	859	737	527
Cerradão	-36	1,040	891	638
LUC emissions ^b		-118	-109	-78

^a Based on measured values for below and above ground (only for perennials) carbon stocks.

^b Considering the following LUC distribution – 2006: 50% pasturelands (70% degraded pasturelands; 30% natural pasturelands), 50% croplands (65% soybean croplands; 35% other croplands); 2020: 60% pasturelands (70% degraded pasturelands; 30% natural pasturelands); 40% croplands (65% soybean croplands; 35% other croplands). Cerrados were always less than 1%.

Note that in all Scenarios there is a net reduction in emissions (close to 100 kg CO₂ eq/m³ ethanol); this was expected, since the expansion areas for sugarcane include a very small fraction of native lands with high carbon stocks, and some degraded land. The specific situation for land availability, the environmental restrictions and local economic conditions (relative crop values and implementation costs), discussed below, indicate that LUC motivated GHG emissions will not impact ethanol production growth in Brazil in the time frame considered (2020).

It must be noted that the above ground carbon in the sugarcane plant is relatively high, and even with its annual harvesting the change from any of the other crop, or even a campo limpo, to sugarcane will produce an additional carbon capture (corresponding to differences in the 'average' above ground carbon in the plants). This was not included here, since it has not been considered in the IPCC methodology.

Indirect land use change effects on GHG emissions

For most land use changes anywhere some impacts (including in GHG emissions) may happen; and in our increasingly globalized economy indirect LUC impacts may occur. However, some of the hypotheses and tools leading to the initial quantification of the impacts of biofuels production (Gnansounou et al., 2008), as

presented today, are clearly not suitable due to the lack of data and oversimplified methodologies. Furthermore, we should not simply take as “unchangeable” the huge context of today’s agriculture. Higher agricultural productivities, energy end-use efficiencies and the use of other energy renewable resources in the next decades may be expected, changing energy demand and required areas for energy production, and they can entirely change the “future” ILUC impacts of biofuels.

In the Brazilian context, most scenarios (based on Internal Demand plus some hypotheses for Exports) indicate a total of ~ 60 M m³ ethanol in 2020, or 36 M m³ more than in 2008. Such expansion corresponds to a relatively small requirement for new cane areas (~5 M ha), which must be considered combined with probable release of areas due to the progressive increase of pasture productivities. Within Brazilian soil and climate limitations, the strict application of the environmental legislation for the new units, and the relatively small areas needed, the expansion of sugarcane until 2020 is not expected to contribute to ILUC GHG emissions.

4.3 LCA database update

A comprehensive countrywide database for Brazilian sugarcane sector has not been fully established yet. Recent survey efforts (CONAB, 2008) cover most part of the mills in Brazil, but do not present information about important parameters, such as fertilizers use and diesel consumption in sugarcane production. For this reason, the last comprehensive studies (Macedo 1996; Macedo et al., 2004; Macedo et al., 2008) have used CTC’s database, which is recognized for information reliability and traceability, even though a relatively small number of mills is covered.

This section presents the results updating the main parameters related to sugarcane production and processing, considering (essentially) the data for 2008/2009 season. This work was aimed at parameters updating and standardization of database information, in order to facilitate future LCA studies using different methodologies. Once again, CTC’s database has been used, but now involving a considerably larger sample of mills. For some parameters, the sample consisted of 167 mills. CTC has increased the number of mills participating in its survey since 2005.

We have processed the data (with CTC participation) for some important parameters. For diesel consumption and fertilizer utilization in sugarcane production, comprehensive analyses were performed to verify information consistency. For diesel consumption, CTC has calculated individual values for each associate as the quotient of mill’s total diesel consumption by the total cane crop area of that particular mill. In 2007, the overall weighed average calculated by CTC was 274 L/ha, with values ranging from 176 to 492 L/ha. Such wide range is mainly due to the different contribution levels of third party machinery and trucks on sugarcane production, for which the diesel consumption is not accounted for. In other cases, some mills also perform agricultural activities to other units, which results in higher diesel consumption, even though part of the consumption is related to cane production of other mills.

To verify the consistency of the final overall average, CTC experts performed a separate analysis based on six selected mills, characterized by the low contribution of third party machinery. For this specific sample, the overall diesel consumption average was 269 L/ha, with specific values ranging from 197 to 348 L/ha.

Considering the consistency between these two overall averages, we adopted the CTC's overall weighted average (274 L/ha) as the reference data.

For fertilizers, the analysis was based on detailed information about fertilizers utilization and their types (mainly for nitrogen and phosphorus), provided by eighteen CTC associates, among mills and cane producer associations. This sample amounted to approximately 330,000 ha (total planted area), for a harvested area of more than 240,000 ha. From this survey, a refined sample was selected, excluding all units with harvested area less than 72.44% of the total area, which represents the overall average of CTC's Mutual Control. Such refined sample was equivalent to a total planted area of 240,000 ha, for a harvested area of almost 200,000 ha. The final averages of this sample were compared to a simulated scenario, considering Mutual Control averages for fertilizers utilization in specific areas (e.g., ratoon w/ and w/o stillage application) and a typical distribution of areas. Once the final averages of both cases were similar, we adopted the averages related to the refined sample as the reference values for fertilizers utilization in sugarcane production.

Table 4.3-1 compiles the final parameters considered for sugarcane production, while sugarcane processing parameters are presented in table 4.3-2. As for ethanol fuel utilization, the potential emissions mitigation can be addressed through the average emission factors shown in table 4.3-3, verified for São Paulo State.

Table 4.3-1. Updated parameters for sugarcane production, harvesting and transportation: 2008 season.

Parameter	Value	Source
Total cane – all uses (Brazil)	648.85 M t	MAPA (2009)
Total planted area (Brazil)	8.92 M ha	MAPA (2009)
Total harvested area (Brazil)	8.14 M ha	MAPA (2009)
Total cane ^(a) (Brazil)	563.6 M t	MAPA (2009)
Total sugar (Brazil)	31.3 M t	MAPA (2009)
Total hydrous ethanol (Brazil)	18.0 M m3	MAPA (2009)
Total anhydrous ethanol (Brazil)	9.6 M m3	MAPA (2009)
Harvested area % total area	72.44%	CTC
Cane productivity	86.7 t/ha	CTC (168 mills)
Total diesel consumption ^(b)	274 L/ha	CTC (27 mills)
Transportation distance ^(b)	21.2 km	CTC (32 mills)
Truck's energy efficiency ^(b)	55.2 t.km/L	CTC (24 mills)
Unburned cane harvesting	35.3%	CTC (167 mills)
Mechanical harvesting	47.5%	CTC (167 mills)
Agr. inputs		
N	777 g/tc	CTC (13 associates)
P2O5	249 g/tc	CTC (13 associates)
K2O	980 g/tc	CTC (13 associates)
CaCO3	5183 g/tc	CTC (13 associates)
Herbicides	2.79 kg/ha	Calculated ^(c)
Insecticides	0.20 kg/ha	Calculated ^(c)
Acaricides	<0.01 kg/ha	Calculated ^(c)
Fungicides	<0.01 kg/ha	Calculated ^(c)
Other defensives	0.06 kg/ha	Calculated ^(c)
Shares of N fertilizers		
Ammonia	14%	CTC (13 associates)
Urea	48%	CTC (13 associates)
Ammonium nitrate	37%	CTC (13 associates)
MAP	<1%	CTC (13 associates)
Shares of P2O5 fertilizers		
Acid	91%	CTC (13 associates)
Phosphate rock	<1%	CTC (13 associates)
MAP	9%	CTC (13 associates)

Only for sugar and ethanol.

Values for 2007 season.

Specific defensive uses are derived from SINDAG data on total defensive demands in 2008 for sugarcane crop. Total sugarcane demands for defensives (active ingredient) in 2008 were – herbicides: 24,857 t; insecticides: 1,808 t, acaricides: 9 t; fungicides: 1 t; others: 538 t. To yield the uses per area, these values were divided by total planted area in Brazil (8.92 M ha).

Table 4.3-2. Updated parameters for sugarcane processing: 2008 season (CTC, 2009).

Parameter	Value		Number of Mills
Pol%cane	14.0509%		166
Fiber%cane	12.80%		166
Vegetal impurities	5.10%		102
Mineral impurities	1.17%		147
Sugar losses			
Cane washing	0.48%		64
Juice extraction	4.17%		102
Filtercake	0.52%		99
Fermentation	5.95%		92
Distillation (due to vinasse)	0.26%		88
Undetermined	3.36%		99
Industrial efficiency	86.20%		103
Ratio ethanol / total production	0.53		105
Chemicals & lubricants use			
Lubricants	10.27	g/tc	65
Weld - crushers	4.48	g/tc	71
Sulfur	155.96	g/bag	45
Lime	880.09	g/tc	93
Polymer	6.59	g/tc	94
Sulfuric acid - fermentation	7.37	g/L	94
Antifoam - fermentation	0.403	g/L	91
Dispersants - fermentation	0.2	g/L	85
Biocide - crushers	6.91	g/tc	49
Soda - evaporators	65.3	g/tc	52
Neutralization soda	2.12	g/L	53
Antibiotic - fermentation	9.285	g/m3	88
Soda - boiler	9.93	g/m3	63
Cyclohexane	1.65	kg/m3	46
Bagasse % cane	26.4%		74
Electricity surplus	10.5	kWh/tc	Unica (124 associates)
Bagasse sold / total produced	3.3%		74
Residues			
Vinasse	11.31	L/L	85
Filtercake	31.43	kg/tc	99
Boiler ashes	2.06	kg/tc	Copersucar (1995)
Soot	11.76	kg/tc	Copersucar (1995)

Table 4.3-3 Average emission factors for new light vehicles (CETESB, 2009)

Model	Fuel ^(a)	CO	HC	NOx	RCHO	Fuel Mileage	Fuel evap. emission
Year		(g/km)	(g/km)	(g/km)	(g/km)	(km/L)	(g/test)
2000	Gasoline	0.73	0.13	0.21	0.004	nd ^(b)	0.73
	C Ethanol	0.63	0.18	0.21	0.014	nd	1.35
2001	Gasoline	0.48	0.11	0.14	0.004	nd	0.68
	C Ethanol	0.66	0.15	0.08	0.017	nd	1.31
2002	Gasoline	0.43	0.11	0.12	0.004	10.9	0.61
	C Ethanol	0.74	0.16	0.08	0.017	7.2	nd
2003	Gasoline	0.40	0.11	0.12	0.004	11.2	0.75
	C Ethanol	0.77	0.16	0.09	0.019	7.5	nd
	C Flex-Gas.	0.50	0.05	0.04	0.004	10.3	nd
	C Flex-Ethanol	0.51	0.15	0.14	0.020	6.9	nd
2004	Gasoline	0.35	0.11	0.09	0.004	11.4	0.69
	C Ethanol	0.82	0.17	0.08	0.016	8.6	nd
	C Flex-Gas.	0.39	0.08	0.05	0.003	10.8	nd
	C Flex-Ethanol	0.46	0.14	0.14	0.014	7.3	nd
2005	Gasoline	0.34	0.10	0.09	0.004	11.3	0.90
	C Ethanol	0.82	0.17	0.08	0.016	8.6	nd
	C Flex-Gas.	0.45	0.11	0.05	0.003	11.5	nd
	C Flex-Ethanol	0.39	0.14	0.10	0.014	7.7	nd
2006	Gasoline	0.33	0.08	0.08	0.002	11.3	0.46
	C Ethanol	0.67	0.12	0.05	0.014	6.9	nd
	C Flex-Gas.	0.48	0.10	0.05	0.003	11.7	0.62
	C Flex-Ethanol	0.47	0.11	0.07	0.014	7.8	1.27
2007	Gasoline	0.33	0.08	0.08	0.002	11.3	0.46
	C Ethanol	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	C Flex-Gas.	0.48	0.10	0.05	0.003	11.7	0.62
	C Flex-Ethanol	0.47	0.11	0.07	0.014	7.8	1.27

Ethanol							
2008	Gasoline C	0.37	0.042	0.039	0.0014	9.74	0.66
	Ethanol	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	Flex-Gas. C	0.51	0.069	0.041	0.0020	11.7	0.42
	Flex-Ethanol	0.71	0.052	0.048	0.01524	7.38	1.10
	Diesel	0.30	0.06	0.75	nd	nd	nd

(a) Gasoline C: 78% gasoline, 22% anhydrous ethanol (volume basis). Ethanol is hydrous ethanol, used in dedicated engines. Flex-Gas. C represents flex-fuel vehicles fueled with gasoline C, and Flex-Ethanol, flex-fuel vehicles fueled with hydrous ethanol.

(b) Not determined.

4.4 By-product credits

The main by-products of ethanol and sugar production are bagasse and electricity. Nowadays, energy generation in sugarcane mills is based on “pure” steam cogeneration cycles (at pressures of 22 bar), which are able to meet the whole energy demand and still produce small bagasse and electricity surpluses. Even though there is not an established bagasse market in Brazil, many industries acquire surplus bagasse to use it as fuel, avoiding, thus, the use of fuel oil. Such practice, however, has been progressively reduced, as the interest for using bagasse in cane mills to produce more electricity grows.

At the end of the 1990s, with the deregulation of Brazilian power sector, the directive of mills’ power section changed, and they begun to produce surplus electricity for commercialization. A strong modernization process started, involving the acquisition of high pressure boilers, combined with process improvements to reduce energy demand (Macedo e Leal, 2004; Seabra, 2008). As consequence, the electricity surplus commercialized by the mills has increased, with potential to reach levels ten times greater than the current level in the near future, considering the use of trash as supplementary fuel to bagasse (NAE, 2005; Seabra, 2008).

In terms of GHG emission credits, they may be assigned to by-products and main products in many ways. The more suitable way depends on the specific by-product in each case. The emission assignment may consider the use of different methodologies: the displacement method, the energy content, the mass balance, the market value, or a specific reference scenario for the biomass/processes under consideration.

When bioenergy is the main product, the displacement method is usually selected. Basically, it takes into account the service offered by the by-product and how (the net emissions) that service would have been delivered in the absence of the by-product. These net emissions are credited to the biomass product chain for providing the by-product. Essentially, the reference system boundaries are expanded so that it too provides this same by-product output.

In the sugarcane industry, sugar and ethanol are the main products, with surplus electricity and bagasse as by-products, which are commercial energy, and with relatively small output today. For this reason, we may consider the displacement method as reference for by-product credits evaluation.

For bagasse, it is natural to consider the substitution of bagasse fired boilers for fuel oil fired boilers, which is the most significant application in Brazil (Macedo et al., 2004). For electricity, the criteria for substitution are more complex, and deserve further comments. In this case, the basic question is: what is the amount of additional net GHG emissions would have been produced by the Brazilian power system to provide the same energy, in the absence of the surplus electricity supplied by sugarcane processing?

To answer that, we have to consider the characteristics of the Brazilian power system.

It consists of 80% hydropower generation (in an average hydrology year), and the remaining 20% are mostly from thermal power, to complement the SIN (National Interconnected System) demand, to assist in eventual (localized) transmission restrictions, and to supply the SI (Isolated Systems). Wind energy also plays a (small) role, and distributed energy systems (renewable, co-generation) are part of the system as well.

Electricity generation in 2008 was 454 TWh, and the internal supply was 496 TWh (EPE/MME, 2009a), with the generation mix presented in Table 4.4-1. Projections for the expansion of the generation system indicate that from 2008 to 2017 the installed capacities for hydroelectricity will decrease from 81.9 to 70.9%, with substantial increase in fuel oil based power (0.9 to 5.7%) (EPE/MME, 2009b).

Table 4.4-1. Average fuel mix of Brazilian electricity generation in 2008 (EPE/MME, 2009a)

Hydro	80.0%
Natural gas	6.6%
Biomass	5.3%
Oil products	3.3%
Nuclear	3.1%
Coal and derivatives	1.6%
Wind	0.1%

This trend is in part due to environmental restrictions for the large hydro power projects. In addition, new hydroelectricity units have (relatively) much smaller power dams (Chipp, 2009). Actually the water kept in reservoirs in 1970 corresponded to 28 months of operation, and in 2008 it corresponds to only 6 months (it would be 23% less, without thermal power dispatching) (Silva, 2009). This has strongly limited the capacity for multi-annual regulation of the large reservoirs in Brazil, forcing the increasing installation and dispatch of thermal power to help the supply system throughout the dry season.

Thermal power systems have been dispatched for 3 to 4 times more time than initially planned (Silva, 2009). The new thermal based units, due to high fuel costs, are dispatched only when the hydrology requires it, as presented below.

The operational planning of the SIN looks over the next ten years, considering the following issues to determine the best policies for energy supply, within the limit of 5% for the risk of energy shortage: the projected energy demand (three levels) for each of the 4 regional sub-systems (South, North, SouthWest/CenterWest, NorthEast); the limitations of electricity exchanging between the subsystems; and hundreds of hydrology scenarios. The National Electric System Operator (ONS) is

responsible, within the SIN, for dispatching the power generation units, for each of the sub-systems. It considers the specific cost and some other restrictions for each unit. It also includes, for energy security (measured by the risk of energy shortage) the anticipation of dispatching thermal power beyond specific cost considerations (POCP: Short Term Operational Procedures). This is done in order to “save” water in the reservoirs (Chipp, 2009).

The dispatch order in Brazil is: 1. Hydroelectric; 2. Wind; 3. Nuclear; 4. Importation from other sub-systems (ordered by increasing cost); 5. Thermal power (ordered by increasing cost). The bagasse based generation units are classified as “inflexible thermal based systems”, in the sense that they are always dispatched. They are in the lowest range of CVU (unit variable cost) for the thermal systems: CVU < 100 R\$/MWh; while some fuel oil, diesel and LNG have CVU > 300 R\$/MWh (values for the 30 GW thermal power plants planned to be installed in 2013) (Chipp, 2009). ONS considers that the energy they supply to the grid allows for the reduction of other thermal power plants use, with higher costs, which would have been dispatched for security reasons (with the POCP).

Hence, the emission avoided by the bagasse-derived electricity today is well represented by the emission factor for the Operating Margin (OM). Some methodologies have been used for its evaluation (simple or adjusted OM; dispatch data analysis; average OM) (UNFCCC, 2004), but the use of the dispatch data is the most recommended. The emission factor may then be calculated as the weighted average of the emission factors for the power generation units supplying the 10% (of total dispatched energy) at the lowest priority dispatch (calculated each hour). Considering the predominant use of natural gas thermal plants in the Brazilian Operating Margin generation mix (see table 4.4-2), the adoption of NG emission factors for electricity credits evaluation is appropriate.

Table 4.4-2. Average fuel mix for electricity generation in Brazilian SIN Operating Margin in December 2008 ^(a)

Hydro	1.11%
Wind	0.24%
Nuclear	18.99%
Diesel	0.14%
Natural gas	60.24%
Fuel oil	3.49%
Coal	14.37%
Coke-oven gas	1.41%

(a) MCT (2009); based on ONS data.

SECTION II

4.5 Efeitos Indiretos da Mudança no uso da terra (Indirect Land Use Change)²⁹

4.5.1 Introdução

As atividades desenvolvidas relacionadas à mensuração, a partir de modelagem econômica, dos efeitos indiretos no uso da terra (ILUC) encontram-se em contínuo desenvolvimento pelo ICONE e já apresentaram avanços significativos em relação ao sumarizado na publicação "*Prospects of the sugarcane expansion in Brazil: impacts on direct and indirect land use changes*"³⁰. A interação do ICONE com outras instituições internacionais inseridas neste tema foi intensificada, principalmente com grupos de pesquisa dos EUA, mas também com instituições europeias. Essa colaboração permitiu o aprofundamento da compreensão e harmonização das metodologias que se encontram na fronteira do conhecimento em análises de efeito indireto de uso da terra (ILUC). A interação internacional também foi substantiva na identificação das principais lacunas a serem preenchidas, além das melhorias já incorporadas no Modelo de Uso da Terra para a Agricultura Brasileira (*Brazilian Land Use Model - BLUM*) desenvolvido pelo ICONE em parceria com o Center for Agricultural and Rural Development e o Food and Agricultural Policy Research Institute (CARD/FAPRI, Universidade de Iowa).

Esta seção foi dividida da seguinte forma. O capítulo 4.5.2 apresenta como vem se dando a colaboração institucional do ICONE com organizações estrangeiras e governos de outros países no contexto das legislações sobre o uso de biocombustíveis, sobretudo nos Estados Unidos e na União Européia. O capítulo 4.5.3 traz uma avaliação das metodologias em uso para se mensurar as emissões associadas ao ILUC, sobretudo no contexto destas legislações. O capítulo 4.5.4 discute um modelo conceitual para se mensurar o ILUC à luz da experiência acumulada do ICONE nos últimos dois anos trabalhando no tema. O capítulo 4.5.5 descreve o desenvolvimento do BLUM e sua utilidade para mensurar ILUC no Brasil. O capítulo 4.5.6 aponta quais melhorias precisam ser implementadas e desenvolvidas em comparação com o que já foi desenvolvido e o modelo conceitual é apresentado no capítulo 4.5.4. O capítulo 4.5.7 traz as conclusões e recomendações.

4.5.2 Colaboração institucional

No campo institucional, a colaboração Brasil-Estados Unidos intensifica-se pelo fortalecimento dos laços entre o ICONE e o CARD/FAPRI no contexto dos estudos de mensuração das mudanças no uso da terra em função da expansão da produção de biocombustíveis como consequência da *Renewable Fuel Standard* (RFS). Os modelos mundiais do CARD/FAPRI foram utilizados pela Environmental Protection

²⁹ Elaborado por ICONE – Instituto de Estudos do Comércio e Negociações Internacionais.

³⁰ NASSAR et. al 2008. "*Prospects of the sugarcane expansion in Brazil: impacts on direct and indirect land use changes*". In: Sugarcane Ethanol: Contributions to climate change mitigation and the environment. Orgs. ZUURBIER, P.; VOOREN J.V.de. Wageningen: Wageningen Academic Publishers, cap. 3, p.63-93, 2008.

Agency (EPA) na projeção dos cenários de expansão e alocação de terra para a produção agrícola em função de expansão da demanda por etanol³¹. Os resultados das projeções foram utilizados e acoplados na análise desenvolvida pela organização Winrock International para cálculo do balanço das emissões de gases efeito-estufa como resultado da mudança no uso da terra³². O ICONE está também em permanente contato com a equipe de sensoriamento remoto e cálculo de emissões da Winrock International buscando aprimorar, no que diz respeito à realidade brasileira, os resultados obtidos pela organização, publicados pela EPA no texto preliminar da Análise de Impactos Regulatórios (DRIA) do RFS, em maio de 2009 (EPA, 2009)³³. Dessa forma, a parceria entre ICONE e CARD/FAPRI constitui uma colaboração indireta entre ICONE e EPA, na medida em que a EPA tem interesses no desenvolvimento de análises mais robustas no contexto dos cálculos das emissões associadas à mudança no uso da terra no Brasil.

A colaboração entre ICONE e CARD/FAPRI concentra-se, atualmente, no desenvolvimento do Modelo de Uso da Terra para Agricultura Brasileira (Brazilian Land Use Model - BLUM) e sua integração no sistema de modelos setoriais mundiais, desenvolvido pelo centro.

Além da cooperação com o CARD/FAPRI, o ICONE participou diretamente de reuniões técnicas para a discussão dos resultados do *Draft Regulatory Impact Analysis* (DRIA) do RFS. Foram três reuniões de trabalho com a equipe do EPA responsável pelo RFS, a participação em uma audiência pública, um workshop organizado em Washington e uma reunião com o governo e setor privado brasileiro, realizada em Brasília. O ICONE também tem colaborado no debate do *Low Carbon Fuel Standard* (LCFS) do *California Air Resource Board* (CARB), além do *Renewable Energy Directive and the Fuel Quality Directive*, da União Européia (Diretiva Européia para Biocombustíveis). Além disto, o ICONE participou pessoalmente de duas reuniões com a equipe técnica do CARB, e duas reuniões com a equipe do Joint Research Centre of the European Commission.

A participação do ICONE nas discussões técnicas para elaboração das principais legislações para biocombustíveis no mundo tem também contribuído para a especialização do ICONE no tema ILUC. A equipe técnica aprofundou seu conhecimento, verificando as nuances dos principais modelos de metodologias atualmente empregados ou propostos.

³¹ O FAPRI é um projeto executado em dois centros de pesquisa nos EUA: o Center for Agricultural and Rural Development (CARD) na Universidade de Iowa e o College of Agriculture, Food and Natural Resources da Universidade de Missouri. O CARD/FAPRI Iowa é responsável pelos modelos mundiais e o FAPRI Missouri pelo modelo EUA. O CARD/FAPRI possui modelos mundiais para os seguintes produtos: trigo, arroz, milho, oleaginosas, algodão, açúcar, biocombustíveis, carnes e lácteos.

³² CARD. Technical Report: An Analysis of EPA Biofuel Scenarios with the CARD International Models, November 2008 (disponível em <http://www.regulations.gov/search/Regs/home.html#docketDetail?R=EPA-HQ-OAR-2005-0161>).

³³ Harris, N; Grimland, S; Brown, S. GHG Emission Factors for Different Land-Use Transitions in Selected Countries of the World. Report to EPA, October 2008 (disponível em <http://www.regulations.gov/search/Regs/home.html#docketDetail?R=EPA-HQ-OAR-2005-0161>).

4.5.3 Avaliação das Metodologias Utilizadas

Existe forte tendência no entendimento de que o cálculo de emissões de GEE no ciclo de vida do etanol deva considerar também o ILUC causado pela produção da matéria-prima agrícola (TILMAN et al, 2006; FARGIONE et al, 2007; SERRCHINGER et al, 2008). As principais legislações de biocombustíveis incluem referências explícitas ao tratamento do ILUC (CARB, 2009; EPA, 2009; COUCIL OF THE EUROPEAN UNION, 2008). A avaliação de ILUC global é uma proposta relativamente recente e com metodologia ainda em desenvolvimento.

Até então não foram registrados avanços significativos no desenvolvimento de metodologias inovadoras e específicas para o tratamento de questões de ILUC. Pelo contrário, os esforços de pesquisa têm sido direcionados no preenchimento das lacunas para adaptar metodologias robustas e já existentes, utilizadas em diferentes áreas da ciência. De modo geral, busca-se a combinação de modelos sócio-econômicos e biofísicos.

Dos modelos socioeconômicos são extraídas as projeções e simulações de tendências de produção, consumo e mudança de uso da terra, onde as alterações do ambiente são determinadas pelas decisões do indivíduo. Esses modelos tratam geralmente de áreas geográficas extensas, como estados, países ou grupos de países.

Nos modelos biofísicos, a análise concentra-se nas características físicas e geográficas e a interferência humana é geralmente exógena³⁴. A principal finalidade do uso de modelos biofísicos, para o cálculo de ILUC, são (i) a utilização de imagens de satélite e mapas para a determinação da cobertura vegetal e cálculo de estoques de carbono e (ii) modelos espacialmente explícitos para alocar o resultado das projeções sócio-econômicas. Tais modelos costumam ser utilizados em áreas geográficas limitadas e o pixel é a unidade de análise.

As inúmeras combinações dos diversos modelos sócio-econômicos e biofísicos existentes geram um conjunto, de possíveis metodologias de análise de ILUC, demasiadamente grande para ser tratado no escopo do presente estudo. Dessa forma, as metodologias utilizadas (ou com grande potencial para serem utilizadas) nas principais legislações de biocombustíveis, como RFS, LCFS e Diretiva Européia, serão analisadas nos próximos parágrafos.

Em todas as metodologias, o conceito e abordagem de mensuração do ILUC são tratados de maneira bastante semelhante, como segue:

- i. projeta-se um cenário de base, sem qualquer política para biocombustíveis;
- ii. projeta-se um cenário alternativo no qual considera-se uma política de expansão de consumo e produção de biocombustíveis;
- iii. compara-se as emissões de GEE por mudança de uso da terra entre os cenários;

³⁴ Uma síntese dos principais trabalhos de integração de modelo econômicos e biofísicos pode ser encontrada em Veldkamp e Verburg (2004). Na data de edição dessa publicação, porém, o conceito de ILUC ainda não estava claro.

iv. a diferença em emissões de GEE entre os cenários é associada ao consumo de biocombustíveis estimulado pela política.

Não existe, assim, um valor único para as emissões indiretas em todos os casos, mas um valor diferente para cada política.

No LCFS, foi utilizada uma combinação do Global Trade Analysis Project (GTAP) e mapas de estoque de carbono. Os resultados gerados para as 111 regiões globais do GTAP foram distribuídos entre as 18 Agro-Ecological Zones (AEZ), sendo esta a principal adaptação do modelo para análises de uso da terra. Cada região do GTAP é inserida em pelo menos uma AEZ. A emissão de GEE é calculada pela multiplicação da mudança de uso da terra (resultado do GTAP) pelos fatores de conversão entre usos da terra em cada uma das AEZs (dados tabulares derivados dos mapas de estoque de carbono) (CARB, 2009).

O GTAP, desenvolvido pela Universidade de Purdue, foi originalmente concebido para análises de comércio internacional. Por se tratar de um modelo de equilíbrio geral computável, a oferta, a demanda e a renda são determinadas simultaneamente e diferentes equilíbrios são encontrados. No GTAP, a convergência de um equilíbrio para outro não é necessariamente intuitiva, porém não há interesse dentro do LCFS em identificar a seqüência temporal entre dois equilíbrios. Nela, a demanda por terra é determinada por funções de substituição entre fatores de produção.

A revisão da proposta de regulamentação do LCFS pelo ICONE teve como principal foco, a análise da aplicação e dos resultados gerados pelo GTAP, para o caso brasileiro³⁵. Embora o ICONE reconheça o esforço em pró da transparência na elaboração da legislação, foi identificado o uso de diversos índices e parâmetros no GTAP que não são adequados para a realidade da dinâmica do uso do solo no Brasil (UNICA, 2009). Ademais, no GTAP o Brasil é considerado como uma única região, não sendo considerado as diferenças locais entre as regiões, o que não é adequado, dado as especificidades das regiões brasileiras.

Na proposta de legislação do RFS, a EPA combinou a análise de uso da terra, desenvolvida pelo sistema de modelos do CARD/FAPRI e pelo modelo *Forestry Agriculture Sector Optimization Model* (FASOM), da Universidade Texas AM, com as análises de imagens de satélite e dados georeferenciados disponibilizados pela Winrock International (EPA, 2009).

O sistema de modelos FAPRI é uma combinação de modelos de equilíbrio de oferta e demanda, cujo objetivo é projetar consumo, produção e comércio internacional de produtos agrícolas (FAPRI, 2009). Embora seu objetivo inicial não fosse o de analisar o uso da terra, a competição por terra entre lavouras é explicitamente modelada nos principais mercados por meio de matrizes de competição, que respondem a rentabilidade. O FASOM é um modelo de otimização e, seu objetivo original é a realização de análises agrícolas e ambientais contidas dentro dos limites geográficos dos EUA (ADAMS et al 1996; EPA, 2009).

³⁵ A revisão contou com a valiosa colaboração dos professores Ângelo Gurgel, da FEA-RP e Weber do Amaral da ESALQ, ambos da Universidade de São Paulo.

Assim como para o LCFS, o ICONE analisou a proposta de regulação, sob consulta pública, publicada pelo EPA em maio de 2009 (EPA, 2009). O ICONE rejeita a análise proposta no documento como adequada para a dinâmica da agricultura brasileira, devido aos seguintes elementos:

- i. análise demasiadamente agregada (o Brasil é tratado como uma única região);
- ii. as áreas de pastagens não são modeladas seguindo hipóteses econômicas;
- iii. a capacidade de intensificação da pecuária não foi devidamente considerada e;
- iv. a análise de imagens de satélite não tem a precisão adequada para diferenciar as áreas de pastagens e vegetação nativa em alguns biomas brasileiros.

No período de consulta pública referente ao DRIA para o RFS, diversas melhorias já haviam sido incorporadas no BLUM tornando possível elaborar propostas construtivas para a melhoria da metodologia proposta pela EPA. A análise de mudança de uso da terra proposta no texto original foi refeita utilizando o BLUM, desagregando o Brasil nas seis regiões e com uma análise de mudança de uso da terra substancialmente mais completa que a do texto original (NASSAR et al., 2009).

Os resultados obtidos no BLUM indicam existência de efeito indireto da expansão de consumo de produção de etanol de cana-de-açúcar, porém marginal e significativamente inferior aos resultados originalmente propostos no Draft Regulatory Impact Analysis (DRIA). Tal constatação indica a necessidade de aprimorar e adequar os resultados apresentados no DRIA. A colaboração entre ICONE e CARD/FAPRI coloca o BLUM como candidato natural para executar tais aprimoramentos. Dessa forma já é possível verificar resultados importantes e tangíveis na colaboração entre Brasil e EUA³⁶.

Na data de redação deste relatório, a proposta de legislação referente à Diretiva Européia não foi ainda publicada. No entanto, a participação do ICONE em workshops do Joint Research Centre of the European Commission, seguida da colaboração entre ICONE e membros da comissão européia (Diretórios de Transporte, Agricultura e Meio Ambiente), dão indicações de que a metodologia para cálculo de emissões de GEE, devido ao ILUC dos biocombustíveis, será fundamentada na combinação de modelos econômicos (para projeções globais de uso da terra em diferentes cenários de política), modelos espacialmente explícitos (para a alocação dos resultados dos modelos econômicos) e mapas de estoque de carbono (para conversão de mudança de uso da terra em emissões de GEE) (JRC, 2009).

O modelo Aglink-Cosimo, desenvolvido pela OCDE e FAO deverá ser um dos modelos econômicos selecionados pela Comissão Européia para as projeções de longo prazo e seus resultados deverão ser submetidos à verificação paralela. O Aglink-Cosimo é um modelo de equilíbrio parcial, com foco em análises políticas nos mercados agrícolas no médio e longo prazo (OCDE, 2007). Assim como no FAPRI, o

³⁶ Além da postagem formal do Docket no site do EPA, os resultados de Nassar et al foram apresentados diretamente aos membros do EPA, na visita oficial do EPA ao Brasil (NASSAR et al, 2009).

uso da terra é determinado principalmente pelas rentabilidades de cada atividade. Embora não tenha sido desenvolvido para análises de ILUC, a atual proposta metodológica concentra-se na adequação do modelo para análises locais e globais de políticas de ILUC (OCDE, 2009).

Alternativamente, a Comissão Européia deve considerar o modelo de MIRAGE. A utilização do MIRAGE para tal fim é um esforço conjunto do Centre D' Études Prospectives et d' Informations Internationales (CEPPI) e International Food Policy Research Institute (IFPRI). O MIRAGE é um modelo de equilíbrio geral, desenvolvido a partir do GTAP7. A melhoria da base de dados para o setor de biocombustíveis, as estimações de funções de produção adequadas ao setor agrícola, o desenvolvimento do módulo de energia e a decomposição adequada e incorporação da dinâmica de uso da terra são as principais adaptações para as análises de ILUC. As indicações iniciais são de que, por ser a primeira tentativa de utilizar o MIRAGE para análises de ILUC, ainda serão necessários significativos avanços no sentido de consolidar os fundamentos teóricos, bases de dados e parâmetros adequados.

Além das duas abordagens descritas existe também um esforço por parte de pesquisadores da Universidade de Wagenigen, na Holanda, de desenvolver uma metodologia integrada entre modelos de equilíbrio geral e modelos espacialmente explícitos, tomando como base os modelos LEITAP e IMAGE, respectivamente. Um dos principais desafios nesse caso é utilização de *feed backs* do modelo biofísico no modelo de projeção/simulação econômica.

A revisão das legislações propostas identificou algumas limitações comuns em todas as metodologias propostas. Tais limitações podem ser sumarizadas como segue:

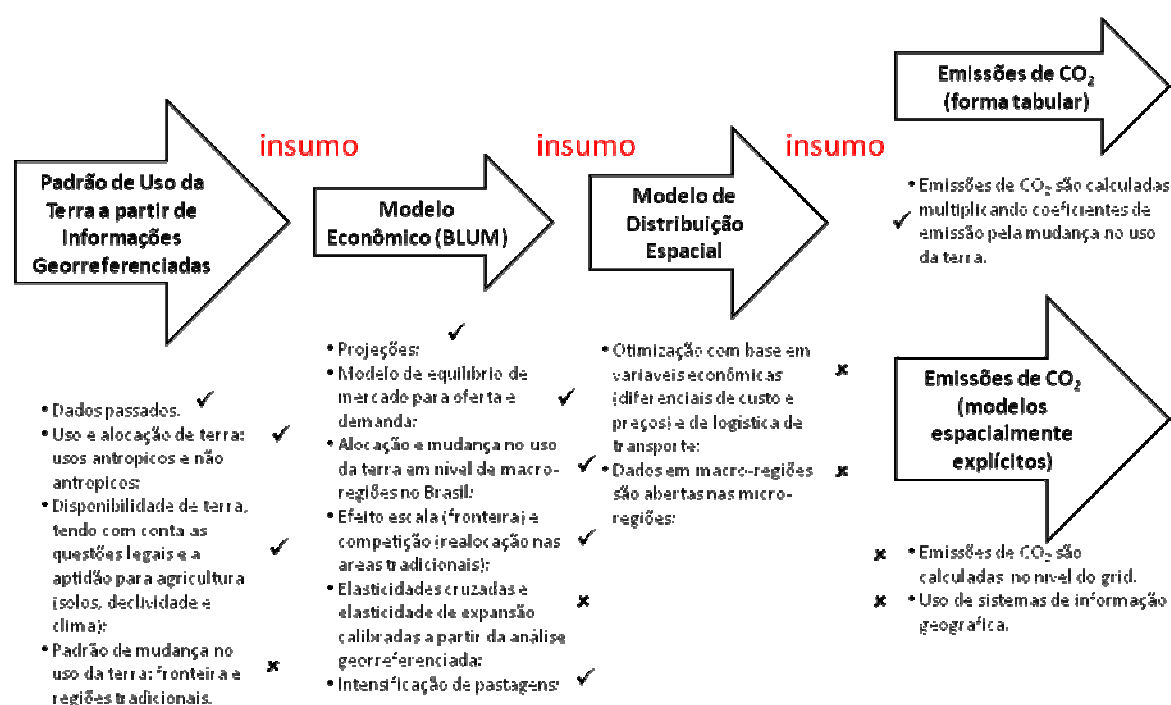
- todos os modelos consideram apenas uma parcela significativa de atividades agrícolas, sendo praticamente impossível modelar todas as atividades;
- os modelos fornecem a informação de alocação de área e não mudança de uso da terra;
- com exceção dos modelos de equilíbrio geral que, devido ao fato de possuírem elasticidades de substituição entre fatores de produção e, assim, serem capazes de assumir a intensificação de pastagens. Os modelos de equilíbrio parcial não consideram pastagens como uma classe de uso do solo e, assim, não projetam sua intensificação;
- outros vetores de conversão de vegetação nativas, tais como desmatamento ilegal, expectativa de valorização da terra, falta de direitos de propriedade não são considerados, ou são apenas parcialmente considerados.

4.5.4 Modelo Conceitual para Mensurar ILUC

Embora a EPA, o CARB e, ainda que de forma inicial, a Comissão Européia, tenham estabelecido metodologias para avaliar e mensurar as emissões associadas ao ILUC, há consenso que as análises desenvolvidas estão sujeitas a um elevado grau de incerteza que coloca em dúvida sua utilização para fins de definição de

legislações³⁷. No entanto, tais legislações colocaram o tema do ILUC no centro do debate sobre biocombustíveis e estimularam pesquisas e esforços adicionais no desenvolvimento de metodologias mais precisas e abrangentes para a mensuração das emissões associadas à mudança no uso da terra. O protagonismo do Brasil na produção de etanol e a condição de país com disponibilidade de terra para agricultura e, ao mesmo tempo, com destaque no tema do desmatamento da Amazônia, acabou trazendo o país para o centro do debate sobre ILUC. Ironicamente, este fato abriu uma janela de oportunidade para pesquisadores e centros de pesquisa brasileiros se destacar na condução do processo de desenvolvimento de metodologias.

Aliando a experiência do ICONE na avaliação das análises desenvolvidas pela EPA e pelo CARB, com a participação em projetos de pesquisa sobre este tema³⁸, pode-se definir um modelo conceitual ideal para mensuração de ILUC. A figura abaixo resume o modelo conceitual.



Fonte: ICONE

Notas: o símbolo □ indica que o tópico já está conectado ao BLUM ou que já usa as informações do BLUM. O símbolo ✗ indica que o tópico ainda precisa ser desenvolvido.

³⁷ Um exemplo dessa constatação é a carta da EPA para o Senador Tom Harkin. A carta pode ser encontrada no seguinte endereço eletrônico: <http://www.profarmer.com/LinkClick.aspx?fileticket=15UfmgFjbow%3D&tabid=62>.

³⁸ Nesse ponto é importante mencionar o “Estudo de Baixo Carbono no Brasil” coordenado pelo Banco Mundial. Esse estudo foi importante para o ICONE de duas formas: (i) estimular o desenvolvimento do BLUM, não somente com parte dos recursos financeiros necessários, mas também apontando para o ICONE que havia demanda por expertise em projeções econômicas de uso da terra; (ii) evidenciando a necessidade de integração de modelagens econômicas de uso da terra com modelagens de geoprocessamento, tanto na avaliação do uso corrente da terra a partir de imagens de satélite, quando na mensuração das emissões de GEE com modelos espacialmente explícitos.

Figura 4.5-1. Modelo Conceitual para Mensuração do ILUC

A mensuração do ILUC é feita a partir da combinação de dois tipos de modelagens: uma modelagem com base em técnicas de georreferenciamento e outra de base econômica. A modelagem econômica tem como papel principal projetar a alocação e a mudança no uso da terra a partir de cenários de oferta e demanda para os produtos agrícolas e florestais. O modelo econômico, no entanto, gera resultados muito agregados que, idealmente, devem ser distribuídos espacialmente antes de se proceder aos cálculos das emissões de GEE. Dessa forma, o modelo econômico de equilíbrio de mercado é complementado por um modelo de otimização que vai distribuir os cálculos de alocação e mudança no uso da terra em unidades geográficas mais desagregadas (micro-regiões do IBGE, por exemplo). Os resultados em níveis de micro-regiões podem ser trabalhados em modelos espacialmente explícitos, executados em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), para cálculo das emissões.

A modelagem econômica, no entanto, requer informações georreferenciadas como insumo. Para que um modelo econômico de alocação de terra seja capaz também de gerar resultados de mudança no uso da terra, ou seja, não apenas projetar a área a ser alocada para uma determinada lavoura no futuro, mas também os efeitos de substituição de outros usos pelo avanço da cana, idealmente é preciso definir padrões, com base em dados históricos, dos efeitos escala (expansão na fronteira) e competição (substituição entre usos). Esses padrões servirão de base para se validar as elasticidades cruzadas e de avanço na fronteira utilizadas pelo modelo econômico. A sugestão aqui é que a definição desses padrões seja feita com base em imagens de satélite. Portanto, as informações georreferenciadas são também insumos para o modelo econômico.

Além disso, considerando que terra é um recurso escasso, uma informação central, tanto para o modelo econômico, quanto para a distribuição espacial do uso da terra, é a disponibilidade de terra e aptidão das terras disponíveis para produção agrícola. Ambas as informações são calculadas com precisão a partir de geoprocessamento. A análise de sensoriamento remoto é também importante para se validar as informações de área utilizada para agropecuária, levantados a partir de dados secundários, com os cálculos de área antropizada, calculados a partir de imagens de satélite.

4.5.5 Desenvolvimentos Implementados

Após a publicação de Nassar et al (2008), diversos aperfeiçoamentos foram desenvolvidos e implementados na metodologia de cálculo de ILUC, proposta pelo ICONE. Por exemplo, as conexões e integração do BLUM com outros modelos, além de melhorias internas ao BLUM³⁹. As conexões e integração do BLUM proporcionaram o avanço em duas áreas distintas: com modelos sócio-econômicos globais e com modelos biofísicos; e exigiram coordenação do ICONE com as equipes especializadas. Ao mesmo tempo, as melhorias internas do BLUM contribuem para o avanço da fronteira do conhecimento internacional sobre ILUC.

³⁹ Embora tal distinção seja inicialmente didática, os avanços nas conexões entre BLUM e outros modelos naturalmente dificultam a separação entre as melhorias nas conexões e as melhorias no próprio BLUM.

Em relação aos avanços estruturais do BLUM, foi desenvolvida uma metodologia adequada para tratar explicitamente a distribuição regional da produção agropecuária e vegetação nativa dentro de um contexto de restrição de área. Para tal, foram necessários avanços em diversas frentes de pesquisa e ampla colaboração das equipes de pesquisa do ICONE e CARD/FAPRI, além da colaboração de outros pesquisadores em temas específicos. A pesquisa desenvolvida é detalhada nos parágrafos a seguir.

A fase de aperfeiçoamento do BLUM foi antecedida por uma fase preparatória de revisão e reflexão, quando verificou-se a necessidade do desenvolvimento e adequação de um modelo que tratasse a competição entre lavouras e pastagens simultaneamente à restrição da expansão destas sobre a vegetação nativa. O estudo de "*A Linear Approximate Acreage Allocation Model*" (HOLT, 1999) foi utilizado como referência inicial para tal abordagem. As adaptações deveriam ser moldadas de forma a adequar-se às especificidades das seis regiões do BLUM.

A principal vantagem dessa melhoria é a possibilidade de decomposição das elasticidades de área total em elasticidades individuais, sendo estas compostas pelos efeitos "escala" e "competição". A incorporação desses dois efeitos é particularmente interessante, pois diferentemente dos demais modelos existentes, o BLUM é capaz de captar a mudança de uso da terra, e não apenas alocação de terra para as atividades. Como proposto no texto original, para isso, os parâmetros individuais devem respeitar as condições de homogeneidade, simetria e aditividade.

Outra vantagem está na incorporação de informações georreferenciadas de uso e disponibilidade de terra no Brasil. Esses dados são tratados no modelo com equações não lineares para estimação e projeção da área total utilizada pela agropecuária. Tal combinação faz com que os limites geográficos da produção agropecuária e da vegetação nativa sejam respeitados. Existe, ainda, vasta literatura econômica indicando que o uso de equações não lineares deve ser preferido em análises onde o objeto sob estudo tenha limites superiores e/ou inferiores (Wooldridge, 2002; Greene, 2000).

É importante ressaltar que, para atingir a desejada robustez e coerência dos resultados são exigidos grandes esforços na estimação dos parâmetros, além da incorporação de inputs de modelagem em SIG com alto grau de fidelidade. Os inputs de SIG necessários são a área disponível para agricultura, e a interpretação de imagens de satélite para identificação dos padrões passados de substituição entre lavouras, pastagens e vegetação nativa.

Tais melhorias metodológicas no BLUM foram incorporadas de acordo com a disponibilidade de informações. A colaboração com o professor Gerd Sparovek, da Universidade de São Paulo, possibilitou a utilização de base de dados georreferenciada como informação de área disponível para agricultura. A base de dados foi desenvolvida com base no *Agricultural Land Use and Expansion Model – Brazil* (AgLUE-BR)⁴⁰. Não existe ainda um levantamento de dados georreferenciados adequado para inferir o comportamento passado na substituição entre lavouras, pastagens e florestas nativas no Brasil.

⁴⁰ O AgLUE-BR está em fase final de revisão e publicação. Após a publicação, a base de dados será disponibilizada ao público.

A integração do BLUM com modelos econômicos globais avançou, principalmente, na integração com o sistema de modelos do CARD/FAPRI. Os resultados até agora alcançados no BLUM estão sendo submetidos a um rigoroso processo de verificação e validação por parte da equipe ICONE e CARD/FAPRI para que, posteriormente, os resultados gerados sejam base para novas análises pela EPA.

Além das mudanças estruturais citadas acima, foram realizadas mudanças e ajustes adicionais no BLUM, tais como a atualização de dados (para o ano de 2009) e inclusão de outras lavouras de inverno (trigo e cevada).

4.5.6 Compatibilidade do BLUM com Outros Modelos

Embora os aprimoramentos desenvolvidos diferenciem e ajudem a manter o BLUM no limite da fronteira do conhecimento sobre ILUC, por ser um modelo desenhado para análises do uso da terra no Brasil, ele continua dependente de um modelo internacional de uso da terra (ou hipótese adicionais) para mensurar o ILUC internacional.

A compatibilidade entre o BLUM e outros modelos globais de uso da terra foi avaliada para três modelos internacionais de uso da terra. Foram avaliados dois modelos de equilíbrio parcial (FAPRI e AgLink-Cosimo) e um modelo de equilíbrio geral (GTAP). O grau de compatibilidade entre os três modelos pode ser ranqueado como segue:

1. Modelo FAPRI
2. Modelo Aglink-Cosimo
3. Modelo GTAP.

Por se tratar de modelos de equilíbrio parcial, a maioria das hipóteses fundamentais do BLUM, tais como o conceito de competição por terra e *path dependence*, é semelhante ou idêntica aos modelos FAPRI e Aglink-Cosimo. Dessa forma, a conexão entre tais modelos pode ser considerada mais consistente.

A semelhança estrutural entre BLUM e FAPRI é, no entanto, significativamente superior a observada entre BLUM e AgLink. Os modelos FAPRI e BLUM modelam individualmente cada atividade agrícola, enquanto no AgLink algumas atividades semelhantes são agrupadas. Tal agrupamento dificulta a homogeneização de parâmetros (tais como elasticidades) entre os modelos. Outros pontos que favorecem o modelo FAPRI são: a base de dados comuns, interação e complementaridade em estágio avançado entre as equipes técnicas do FAPRI e ICONE.

Embora o conceito de competição por terra seja modelado de forma diferente nos modelos de equilíbrio parcial e geral, a conexão entre esses pode ser alcançada via volume demandado. Uma possibilidade é que o modelo de equilíbrio geral (GTAP) forneça as projeções de demanda que devem ser simuladas, enquanto o BLUM tomaria essa demanda como dada e encontraria o vetor de preços que aloque espacialmente a produção agrícola. Nesse caso, porém, os modelos não seriam integrados, de modo que o vetor de preços de equilíbrio encontrado pelo BLUM não teria efeito algum sobre o modelo de equilíbrio geral.

A maior dificuldade, no entanto, de se compatibilizar o BLUM com o GTAP, além do fato de que o primeiro é uma modelagem de equilíbrio parcial e, por isso, assume como exógenas diversas variáveis que são estimadas endogenamente nos modelos de equilíbrio geral, é a hipótese de resposta da produção às mudanças nos fatores de produção. Os modelos de equilíbrio geral modelam a produção agrícola como função dos fatores de produção, sobretudo capital e terra. Já os modelos de equilíbrio parcial modelam a produção (ou a área alocada) como função da rentabilidade, ou seja, preços menos custos efetivos. Embora a modelagem de equilíbrio parcial possa também utilizar fatores de produção, não é o caso do BLUM, dos modelos mundiais do FAPRI e do Aglink-Cosimo.

4.5.7 Necessidade de Melhorias Identificadas

Encontra-se em fase exploratória a inclusão de receita de cogeração de eletricidade no BLUM, sendo este aspecto importante para a coerência das metodologias e resultados do OE-4. O aprofundamento e integração do setor industrial da cana-de-açúcar no BLUM é, no entanto, uma atividade que exigirá ainda esforços significativos. As prováveis rotas tecnológicas devem ser identificadas e suas probabilidades de ocorrência quantificadas. Os custos industriais devem ser mapeados, projetados e compatibilizados com as hipóteses do BLUM. Somente após a realização de tais tarefas, a decisão de investimento em capacidade produtiva poderá ser modelada adequadamente.

A inclusão de projeções endógenas de produtividade e custos de produção é um tópico a ser considerado para complementar e melhorar as projeções e simulações do BLUM e dos demais modelos de projeção. Keeney e Hertel (2009) identificam variações significativas em projeções de uso da terra considerando diferentes hipóteses sobre a produtividade. Por sua vez, as curvas de aprendizagem e conseqüente redução de custos são objeto de estudo em setores específicos da agroindústria⁴¹. A coerência intersetorial dos modelos econômicos determina que tais melhorias somente poderão ser incorporadas se o mesmo tratamento for dado a todos os setores, simultaneamente.

Os principais desafios identificados na integração dos modelos econômicos com os modelos biofísicos são: o tratamento das hipóteses econômicas nos modelos espacialmente explícitos e as possíveis interferências/alterações do ambiente sobre as relações econômicas.

Como visto no capítulo 4.5.5, parte desse desafio está sendo superado, como no caso da integração do modelo BLUM com o AgLUE-BR. Por outro lado, a melhor metodologia para espacialização dos resultados do BLUM, e respectivo cálculo de emissões de GEE relacionados à mudança de uso do solo ainda está sendo analisada.

Embora seja possível desagregar diretamente os resultados das seis regiões do BLUM por meio de modelos espacialmente explícitos, a pesquisa até agora realizada indica a preferência pela introdução de um passo intermediário, que envolva um modelo de otimização. Tal opção coloca-se por se demonstrar mais adequada para compatibilizar decisões econômicas e as restrições/alterações do ambiente. Adicionalmente, o desenvolvimento do modelo de otimização pode ampliar as possibilidades de análises do BLUM, como simulações de melhorias de

⁴¹ Van den Wall Bake et al (2009) é um exemplo desse tipo de estudo aplicado à produção de etanol.

armazenagem e logística. Tais simulações poderão tornar-se ferramentas quantitativas importantes também em análises de políticas públicas, como, direcionamento de investimentos em infra-estrutura e logística.

4.5.8 Conclusões e Sugestões de Pesquisa

Neste relatório foi descrita a colaboração institucional desenvolvida pelo ICONE com parcerias internacionais e nacionais, seguida pela avaliação das principais metodologias de cálculo de ILUC. Ambas serviram como pano de fundo para a elaboração de um modelo conceitual ideal para realizar cálculos de emissões de GEE relacionados ao ILUC dos biocombustíveis. Em seguida, o relatório abordou temas específicos do Modelo de Uso da Terra para a Agricultura Brasileira – BLUM. Foram reportados seus principais avanços metodológicos em relação à versão utilizada para a publicação de Nassar et al. (2008), avaliadas suas limitações e identificadas as melhorias que devem ser prioritariamente implementadas.

No campo institucional, foram observados avanços importantes na colaboração Brasil e EUA, e também com a União Européia. A colaboração foi muito além de encontros formais, tendo sido a colaboração técnica na construção e verificação de metodologias de ILUC o principal foco de trabalho. Destaca-se, nesse caso, a colaboração do ICONE com o CARD-FAPRI, tendo como pano de fundo a legislação do RFS.

Vale ressaltar que, embora não seja imediatamente relacionada à colaboração Brasil -EUA, a colaboração com membros da Comunidade Européia (e com outras instituições relevantes na esfera global) contribuiu para a consolidação do conceito metodológico adequado para cálculos de ILUC.

A luz do modelo conceitual para mensuração de ILUC, é possível verificar pela avaliação das metodologias internacionais e melhorias implementadas no BLUM, que essas melhorias o mantêm como modelo de excelência para representação e projeção da dinâmica de uso da terra no Brasil. O aperfeiçoamento mais importante nesse período foi a introdução dos conceitos de “efeito escala” e “efeito competição”, tornando possível interpretações de dinâmica de mudança no uso do solo e não apenas alocação de área.

Por outro lado, atenção especial deve ser dada à necessidade de melhorias na metodologia de análise de uso da terra, principalmente no que diz respeito às interfaces entre o BLUM e modelos biofísicos. Pode-se considerar que as principais interfaces tenham sido identificadas e algum progresso já tenha sido alcançado. Porém, ainda são necessários esforços significativos nos seguintes tópicos:

- estruturação de bases de dados passados de mudança de uso do solo com informações georreferenciadas;
- elaboração de metodologia que sirva de interface entre o BLUM e modelos biofísicos (possivelmente baseada em modelos de otimização);
- expansão de pesquisas relacionadas à inovação tecnológica e sua aplicação em todos os setores da agroindústria, e sua compatibilização ao BLUM;
- desagregação do atual setor “pecuária bovina” em pecuária extensiva, semi-intensiva e confinamento permitindo modelar a intensificação da

pecuária avaliando impactos nos sistemas de produção e na necessidade de investimentos.

Não se pretende que a lista acima tenha caráter definitivo e exaustivo no que diz respeito a recomendações de pesquisa, na medida em que novos tópicos podem surgir ao longo do desenvolvimento da análise de ILUC. Porém, recomenda-se a manutenção do BLUM na fronteira do conhecimento como estratégia de cooperação de Brasil e Estados Unidos. Dois argumentos fundamentam tal recomendação.

Primeiramente, os interessados no desenvolvimento de outros modelos de ILUC e/ou na aplicação do BLUM buscarão entender a dinâmica de seu funcionamento. Com isso, eles terão que aprender sobre as características da agropecuária e uso da terra no Brasil, que muito se difere das características dos países desenvolvidos, como EUA e UE. Tal fato será muito positivo para disseminar informação qualificada no meio político e científico internacional a respeito de um país que agrega os maiores potenciais de expansão da produção agrícola no mundo.

Ademais, a busca de uma metodologia de emissões de GEE associados ao ILUC se iniciou por causa do impacto dos biocombustíveis nas mudanças climáticas. Porém, a tendência é de que o mesmo ocorra com outros produtos, especialmente os agrícolas e intensivos em terra. Assim, a consolidação do BLUM como metodologia de referência em cálculo de ILUC servirá como uma ferramenta importante para balizar adequadamente as negociações e legislações futuras.

SECTION III

4.6 Carbon and other Green House Gases (GHGs) datasets and suggestions on a long term transdisciplinary research agenda

Weber Antonio Neves do Amaral, PhD
Professor
University of São Paulo, ESALQ - USP

4.6.1 Introduction

Energy security and diversification of its sources, environmental concerns about the direct and indirect impacts of climate change due to unsustainable oil use and the development and protection of agricultural markets are important drivers of the deployment of biofuels around the world.

Brazil's ethanol program is being considered a success story of a large scale program supporting the use of renewable energy in the transportation matrix, replacing more than 22 billions of liters of gasoline annually. Sugarcane is the only feedstock supporting this program.

Several research programs and papers are being developed and written to assess the sustainability of current examples of production of biofuels (particularly ethanol and biodiesel) from different regions of the planet, using a large set of indicators. In addition several certification schemes are being proposed in Europe and in the USA, creating a demand for existing and new data on environmental indicators, which sometimes are not readily available neither was collected to address the requirements of these schemes in a straightforward manner, particularly on carbon and other green house gases.

This report is a component of specific objective 4. (OE4), contributing with information on carbon data for conventional life cycle analysis and for models of direct and indirect land use process, and then to the design of a long term research agenda (Figure 4).

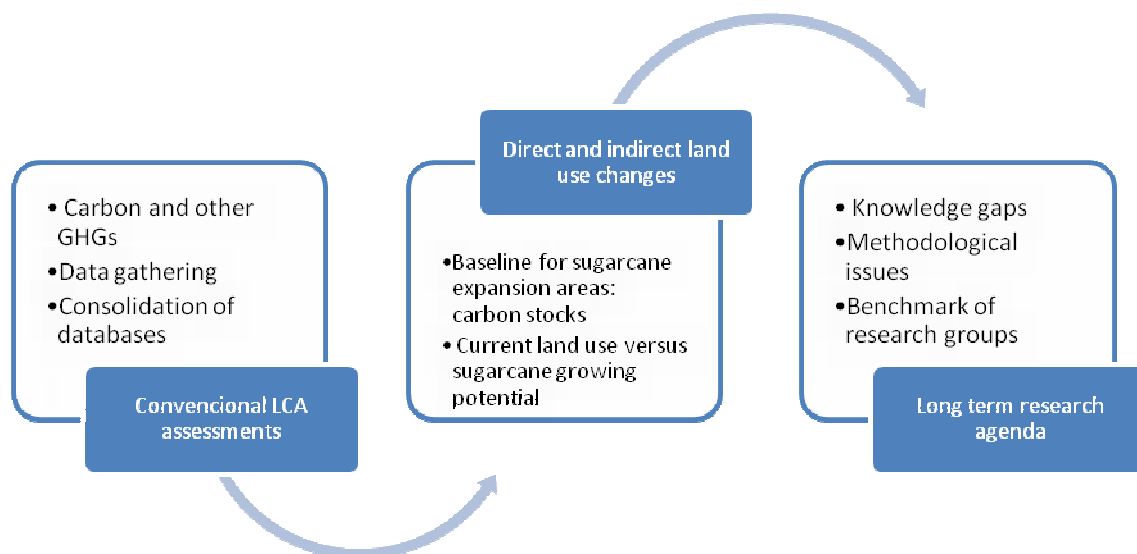


Figure 4: Schematic diagram of the report component for OE4: carbon and research agenda

An assessment of the literature and other sources of information (grey literature specially) was done for carbon content (above and below ground) for different crops and vegetation biomes in Brazil and for nitrogen emissions from sugar cane under different management and harvest regimes. More than 100 sources of information was compiled and organized to support complete life cycle studies of ethanol from sugar cane in Brazil.

Research gaps and research needs for the implementation of a strategy of long term monitoring key indicators of sustainability in sugar cane production systems, under different management and harvest regimes were identified, and recommendations for a transdisciplinary research program were made considering the consolidated and the new frontier of current trends of sugar cane expansion in Brazil.

Opportunities to implement a long term research program to assess, to quantify and to monitor the most relevant environmental indicators on sustainable production of ethanol in Brazil and in the USA, using comparative and same methodological frameworks do exist, but require collective efforts from both sides to implement a working agenda under the Memorandum of Understanding – MOU – signed between these countries on biofuels collaboration. This report is part of these efforts and can be used to support the development of the next steps on a truly joint research agenda.

4.6.2 Sustainability and research drivers for sugarcane production systems

Concerns on proper quantification of emissions reductions of green house gases due to the use of biofuels and on energy balances assessments, using life cycle analysis and other methodological frameworks are being the key drivers of research on sustainable feedstock production, particularly for the most important crops used for ethanol production, i.e. sugarcane and corn.

Land use changes and monitoring the expansion of sugarcane in Brazil are being evaluated by different government agencies (CONAB - Ministry of Agriculture,

IBAMA - Ministry of Environment and local governments), NGOs (ICONE, Conservation International, The Nature Conservancy, IPAM – Instituto de Pesquisas Ambientais, ISA – Instituto Socio Ambiental, IMAZON, etc) and Universities (USP, UNICAMP, etc).

However these efforts are done in most of the cases, independently of each other, causing difficulties to compare datasets and to adopt comparable methodological frameworks and datasets. ICONE's contribution to this report addresses some of these issues, and how to adjust economic models for land use changes in Brazil to understand the direct and indirect impacts of sugarcane expansion and thus on GHGs and energy balances, using life cycle analysis (Macedo & Seabra also in this report).

The proper quantification of the potential for sugarcane expansion (area, rate and direction), and thus of ethanol production should take into account current land uses, their carbon content (above and below ground), and sugarcane productivity potential to support improved life cycle studies in Brazil.

In addition, the certification schemes being proposed and adopted are relying on secondary datasets on environmental indicators, especially for carbon and other green house gases. And therefore they can significantly profit and improve its reliability by the use of up-to-date research information, which are currently needed.

4.6.3 Benchmark of Brazilian research initiatives on ethanol

In Brazil during the last several years, several new research initiatives are being funded and carried out by different agencies at federal and state levels, as well as by the private sector.

The main ones are:

- CTBE – Technology Center for Bioethanol – sponsored by the Ministry of Science and Technology (Figure 5);
- The Bioenergy Program from FAPESP, State of Sao Paulo Research Foundation – the BIOEN Program (Figure 6);
- The CTC – Sugarcane Technology Center (CTC) in Piracicaba (Figure 7), private funded; and
- The Brazilian Oil Company – Petrobras, CENPES), private funded.

In addition, the Brazilian Research Council (CNPq – Figure 8) from the Ministry of Science and Technological are funding several projects on ethanol since 2002, and had created research networks to focus on specific issues, being the network on enzymatic hydrolysis of ethanol, the first one to be implemented.

The main characteristics of these programs are described in the Figures below.

Bioethanol Research Center – CTBE – Ministry of Science and Technology

Mission/ objectives	Beginning
<ul style="list-style-type: none"> To contribute to the Brazilian's leadership in biofuel and inputs for the chemical industry through research, development and innovation on knowledge. 	<ul style="list-style-type: none"> 2005
Partnerships	Investments
<ul style="list-style-type: none"> The CTBE belongs to the MCT. 	<ul style="list-style-type: none"> R\$ 150 MM in 5 years
Research Agenda	Characteristics
<ul style="list-style-type: none"> Pilot to development of process Mecanização de baixo impacto para o plantio direto de cana-de-açúcar Sustainability Basic Science Biorrefinaria Virtual 	<ul style="list-style-type: none"> Perform as a research, development and innovation center in sugar cane ethanol. The institution enables universities and research institutions to develop projects related with the Center mission. Provides technologies and strategic information to the industry with interests in common.

Source: www.bioetanol.org.br

Figure 5: Information on the Bioethanol Technology Center (CTBE)

Fapesp Bioenergy Program – BIOEN Program

Mission/ objectives	Beginning
<ul style="list-style-type: none"> The BIOEN Program mission is to foster comprehensive academic and industry research on sugarcane and other biofuel sources integrated with the sugar and ethanol industry, thus assuring Brazil's position among world leaders in Bioenergy research and industry. 	<ul style="list-style-type: none"> 2008
Partnerships	Investments
<ul style="list-style-type: none"> The BIOEN Program establishes partnerships with industry for cooperative R&D activities with public laboratories at universities and research institutes co-funded by FAPESP and industry. 	<ul style="list-style-type: none"> R\$ 73 MM
Research Agenda	Characteristics
<ul style="list-style-type: none"> Biomass production and processing Biofuel production Engines and the overall impact on land Impact on socio-economics aspects 	<ul style="list-style-type: none"> Research goals are specified in accordance with the interests of private partners and FAPESP's commitment. Research agencies from federal and other state government agencies such as CNPq and FAPEMIG respectively, participate in the BIOEN Program and other agencies are expected to join.

Source: Fapesp

Figure 6: Information on the BIOEN Program from FAPESP

Sugarcane Technology Center - CTC - Piracicaba

Mission/ objectives	Beginning
<ul style="list-style-type: none"> • Create value to associates, disseminating technologies and innovation applied for the sugarcane chain 	<ul style="list-style-type: none"> • Over 30 years ago, but recently had changed its societal regime
Partnerships	Investments
<ul style="list-style-type: none"> • The CTC has 176 associates units (business companies with different sizes – sugarcane bu, responsible for 60% of the sugarcane produced in Brazil.. 	<ul style="list-style-type: none"> • US\$ 18,2 MM (annual budget)
Research Agenda	Characteristics
<ul style="list-style-type: none"> • Sugar cane varieties • Pest and disease management • Biotechnology • Agricultural practices and mechanization • Sugar Production • Ethanol Production 	<ul style="list-style-type: none"> • The CTC develops research for the entire sugarcane chain. It has a wide involvement in the process, which is important to obtain a balanced development of the sector and permit to accumulate efficiency gains.

3

Source: CTC/Canaveira

Figure 7: Information on the Sugarcane Technology Center

Brazilian Council for Research - CNPq

Mission/ objectives	Beginning
<ul style="list-style-type: none"> • Seek to promote research and the development of technologies and to stimulate the formation of researchers in Brazil. 	<ul style="list-style-type: none"> • 1951
Partnerships	Investments
<ul style="list-style-type: none"> • The CNPq belongs to the MCT, Ministry of Science and Technology and it is the main research agency at federal level, and responsible for the implementation of any research MOUs with foreign countries. 	<ul style="list-style-type: none"> • Total annual operational budget of 800 M dollars
Research Agenda	Characteristics
<ul style="list-style-type: none"> • Several programmes, covering from nanotechnology to human sciences; from basic to applied research • Lately its goal is to consolidate large research programs and investment in infrastructure through supporting National Institutes, a new work of researchers and institutions focused on a common area of research, such as ethanol. 	<ul style="list-style-type: none"> • Grant resources to research and researcher's capacity building • Promote the cooperation among national universities and foreign institutions allowing the development of new technologies and pf basic research in Brazil.

4

Source: CNPq

Figure 8: Information on the Brazilian Council for Research

As different research initiatives are being carried out in Brazil in biofuels and sometimes by the same research organizations, regardless of the funding sources, it is suggested that the focus of next steps to implement the MOU between Brazil and USA should address issues on sustainable production of the two most important feedstock for these countries, sugarcane and corn respectively.

4.6.4 Regulatory and new environmental frameworks for sugarcane in Brazil

The most important regulatory and environmental frameworks for sugar cane production in Brazil are the following:

- the Forest Code (1969), which defines minimum areas with native forest cover and the obligation of keeping riparian corridors and steep slopes with forests;
- the Environmental Impact Assessment (EIA) law (1995);
- the Sugar Cane Green Protocol for the State of Sao Paulo (2007), Figure 9. and Figure 10.
- the Federal Protocol on sugarcane zoning (2009), Figure 11.

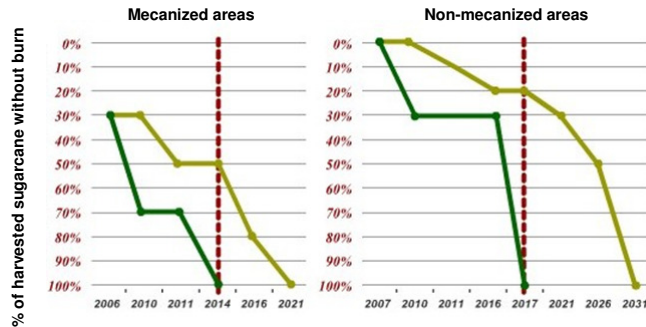
Compliance with these legal frameworks is not only important towards adopting sustainable practices, but also to reduce the transaction costs of adopting certification schemes.

These frameworks are also very relevant for generating statistics and data on sugarcane expansion into new areas, as it is required by law that environment impact assessment of sugarcane plantations should be conducted prior to their implementation, and thus requiring several procedures and measurements to grant authorization for sugarcane plantations in new frontiers. For example, Nassar et al. in this report used information presented from these impact assessment reports to verify land use changes due to sugarcane expansion in the Central-East region of Brazil.

The Green protocol, signed between sugar cane mill's association and sugarcane producers (UNICA and ORPLANA) and the Secretary of Environment of the State of Sao Paulo is a good example on how voluntary commonly agreeable commitments can affect sustainability indicators, particularly of carbon emissions, as one of the main goals of this protocol is to anticipate the goal of having 100% sugarcane mechanically harvested cane in 2014 for flat areas (Figures for additional details).

**Environmentally friendly protocol of the sugarcane industry :
the Green Protocol of the Secretary of Environment – São Paulo State - 1/2**

One of the main targets of this protocol is related with the anticipation of sugar cane burning regime from 2017 to 2014 in flat areas, and from 2031 to 2017 in slope areas*



* Are considered sloping areas, when the inclination is more than 12%
Source: Única

0

Figure 9: Green Protocol main targets for stopping sugarcane burning before harvesting

**Environmentally friendly protocol of the sugarcane industry :
the Green Protocol of the Secretary of Environment – São Paulo State - 1/2**

The protocol is divided in 6 topics, and the most relevant are shown below:

Commitments from the sugarcane mills:

- Anticipate the time to eliminate the sugarcane burn, putting ahead the percentual of non-burn sugarcane from 40 to 70% in non-sloping areas and from 10 to 30% in sloping areas.
- Protect riparian corridors areas in the sugarcane properties.
- Implement the “Technical Plan of Hidrical Sources Conservation”
- Implement the “Technical Plan of Soil Conservation”
- Adopt good practices to the disposal of agrochemical packaging

Commitments from the government:

- Promote the research to the energetic and economic use of the sugarcane leaves.
- Support the installation of an environmental logistic infra structure
- Grant the Eco-friendly certification to the producers that adopt to the protocol and follow your guidelines

Source: Única

1

Figure 10: Green Protocol agreeable commitments from the industry and government

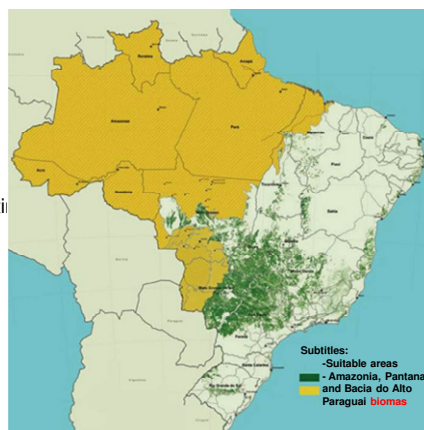
Another new framework which will also affect positively sustainable production of sugarcane is the zoning protocol, launched by the Brazilian federal government in September, 2009, to define suitable areas for sugarcane expansion, based on edaphic conditions and constraining the expansion into the Amazon and other non-suitable areas for sugarcane growth, such as the Brazilian Pantanal, the largest wetland biome in Latin America (Figure 11).

Sugarcane zoning

The zoning protocol defined that sugarcane fields can not occupy more than 7,5% of Brazilian territory, based on assessments of Brazilian climate and soil conditions, which bring several environmental, economic and social restrictions for sugarcane plantations within the country

The main resolutions and suitable areas for planting sugarcane are shown below:

- Protect the areas with original native vegetation and the prohibition of the planting in the Amazonia, Pantanal e Bacia do Alto Paraguai biomes;
- Sugarcane planting in areas where the use of water is minimum as possible (rain feed primarily);
- A draft law project to recommend the growth of the planting based in the food safety without harming food production;
- Look for new places to produce sugarcane, using pasture areas or those occupied by cattle raising.



Source: EMBRAPA

Figure 11: Sugarcane zoning protocol and main resolutions

Policies and legal environmental frameworks for sugarcane production in Brazil are constantly evolving, and being adjusted progressively to attend societal and market demands. A comparative assessment between Brazil and USA on these frameworks for the production of ethanol might be a potential area of research for lawyers and public policy scientists from both countries.

4.6.5 Carbon data and other Green House Gases (GHGs) for Brazil

Carbon data (above and below ground biomass) for different land uses in Brazil was collected, organized and assessed from published and grey literature, comprising more than 120 references, which were structured in synthesis tables below (Table 9 to Table 11).

Table 9: Synthesis of carbon soil content datasets under different vegetation and land use regimes in Brazil

Vegetation/land use	Soil carbon content (Mg/ha)	Reference	Soil depth
Cana Queimada	35,10	Estimado baseado nos dados de Galdos (2007)	0 - 20 cm
Cana Crua	44,30	Estimado baseado nos dados de Galdos (2007)	0 - 20 cm
Soja	53,08	Campos (2006)	0 - 20 cm
Milho	40,16	d'Andréa et al. (2004)	0 - 20 cm
Algodão	37,87	Neves et al. (2005)	0 - 20 cm
Pastagem Degradada	40,67	d'Andréa et al. (2004)	0 - 20 cm
Pastagem Natural	56,36	Jantalia (2005)	0 - 20 cm
Pastagem Plantada	51,99	Rangel & Silva (2007)	0 - 20 cm
Cerrado sensu stricto	46,00	Lardy et al (2001)	0 - 20 cm
Campo limpo	72,00	Lardy et al (2001)	0 - 20 cm
Cerradão	53,00	Lardy et al (2001)	0 - 20 cm
Floresta Tropical	71,00	Trumbore (1993)	0 - 20 cm
Floresta Sub-tropical	71,90	Cerri (1986)	0 - 20 cm

Table 10: Other sources of references on carbon soil carbon content in Brazil

Cerrado - Savannah like vegetation	Soil carbon content (Mg/ha)	Reference	Soil depth
Sensu strictu	200	Silva L.C.F.2007	0 - 100
Cerradão	100	Carvalho (2007)	0 - 100
Campo Limpo	117	INPE	0 - 100

Cerrado - Savannah like vegetation	Soil carbon content (Mg/ha)	Reference	Soil depth
Sensu strictu	143	Lardy et al. (2002)	0 - 100
Cerradão	148	Lardy et al. (2002)	0 - 100
Campo Limpo	209	Lardy et al. (2002)	0 - 100

Vegetation/land use	Cerrado - Savannah like vegetation	Reference	Soil depth
Cana Queimada	37,27	Estimado a partir de Canellas et al. (2007)	0 - 20 cm
Cana Crua	59,36	Estimado a partir de Canellas et al. (2007)	0 - 20 cm
Pastagem Degradada	15,80	Estimado a partir de Szakács (2003)	0 - 20 cm
Pastagem Plantada	23,51	Estimado a partir de Szakács (2003)	0 - 20 cm

Although the assessment of NO_x emissions from burning sugarcane is well-known (Oppenheimer et al. 2004; Allen et al. 2004; Lara et Al. 2005; Rocha et al. 2005; Ribeiro, 2008), data on NO_x soil emissions from sugarcane under different management and harvest regimes is missing and most needed for proper assessment of emissions reductions scenarios (Hall and Matson, 1996).

Table 11: Synthesis of biomass carbon content

Biomass	Biomass carbon content (Mg/ha)	Reference	Observation
Cana Queimada	13,90	Adaptado a partir de Galdos (2007)	Argissolo Vermelho Amarelo
Cana Crua	9,80	Adaptado a partir de Galdos (2007)	Argissolo Vermelho Amarelo
Pastagem Degradada	1,30	Estimada a partir de Szakács (2003)	Neossolo Quartzarênico
Pastagem Plantada	6,50	Estimada a partir de Szakács (2003)	Neossolo Quartzarênico
Soja	1,81	Adaptado a partir de Campos (2006)	Latossolo Vermelho Distrófico
Algodão	2,18	Adaptado a partir de Fornasieri & Domingos (1978)	Dados generalizados Argissolo Vermelho Distrófico
Milho	3,90	Estimado a partir de Titon et al. (2003)	Distrófico
Cerradão	33,53	Ottmar et al. (2001)	21 anos sem fogo
Campo Limpo	8,36	Ottmar et al. (2001)	3 anos sem fogo
Cerrado	25,53	Ottmar et al. (2001)	mais de 20 anos sem fogo
Floresta Tropical	200,00	INPE - Trabalho VPB	

A unique source of information on soil carbon content was identified recently by Macedo & Seabra (this report). It is a large dataset proprietary of the CTC comprising of more than two thousand sampling points of soils, sampled for the genotype x environmental program for recommendation of sugarcane varieties in different regions of Brazil. This dataset could be structure, if made public available, into main soil types and sugarcane management regimes, and then helping the identification of sampling gaps in current and expanded regions for sugarcane.

In addition to different methodological procedures on carbon and other GHGs measurements made from these different literature sources, there is clearly sampling gaps from different soil types and lack of measurements taking into account seasonal and diurnal variations on the GHGs emission patterns. The availability and access of data from Brazilian sources, written in Portuguese, is also another challenge to compare datasets from other parts of the world, particularly for American scientists, which are sometimes for only this reason, neglecting vast amount of information available in the scientific Brazilian literature.

4.6.6 The need of a transdisciplinary research: contributions to a research agenda

Nowadays it is imperative that any attempt to understand the complexity of interactions among different drivers related to the ethanol's future market trends and its deployment, will have to take a transdisciplinary and a system dynamics approach (Figure 12). Although it is rather easy to conceptualize what should be done, it is far more difficult to figure out how to implement such research frameworks.

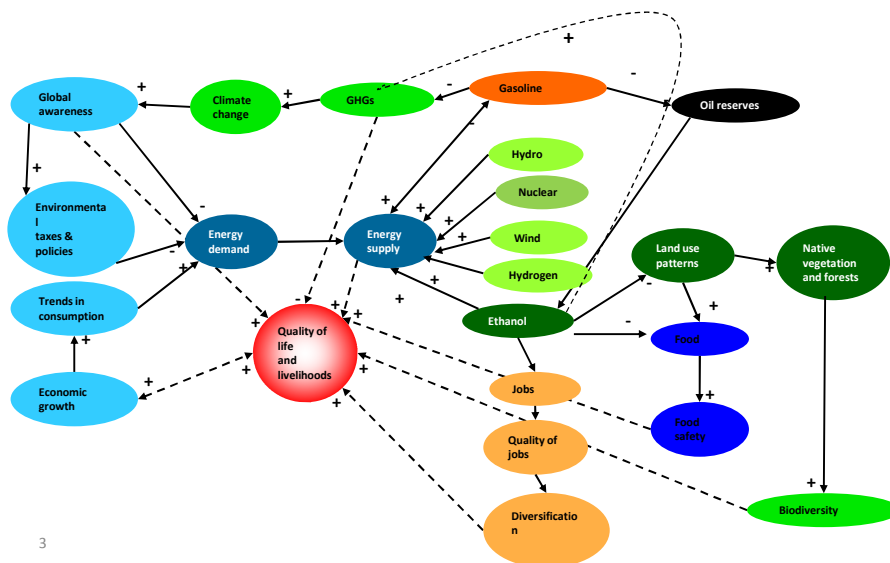
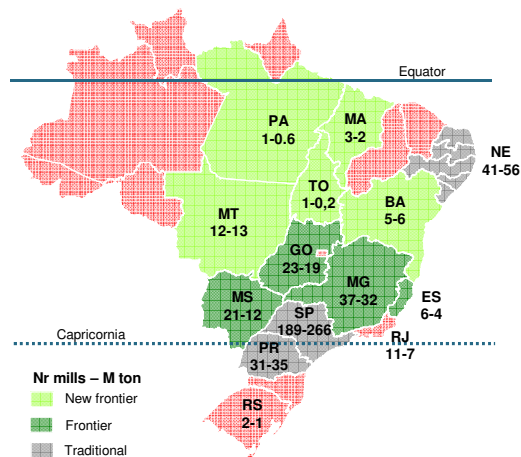


Figure 12: Ethanol system dynamics and their multiple interactions

Another issue to be considered is the wide distribution of sugar fields in different regions of the country, with different land use histories, with different productivity capacity, management practices, sugarcane varieties and harvest regimes. Figure 13 shows the distribution of mills per state and by crushing capacity.

Location of mills and sugarcane production



Source: AGRIANUAL / IDEA

Figure 13: Distribution of sugarcane mills and crushing capacity per state in Brazil.

In order to implement a solid research agenda, which should evolve to encompass the entire ethanol custody chain, it is suggested that a transdisciplinary research could be launched addressing the key issues related to sustainable production of sugarcane, i.e., at agricultural levels at the first place, and then later add other elements of the ethanol chain (Figure 14), especially when addressing the challenges to fully deploy the ethanol second generation potential using sugarcane and the need to engage multiple traditional and new stakeholders (Figure 15).

**Suggested steps for implementing
an transdisciplinary research agenda on ethanol**

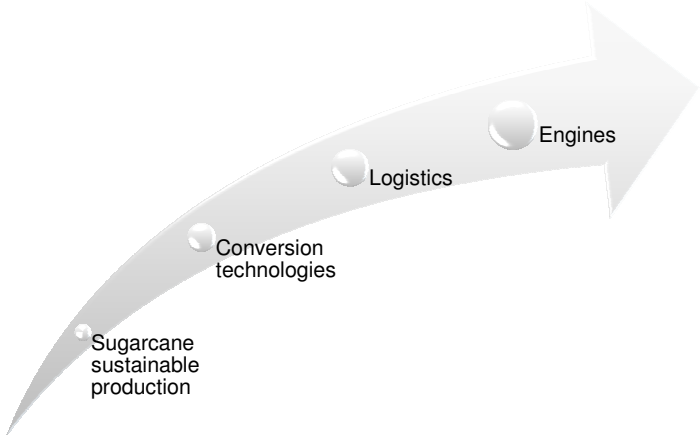


Figure 14: Research steps and focus within the sugarcane custody chain

4

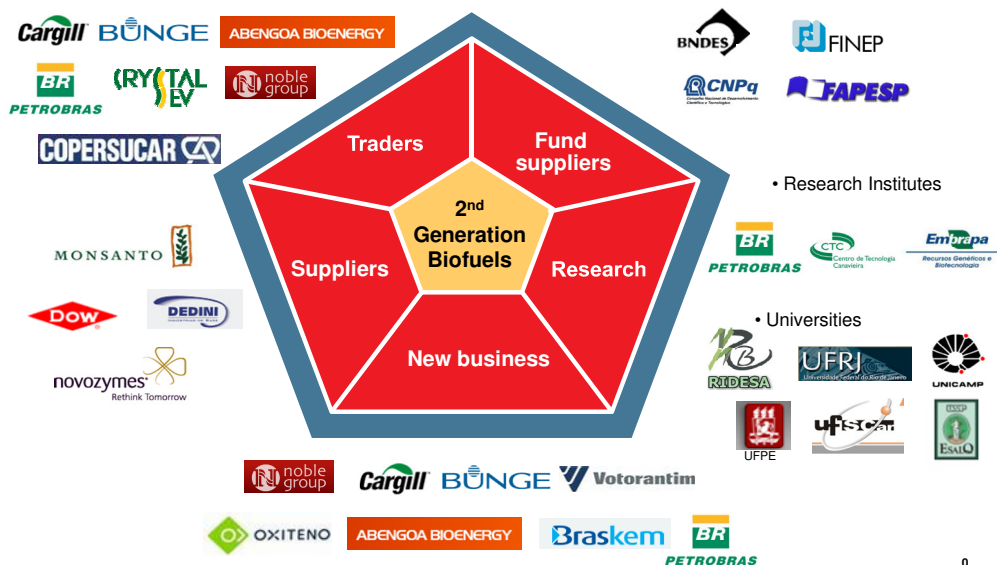


Figure 15: Multi-stakeholders of the second generation of ethanol in Brazil: suppliers, traders, funding agencies, research organizations, and new business

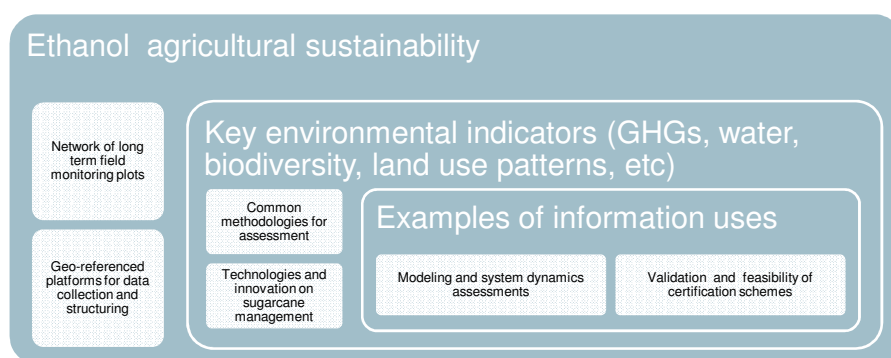
Several steps and issues towards the development of the agenda for sustainability of sugarcane production systems should consider the following (Figure 16):

- a) the necessity of implementing a network of long term monitoring plots in the field, considering the consolidated sugarcane and the new frontier of expansion, taking into account major soil types, sugarcane management regimes (mainly on fertilization and soil practices) and harvesting schemes;
- b) the necessity of geo-referencing all information collected and cross-checked with other variables (climate, water resources, topography, etc), making the information available by information technology platforms, capable of handling large datasets;
- c) focused on the main indicators of sustainability for agriculture (GHGs, water, biodiversity, land use history and process, etc)
- d) use the same and comparable methodological and analytical frameworks for data collection and analysis;
- e) use the data and information gathered in modeling and life cycle assessment, with updated and large sample sized datasets;
- f) and validate and improve current certification schemes being developed.

Investment on capacity building on all the above steps will be required for all project participants. In addition to these specific steps, Workshops for developing

governance structure of the research program, involving different organizations and researchers, and thus of their commitments towards common goals will be essential for the success of these efforts.

Suggestion of a long term research program on sugarcane production systems



3

Figure 16: Suggestion of the long term research program on sugarcane production systems

In order also to avoid potential pitfalls while implementing a joint and transdisciplinary research program on sustainable production of ethanol, a couple of useful benchmark examples can be used to draw on their mistakes and lessons learned:

- the LBA Project (Large Scale Biosphere Atmosphere Project) carried out primarily between USA and Brazilian researchers in the Amazon, which created governance mechanisms for management complex research topics and researcher's interests, involving multiple organizations and Universities from both countries.
- The Brazilian and Dutch MOU on research: its joint calls for proposals on collaborative research involving multiple institutions, workshops, and scholarships for students and faculty.
- Multi-stakeholder (and multi-country) projects funded by the EU frameworks (specially the 6th and 7th FW).

The implementation of a transdisciplinary research on ethanol sustainability initially with a focus on the agricultural component should be based on a long term network of permanent field plots for monitoring the most relevant environmental indicators and thus to reduce the scientific uncertainties due to different methodological and analytical approaches and to create a large dataset of information made public available to scientists and other stakeholders.

4.6.7 The current and future role of biotechnology on ethanol production systems and regulatory frameworks

Biofuels such as bioethanol are becoming viable alternatives to fossil fuels due to several technological advances and management improvements. Utilizing agricultural biomass for the production of biofuels has drawn much interest in many science and engineering disciplines, including molecular biologists and plant breeders. As the major crops for biofuels, sugarcane and maize are also the two most promising crops to benefit from large research investments.

Compared to other crops with biofuel potential, sugarcane and maize can provide both sugar/starch (seed) and cellulosic (bagasse/stover) material for bioethanol production. However, the combination of food, feed and fuel in one crop, although appealing, raises concerns related to the land delineation and distribution of these crops grown for energy versus food and feed. To avoid or reduce this dilemma and criticism, the conversion of this feedstock into bioethanol must be improved.

Conventional breeding, molecular marker assisted breeding and genetic engineering have already had, and will continue to have, important roles in sugarcane and maize improvement. The rapidly expanding information from genomics and genetics combined with improved genetic engineering technologies offer a wide range of possibilities for enhanced bioethanol production from these crops.

It is now clear that multiple transgene strategies need to be developed (synthetic biology) to tackle complex traits, to engineer metabolic pathways and to combine the expression of different genes. Some studies have demonstrated the feasibility of such technologies, but more effort is needed to make them both applicable to bioethanol production and acceptable to the public. Indeed, the development of genetically engineered crops raises issues of legislation relating to how these technologies should be regulated and managed.

Each country (Brazil and the USA) has its own legislation concerning plant biotechnology. However the regulatory system often lags behind the advancement of these plant biotechnologies. An integrated agri-biotechnology system for food, feed and fuel production is likely to be a challenge from the regulatory point of view, but will most certainly be the future for sugarcane and corn if it is to be bred for ethanol production.

Therefore research programs addressing how to improve sustainable production of ethanol using environmental indicators should assess the current and future roles that biotechnology would have on productivity, and thus on environmental performance of sugarcane and corn, and how legal and policy framework might evolve to allow or not the deployment of multiple biotechnological applications which underlying these developments.

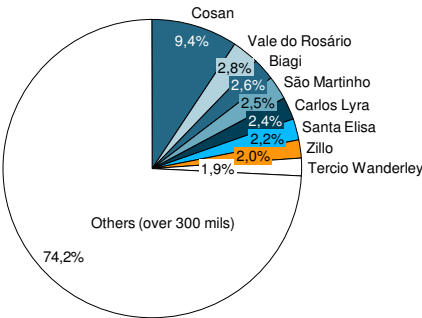
4.6.8 Other critical issues for improving ethanol productivity and sustainability

The improvement of sugarcane production systems, specially at agricultural level is a necessity as the amplitude of productivity among ca. 400 mills is very large, and jeopardize the adoption rate of best practices towards sustainability. Several technological innovations and management practices are ready available, but not always implemented or adopted by the majority of mills.

The consolidation of the industry in large players (Figure 17), and the presence of new investors in ethanol for national and foreign markets might accelerate the rate of adoption of best practices. Therefore reducing the asymmetry of technological inputs and levels of productivity among sugarcane producers in Brazil will contribute significantly towards the optimization of use of fertilizers and for the elimination of sugarcane burning prior harvesting.

The industry is highly fragmented, top 10 producers account for less than 30% of total production and the largest producer for less than 10%.

Market share in the Brazilian milling of sugar-cane



Source: Cosan

3

Figure 17: Market share of Brazilian sugarcane business

Research programs should make the necessary bridges between demands from sugarcane producers and from suppliers of equipment and service providers, in the quest for technological innovation and thus for improving ethanol productivity and sustainability. A framework for ethanol innovation and deployment of pipeline technologies is necessary and could also be discussed within the USA – Brazil MOU (Figure 18), complementing the transdisciplinary research agenda.

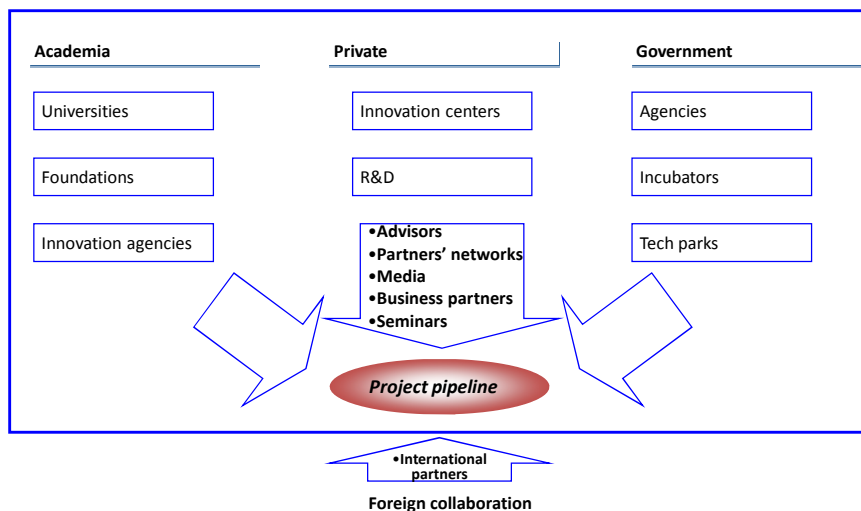


Figure 18: Brazilian ethanol framework needed for innovation and deployment

4.6.9 Concluding remarks

Opportunities to implement a long term research program to assess, to quantify and to monitor the most relevant environmental indicators on sustainable production of ethanol in Brazil and in the USA, using comparative and same methodological frameworks do exist, but require collective efforts from both sides to implement a working agenda under the Memorandum of Understanding – MOU – signed between these countries on biofuels collaboration. This report is part of these efforts and can be used to support the development of the next steps on a truly joint research platform.

The certification schemes being proposed and adopted are relying on secondary datasets on environmental indicators, especially for carbon and other green house gases. And therefore they can significantly profit and improve its reliability by the use of up-to-date research information, which are currently needed.

As different research initiatives are being carried out in Brazil in biofuels and sometimes by the same research organizations, regardless of the funding sources, it is suggested that the focus of next steps to implement the MOU between Brazil and USA should address issues on sustainable production of the two most important feedstock for these countries, sugarcane and corn respectively.

Policies and legal environmental frameworks for sugarcane production in Brazil are constantly evolving, and being adjusted progressively to attend societal and market demands. A comparative assessment between Brazil and USA on these frameworks for the production of ethanol might be a potential area of research for lawyers and public policy scientists from both countries.

Highly divergent methodological procedures on carbon and other GHGs measurements, sampling gaps from different soil types and lack of measurements

taking into account seasonal and diurnal variations on the GHGs emission patterns are issues of concern for improving estimates of GHG emissions reductions from ethanol.

The availability and access of data from Brazilian sources, written in Portuguese, is also another challenge to compare datasets from other parts of the world, particularly for American scientists, which are sometimes for only this reason, neglecting vast amount of information available in the scientific Brazilian literature.

The implementation of a transdisciplinary research on ethanol sustainability initially with a focus on the agricultural component should be based on a long term network of permanent field plots for monitoring the most relevant environmental indicators and thus to reduce the scientific uncertainties due to different methodological and analytical approaches and to create a large dataset of information made public available to scientists and other stakeholders.

Research programs addressing how to improve sustainable production of ethanol using environmental indicators should assess the current and future roles that biotechnology would have on productivity, and thus on environmental performance of sugarcane and corn, and how legal and policy framework might evolve to allow or not the deployment of multiple biotechnological applications which underlying these developments.

Research programs should also make the necessary bridges between demands from sugarcane producers and from suppliers of equipment and service providers, in the quest for technological innovation and thus for improving ethanol productivity and sustainability. A framework for ethanol innovation and deployment of pipeline technologies is necessary and could also be discussed within the USA – Brazil MOU, complementing the transdisciplinary research agenda.

5. Referências

Adams D. M., Alig R J., Callaway J.M., McCarl B. Winnett A., S M.. The Forest and Agricultural Sector Optimization Model (FASOM): Model Structure and Policy Applications. Washington, DC. PNW-RP-495. September 1996

Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL (www.aneel.gov.br) agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e sua sustentabilidade. UNICA -

Agriannual 2008: Anuário da Agricultura Brasileira. São Paulo: FNP Consultoria & Agroinformativo, 2008. 502p. São Paulo.

ALMEIDA, J.R.; RANZANI, G.; VALSECHI, O. La vinasse dans 1' Agriculture. In: VIII Congresso Internacional das Indústrias agrícolas, Proceedings. Bruxelas, p.13-21.1950.

Amaral et al., 2008. Environmental sustainability of sugarcane ethanol in Brazil. In: P. Zuurbier and J. van de Vooren (eds.) Sugarcane ethanol, Wageningen Academic Publishers, Wageningen, the Netherlands, pp. 113-138.

AMARAL, C. M. C. do; AMARAL, L. A. do; LUCAS, J. de; NASCIMENTO, A. A. do; FERREIRA, D.S.; MACHADO, M. R. F. Biodigestão Anaeróbia de Dejetos de Bovinos Leiteiros submetidos a Diferentes Tempos de Retenção Hidráulica. *Ciência Rural*, v. 34, p. 1897-1902, 2004.

Amyris, 2009, diversas informações apresentadas no em <http://www.amyrisbiotech.com/>, consultado em agosto de 2009

ANA, National Agency of Waters. 2007. "The implementation of the tariff by the hidrical resources uses and the waters agency of the rivers Piracicaba, Capivari and Jundiaí".

ANDRADE, J.M.F. & DINIZ, K.M. Impactos Ambientais da Agroindústria da Cana-de-açúcar: Subsídios para a Gestão. Monografia apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Especialista em Gerenciamento Ambiental. Piracicaba Setembro de 2007.

ANDRADE, M.C. de. Área do Sistema Canavieiro. Recife: SUDENE, Serie de estudos regionais Nº 18. 1988. 686p.

ANEEL- Agência Nacional de Energia Elétrica - (www.aneel.gov.br)

ANUALPEC 2009. Anuário da Pecuária Brasileira. São Paulo: FNP Consultoria e Comércio, 2009. p. 143-167.

Anuários SINDAG, 2008. Sindicato Nacional da Indústria de produtos para a Defesa Agrícola. Information provided by Prof. Evaristo Marzabal Neves, on July 2009.

Arrigoni, Enrico De Beni & Almeida, Luiz Carlos de. 2005. In: Macedo, Isaias de Carvalho; Several Authors, 2005. Sugarcane's Energy – Twelve studies on Brazilian sugarcane agribusiness and its sustainability. São Paulo.

Bagajewicz, Miguel, 2000. "A review of recent design procedures for water networks in refineries and process plants", *Computers and Chemical Engineering* 24 (2000), pp. 2093–2113.

Bajay, S.V., 2008, *Perspectivas de avanços tecnológicos na produção de álcool e de biodiesel no Brasil*, Fóruns Permanente em Agronegócios, CGU/CORI, UNICAMP, disponível em <http://www.corri.unicamp.br/foruns>

BALDANI, J.I.; CARUSO, L.; BALDANI, V.L.D.; GOI, R.S.; DÖBEREINER, J. Recent advances in BNF with non legumes plants. *Soil Biology and Biochemistry*, 29:922-928, 1997.

Band E., Patterson D. L., Nemani R., Running S. W. (1993) Forest ecosystem processes at the watershed scale: incorporation hillslope hydrology. *Agricultural and Forest Meteorology*, 63: 93-126.

BARBOSA, V. Novas tecnologias no uso da vinhaça e aspectos legais. In: Marques, M.O. et al. ed. *Tópicos em tecnologia sucroalcooleira*. Jabotical, Unesp, p. 141-150. 2006.

BARCELLOS, L. A. R. Avaliação do potencial fertilizante do esterco líquido de bovinos. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1992, 108p. (Tese de Mestrado).

BASANTA, M.V.; DOURADO NETO, D.; REICHARDT, K.; BACCHI, O.O.S.; OLIVEIRA, J.C.M.; TRIVELIN, P.C.O.; TIMM, L.C.; TOMINAGA, T.T.; CORRECHEL, V.; CÁSSARO, F.A.M.; PIRES, L.F.; MACEDO, J.R. Eficiência no uso de nitrogênio em relação aos manejos dos resíduos da cultura de cana-de-açúcar. In: Congresso Nacional da Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil, 8., Recife, 2002. Anais. Olinda: STAB, 2002. p.268-275.

Bayer C.; Martin-Neto, L.; Mielniczuk, L.; Pavinato, A.; Dieckow, J. Carbon sequestration in two Brazilian cerrado soils under no-till. *Soil & Tillage Research* 86, 237–245, 2006.

Bennie, A.T.P. Hensley, M. Maximizing Precipitation Utilization in Dryland Agriculture in South Africa - a Review. *Journal of Hydrology*. 241, 124-1399, 2001.

BERC, Forest Sustainability, Biomass Energy Resource Center, Vermont, 2004.

Bernardo Salassier, 2007. "Manejo da Irrigação na Cana- de- açúcar".

BERTONCINI, E.I., MATTIAZZO, M.E., ROSSETTO, R. Sugarcane yield and heavy metal availability in two biosolid-amended Oxisols. *Journal of Plant Nutrition*, v. 27, 1243–1260, 2004.

Bertoni, J.; Pastana, F.I.; Lombardi Neto, F.; Benatti Junior, R.: 1998. "Conclusões gerais das pesquisas sobre conservação de solo no Instituto Agrônomo", Campinas, Instituto Agrônomo, 2nd print, Jan 1982, Circular 20, 57 p., in: Lombardi Neto, F.; Bellinazi JR, R.: Simpósio sobre terraceamento agrícola, Campinas, SP, Fundação Cargill, Campinas.

Beven K. J., Kirkby M. L. (1979) A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. *Hydrological Sciences Bulletin* 24 (4): 43-69.

BFS/FAO "Second FAO Technical Consultation on Bioenergy and Food Security". Summary Proceedings, Food and Agriculture Organization of United Nations, Rome, 2008.

BICHARA, J. M.; P. FILHO, J. Aspectos gerais do gerenciamento ambiental da agroindústria canavieira. Saneamento Ambiental nº 11, pp. 14-23, Dez./Jan. 1991.

BIGGS, I.M.; STEWART, G.R.; WILSON, J.R.; CRITCHLEY, C. N-15 natural abundance studies in Australian commercial sugarcane. *Plant and Soil*, 238:21-30, 2002.

Birkett H.S; Stein J.M. (2004). "Cane washing losses". *Sugar Journal*. 67,4,17-21;5,25-28;6,16-21.

BNDES, Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável, Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, Rio de Janeiro, 2008.

BODDEY, R.M. Biological nitrogen fixation in sugar cane: a key to energetically viable bio-fuel production. *CRC Critical Review in Plant Science*. 14:263-279, 1995.

BODDEY, R.M.; URQUIAGA, S.; ALVES, B.J.R.; REIS, V.M. Endophytic nitrogen fixation in sugarcane: present knowledge and future applications. *Plant and Soil*, 252:139-149, 2003.

BOLONHEZI, D. (a) Sustentabilidade no processo de produção de Bioenergia. In: Simpósio sobre Plantio Direto: Gestão Sustentável do Agronegócio, Ponta Grossa, 2007. Resumos. Ponta Grossa: Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha, 2007. p.97-104.

BOLONHEZI, D. (b) Plantio direto da cana-de-açúcar: Perspectivas e desafios. *Revista Agrimotor*. Disponível em: <http://www.revistaagrimotor.com.br/outras_sesseoes.asp? Acesso em 01/12/2007.

Bonn F., Rochon G. (1992) *Precis de Teledetection vol. 1 - Principes et Methodes*. Press de l'Universite du Quebec, 485 p.

BORIS, F. *História do Brasil*, São Paulo: Edusp, 1994. 664p.

Braunbeck, O.A. Mecanização de Baixo Impacto para o Plantio Direto de Cana-de-açúcar. In *Workshop Mecanização de baixo impacto para o plantio direto da cana-de-açúcar*. CTBE, Centro de Ciência e Biotecnologia do Etanol, 2009

Braunbeck, O.A. Novas Tecnologias Mitigadoras no Uso de Água na Produção de Etanol: A Incorporação da Palha para Redução do Estresse Hídrico. In: *Workshop Uso da água na produção de etanol de cana-de-açúcar*. 2008. Disponível em <http://www.apta.sp.gov.br/cana/anexos>, acessado em junho 2009.

Braunbeck, O.A.; Albrecht Neto, E. Logística do Transporte de Matéria Prima e Resíduos da Cana-de-Açúcar. In: *P&D em Etanol*, Cortez, L.AB. Editor, in press, 2009.

Brazilian Government, Lei n. 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e

aplicação, e dá outras providências. Available in: <www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6938.htm>. Brazil. Access in: 16 set. 2008.

Brazilian Government, Lei Nº 4.771, de 15 de setembro de 1965. Institui o novo Código Florestal. Available in: <www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L4771.htm>. Brazil. Access in: 16 set. 2008.

Brazilian Government, Portaria do Ministério do Interior n. 323, de 29 de novembro de 1978. Proíbe lançamento de vinhoto em coleções de água. Brazil . Available in: <www.udop.com.br/download/legislacao_vinhaca.pdf>. Access in: 16 set. 2008.

Brazilian Government, Resolução CONAMA n. 001 de 23 de janeiro de 1986. Estabelecer as definições, as responsabilidades, os critérios básicos e as diretrizes gerais para uso e implementação da Avaliação de Impacto Ambiental como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente. Available in: <www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>. Brazil. Access in: 16 set. 2008.

Brutsaert W. (1984) Evaporation into the atmosphere - theory, history and application. Reidel Publishing Company, 300 p.

BSI – Better Sugarcane Initiative. 2009. Informações disponíveis em www.bettersugarcane.org

Calder I. R. (1977) A model of transpiration and interception loss from a spruce forest in Plynlimon, central Wales. Journal of Hydrology 33: 247-265.

CALIFORNIA ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY AIR RESOURCES BOARD (CARB). Proposed regulation to implement the Low Carbon Fuel Standard, Staff report: initial statement of reasons. Volume I. Sacramento, March 2009.

CAMARGO, A.M.P. de Substituição regional entre as principais atividades agrícolas no estado de São Paulo. Escola Superior de Agricultura Luis de Queiros, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1983. 236p. Dissertação (Mestrado)

CAMARGO, O.A. de.; VALADARES, J.M.A.S. DA.; BERTON, R.S.; SOBRINHO T.J. Aplicação de vinhaça no solo e efeito no teor de nitrogênio, fósforo e enxofre inorgânicos e no de alguns metais pesados. Boletim Técnico IAC. Instituto de Agronomia de Campinas, Campinas, SP, (8), 15p. 1987.

CAMARGO, O.A. de.; VALADARES, J.M.A.S. DA.; GERALDI, R.N. Características químicas e físicas de solo que recebeu vinhaça por longo tempo. Boletim Técnico IAC. Instituto de Agronomia de Campinas, Campinas, SP, (76), 30p.1983.

CAMHI, J.D. Tratamento do vinhoto, subproduto da destilação de álcool. Brasil Açucareiro. Rio de Janeiro. v. 94, n.1, p. 18-23, 1979.

Campos, B.C. 2006. Dinâmica do carbono em latossolo vermelho sob sistemas de preparo de solo e de culturas. Santa Maria, RS. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Santa Maria.

CAMPOS, D.C. de. Potencialidade do sistema de colheita sem queima da cana-de-açúcar para o seqüestro de carbono. Piracicaba, 2003. 103p. Tese(Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

CANASAT. Mapeamento da cana via imagens de satélite de observação da terra. Disponível em: <<http://www.dsr.impe.br/mapdsr/data/artigos/pdf>. Acesso em: out. de 2006.

CANELLAS, L.P.; VELLOSO, A.C.X.; MARCIANO, C.R.; RAMALHO, J.F.G.P.; RUMJANEK, V.M.; REZENDE, C.E.; SANTOS, G.A. Propriedades químicas de um cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhico e adição de vinhaça por longo tempo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, p.935-944, 2003.

CANTARELLA, H. Adubação nitrogenada em sistema de cana crua. *Revista STAB*, v.16, n.4, p.21-22. 1998.

CANTARELLA, H., TRIVELIN, P.C.O., VITTI, A.C. Nitrogênio e enxofre na cultura da cana de açúcar. p. 355-412. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S.; VITTI, G.C. (Ed.): *Nitrogênio e Enxofre na agricultura brasileira*. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute - IPNI, 2007, 722p.

CANTARELLA, H.; ROSSETTO, R. ; BARBOSA, W. ; PENNA, M. J; RESENDE, L.C.L. . Perdas de N por volatilização da amônia e resposta da cana-de-açúcar à adubação nitrogenada em sistema de colheita de cana sem queima prévia. In: 7. Congresso Nacional da STAB. Londrina: Anais da STAB, 7:82-87, 1999.

CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P.C.O.; CONTIN, T.L.M.; DIAS, F.L.F.; ROSSETTO, R.; MARCELINO, R.; COIMBRA, R.B.; QUAGGIO, J.A. Ammonia volatilisation from urease inhibitor-treated urea applied to sugarcane trash blankets. *Scientia Agricola*, 65:397-401, 2008.

CARB – California Air Resources Board. 2009. Proposed Regulation to Implement the Low Carbon Fuel Standard. Volume I: Staff Report: Initial Statement of Reasons. California Environmental Protection Agency. Sacramento.

Carmo, V.B. 2008. "Uso da água na produção de etanol de cana-de-açúcar – fase industrial". Apresentação em 24/Nov/2008. Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP.

CASLER, S. D. (2004). Input-Output Analysis. In "Encyclopedia of Energy" (Cutler J. Cleveland, ed.), vol. 3, pp. 459–474. Elsevier, San Diego, CA.

Castilho, C. P. G. Interceptação de Chuvas na Cultura de Cana-de-açúcar (*Saccharum Officinarum* ssp.), SP, Campinas, 2000, Dissertação de Mestrado – Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP.

Castilho, C. P. G. Simulação Hidrológica de uma Bacia Rural utilizando o Modelo TOPMODEL Acoplado a um Modelo de Interceptação de Chuva pela Cobertura Vegetal, Campinas, 2004, Tese – Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP.

CASTRO, P.R.C. Maturadores químicos em cana-de-açúcar. In. SEMANA DA CANA-DE-AÇÚCAR DE PIRACICABA, 4. Piracicaba, 1999. ANAIS. *Saccharum*, v.1. p.12-16, 1999.

CEO – Corporate Europe Observatory. 2009. Sugarcane Ethanol: a sweet solution for Europe's fuel addiction? Texto disponível em www.corporateeurope.org

CEPA/ARB, 2009, Proposed Regulation to Implement the Low Carbon Fuel Standard, Vol. I, California Environmental Protection Agency/Air Resources Board, Staff Report, 374 p.

CERRI, C. C. ; BERNOUX, M. ; CERRI, C.E.P. ; FELLER, C. . Carbon cycling and sequestration opportunities in South America: the case of Brazil.. Soil Use and Management, v. 20, p. 248-254, 2004.

Cerri, C.C. 1986. Dinâmica da matéria orgânica do solo no agrossistema cana-de-açúcar. Piracicaba. Piracicaba, 1986. Tese (livre docência). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

Cerri, C.C., 1986. Dinâmica da matéria orgânica do solo no agrossistema cana-de-açúcar. Tese (livre docência). Escola Superior de Agricultura 'Luiz de Queiroz', Piracicaba, SP, Brazil.

CERRI,C.C; CERRI, C.E.P. Agricultura e aquecimento global. Boletim Informativo – Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa: UFV, v.31, n.31, p.40-44, 2007.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Norma Técnica P4.231 –Vinhaça-Critérios e Procedimentos para Aplicação no Solo Agrícola. São Paulo: CETESB,Janeiro, 2005.

CETESB, 2009. Relatório de qualidade do ar no estado de São Paulo 2008. São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB). 340 p.

CFS Demonstrating Sustainability, Bioenergy Research, Ottawa, 2004,

CGEE, Estudo sobre as possibilidades e impactos da produção de grandes quantidades de etanol visando à substituição parcial de gasolina no mundo – Fase 2. Nipe/Unicamp e Centro de Gestão de Estudos Estratégicos, Campinas, 2007.

Chipp, H, 2009. Desafios para operação em um sistema com maior participação térmica. Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). Fórum Matriz energética e segurança do sistema elétrico nacional. Rio de Janeiro, Agosto de 2009.

Choudhury B. J. (1987) Relationship between vegetation indices, radiation absorption and net photosynthesis evaluated by a sensitivity analyses. Remote Sensing of Environment, 22: 209-233.

Choudhury B. J., Idso S. B. (1985) An empirical model for stomatal resistance of field-grown wheat. Agricultural and Forest Meteorology 36: 65-82.

Choudhury B. J., Monteith J. L. (1986) Implication of stomatal response to saturation deficit for the heat balance of vegetation. Agricultural and Forest Meteorology 36:215-225.

CNA, Documentos sobre o Consecana, Confederação Nacional da Agricultura e Pecuária do Brasil, 2009, disponível em <http://www.cna.org.br/site/desvio.php?ag=0&a=14615>, consultado em agosto de 2009

COLETI, J.T.; LORENZETTI, J. M.; FREITAS, P.G.; CARBINI, J.L. Uso de produtos de compostagem em comparação com torta-de-filtro na adubação da cana planta e

seus efeitos no soca, em solos de alta e baixa fertilidade natural. STAB, Açúcar álcool e subprodutos. Piracicaba, vol.4, n. 3. pág. 33-39. 1986.

Comissão de Fertilidade de solo – RS/SC, Recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, 3 ed. Passo Fundo, 1994, 224p.

Committee on Water Implications of Biofuels Production in the United States. 2008. Water Implications of Biofuels Production in the United States. The National Academies Press, 88p.

Companhia Nacional De Abastecimento – CONAB. 2008. Perfil do Setor do Açúcar e do Álcool no Brasil. Brasília: Conab, 2008. Available in <<http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/perfil.pdf>>. Access in 18 Set. 2008.

CONAB, 2008. Perfil do Setor do Açúcar e do Álcool no Brasil, Situação Observada em Novembro de 2007. Abril de 2008. Companhia Nacional de Abastecimento, Brasília.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente Resolução No 375, de 29 de agosto de 2006.

Coopersucar, São Paulo State Cooperative of Sugar and Alcohol producers. 1985. "Battle against pollution: Evaluation to the Copersucar program". Piracicaba, SP.

Copersucar, 1995. Inventário de resíduos sólidos na agroindústria sucroalcooleira – Projeto Nº 9301623. Cooperativa de Produtores de Cana, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo LTDA. RT-705-94/95.

Cortez, L.A.; Magalhães, P.S.G; Happi, J. Principais subprodutos da agroindústria canavieira e sua valorização. *Revista Brasileira de Energia*, Vol.2, Nº. 2, 1992.

COSTA, M.C.G.; VITTI, G.C.; CANTARELLA, H. Volatilização de N-NH₃ de fontes nitrogenadas em cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27:631-637, 2003.

Cotter, J.L., Chinn, M.S. and Grunden, A.M. 2009. Ethanol and acetate production by *Clostridium ljungdahlii* and *Clostridium autoethanogenum* using resting cells. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, vol. 32.

COUCIL OF THE EUROPEAN UNION, Directive of the European parliament and of the council on the promotion of the use of energy from renewable sources. Dossier interinstitutionnel 2008/0016 (COD). Brussels: December 2008.

Cramer et al., 2006, Criteria for sustainable biomass production, Report of the Project Group "Sustainable Production of Biomass", 39 p.

Cramer, J et al. 2007. Testing Framework for Sustainable Biomass – Final report from the project group Sustainable Production of Biomass. Amsterdam; 72.

CRUTZEN, P.J.; MOSIER, A.R.; SMITH, K.A.; WINIWARTER, W. N₂O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 8, 389-395, 2008.

CRUZ, R.L.; RIGHETTO, A.M.; NOGUEIRA, M.A. Experimental investigation of soil and groundwater impacts caused by vinasse disposal. In: International Seminar of Pollution, Protection and Control of Ground Water, Proceedings. Porto Alegre, RS, Brazil, p.66-74. 1990

CTC, 2009. Centro de Tecnologia Canavieira. www.ctc.com.br.

CTC, Programa de Controle Mútuo Agrícola e Industrial, Centro de Tecnologia Canavieira, Piracicaba, 2006.

CTC, Programa de Controle Mútuo Industrial, Centro de Tecnologia Canavieira, Piracicaba, 2008.

CUNHA, A. R.C., et al. Effect of irrigation with vinasse and the dynamic of its constituents in the soil. I: Physical and chemical aspects. In: P.R.C. Oliveira & S.A.S. Almeida. Use of soil treatment and final disposal of effluent and sludge. Proceedings. 1986. Salvador, Bahia, Brasil.

CUNHA, M. P. (2005). Inserção do setor sucroalcooleiro na matriz energética do Brasil: uma análise de insumo-produto. Dissertação de mestrado, Unicamp.

CUNHA, M. P., PEREIRA, J. T.V. In: Estimativa da energia incorporada na demanda final da economia brasileira em 2005. XII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA (CBE), 2008. Rio de Janeiro – RJ.

D'andrea, A.F.; Silva, M.L.N.; Curi, N. & Guilherme, L.R.G. 2004. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. In: Pesquisa agropecuária. brasileira., Brasília, v.39, n.2, p.179-186, fev. 2004.

DAEE. Projeto FEHIDRO "Plano Estadual de Recursos Hídricos 2004/07 e Regulamentação da Cobrança pelo Uso dos Recursos Hídricos". Disponível em <http://www.dae.sp.gov.br/cgi-bin/Carrega.exe?arq=/cobranca/index.htm>

Datar, R.P., Shenkman, R.M., Cateni, B.G., Huhnke, R.L. and Lewis, R.S., Fermentation of biomass-generated producer gas to ethanol, *Biotechnology and Bioengineering*, 2004,86(5).

De Dominicis, A. 2009. Sustainability criteria for biofuels in the EU legislation. European Commission: DG Environment.

Dedini, 2008. Dedini lança usina de açúcar e etanol produtora de água. Press release. Dedini S.A. Indústria de Base. Piracicaba.

Department of Transport. 2008. Carbon and Sustainability Reporting Within the Renewable Transport Fuel Obligation. Requirements and Guidance. Government Recommendation to the Office of the Renewable Fuels Agency. London.

Department of Transport. 2008b. Summary of responses to consultation on RTFO's carbon and sustainability reporting requirements. London.

DIAS NETO, A. F. ; MAGALHÃES, P. S. G. ; BRAUNBECK, O. A. . Aprimoramento de mecanismo dosador de rebolos para o plantio mecanizado de cana-de-açúcar..

Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande, João Pessoa - PB, v. 5, n. 3, p. 546-553, 2001.

DOBEREINER, J. Nitrogen-fixing bacteria of the genus *Beijerinchia* Derx in the rhizosphere of sugarcane. *Plant and Soil*, 15:211-217, 1961.

DONZELLI, J. L. Cana-de-açúcar no Brasil – pesquisa, desenvolvimento, produção e sustentabilidade. Workshop on Impact of New Technologies on the Sustainability of the Sugarcane/Bioethanol Production Cycle. CTBE, Campinas, SP, 14 e 15 de maio, 2009. Disponível em: <http://www.bioetanol.org.br/workshop3>. Acesso em setembro de 2009.

DONZELLI, J.L. Uso de fertilizantes na cana-de-açúcar no Brasil. In: MACEDO, I.C. (Org.) *A energia da cana-de-açúcar*, 2ª. ed. São Paulo: Única, 2007, 246p.

Donzelli, Jorge Luis. 2005. In: Macedo, Isaias de Carvalho; Several Authors, 2005. *Sugarcane's Energy – Twelve studies on Brazilian sugarcane agribusiness and its sustainability*. São Paulo.

Duarte Júnior, J. B.; Coelho F. C. A cana-de-açúcar em sistema de plantio direto comparado ao sistema convencional com e sem adubação. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, v.12, n.6, p.576–583, 2008.

DuPont BioButanol, 2008, Disponível em: http://www2.dupont.com/Biofuels/en_US/index.html, acessado em maio de 2009

EC, 2009, Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009.

EES, Engineering Equation Solver, 2007. <http://www.mhhe.com>

EIJSBERG, RICHARD. Ethanol Production: The current situation – Technical design and economic evaluation of modern ethanol factory located in Brazil. In: Campinas; October 2006. Master Thesis of Technical University of Delft (TUD), Holland.

ELIA NETO, A & NAKAHODO, T. Caracterização físico-química da vinhaça projeto nº 9500278. Relatório Técnico da Seção de Tecnologia de Tratamento de Águas do Centro de Tecnologia Copersucar, Piracicaba, 1995. 26p.

Elia Neto, A, 2008. Água na indústria da Cana-de-açúcar, In: Workshop Projeto PPP: "Aspecto Ambientais da Cadeia do Etanol de Cana-de-açúcar", Painel I São Paulo. 13p.

ELIA NETO, A. Captação e uso de água no processamento da cana-de-açúcar. In MACEDO, I.C. (org). *A energia da cana-de-açúcar - doze estudos sobre a agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e sua sustentabilidade*. 1ª ed. São Paulo: Berlinds& Vertecchia: Unica, 2005.

ELIA NETO, A. Uso e reuso de água na indústria canavieira. Workshop on Impact of New Technologies on the Sustainability of the Sugarcane/Bioethanol Production Cycle. CTBE, Campinas, SP, 14 e 15 de maio, 2009. Disponível em: <http://www.bioetanol.org.br/workshop3>. Acesso em setembro de 2009.

Elia Neto, André. 2008. "Water in the Sugar Cane Industry". Workshop:Project of Research Program in Public Policies, Enviroment Aspects of the Ethanol from Sugar Cane Chain. São Paulo.

Ensinas A. V.. "Integração térmica e otimização termoeconômica aplicadas ao processo industrial de produção de açúcar e etanol a partir da cana-de-açúcar", Tese de doutorado, Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 207p, 2008.

EPA – Environmental Protection Agency. 2009a. EPA proposes new regulations for the National Renewable Fuel Standard Program for 2010 and beyond. Disponível em www.epa.gov.

EPA – Environmental Protection Agency. 2009b. Draft Regulatory Impact Analysis: Changes to Renewable Fuel Standard Program. Disponível em www.epa.gov.

EPA – Environmental Protection Agency. 2009b. EPA Lifecycle Analysis of Greenhouse Gas Emissions from Renewable Fuels. Disponível em www.epa.gov.

EPE - 2007 – Empresa de Pesquisa Energética, "Balanço Energético Nacional (BEN) 2007 – ano base 2006". (www.epe.gov.br – acesso em 21/03/2008)

EPE, Plano Nacional de Energia 2030, Empresa de Planejamento Energético, Ministério de Minas e Energia, Rio de Janeiro, 2007.

EPE/MME, 2009a. Balanço Energético Nacional 2009 – Resultados Preliminares, Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Ministério de Minas e Energia, Brasília, DF.

EPE/MME, 2009b. Plano Decenal de Expansão de Energia 2008 / 2017, Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Ministério de Minas e Energia, Brasília, DF.

EPFL, The roundtable on sustainable biofuels: ensuring biofuels deliver on their promise of sustainability, Energy Center, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, 2008. disponível em <http://cgse.epfl.ch/page65660.html>, acessado em abril de 2008.

ESPIRONELLO, A. RAIJ, B. Van; PENATTI, C.P. CANTARELLA, H. MORELLI, J.L.; ORLANDO FILHO, J.; LANDELL, M.G.A.; ROSSETTO, R. Cana-de-açúcar. In RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.C. (coord.) Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônômico & Fundação IAC, 1996. p.237-239. (Boletim 100).

ESPIRONELO, A.; CANTARELLA, H.; IGUE, T.; NELLI, E.J.; COLETI, J.T.; BOVI, V.; RAMOS, M.T.B. Aplicação de aquamônia, uréia, nitrato de amônio e cloreto de potássio em cinco níveis, em três socas de cana-de-açúcar. In: 4. Congresso Nacional da STAB. Olinda, Anais da STAB, 4:94-102, 1987.

European Parliament. 2008. European Parliament legislative resolution of 17 December 2008 on the proposal for a directive on the promotion of the use of energy from renewable sources. Disponível em

Fancelli, A. L.; Dourado Neto, D., 2004. Produção de milho. 2. ed. Guaíba: Agropecuária. 360p. Brazil.

FAPESP Brazil world leader in sugarcane and ethanol knowledge and technology (FAPESP's contribution), The State of São Paulo Research Foundation, São Paulo, 2007.

FAPRI – FOOD AND AGRICULTURAL POLICY RESEARCH INSTITUTE. Models. Ames: FAPRI-CARD, 2008. Available at: <http://www.fapri.iastate.edu/models/>

FARGIONE, J., HILL, J., TILMAN D., PLASKY, S., HAWTHORNE, P., Land Clearing and the Biofuel Carbon Debt. Available at <www.sciencexpress.org / 7 / Page 1 / 10.1126/science.1152747>. Access in February 2008.

FARONI, C.E.; VITTI, A.C.; GAVA, G.J.C.; MANZONI, C.S.; PENATTI, C.P.; TRIVELIN, P.C.O. Degradação da palha (15N) de cana-de-açúcar em dois anos consecutivos (Compact disc). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. Anais... Ribeirão Preto: UNESP/SBCS, 2003.

Farquhar G. D., Cowan I. R. (1987) Stomatal Function. Stanford Universite Press, Stanford, California, 452 p.

Farquhar G. D., Wong S. C. (1978) An empirical model of stomatal conductance. Aust. J. Plant Physiol. 11: 191-210.

FEIJÓ, et al., "Contabilidade Social: O Novo Sistema de Contas Nacionais do Brasil". Rio de Janeiro: Editora Campus, 2001

Fernández Parra M. A., "Metodologia da análise exergoeconômica do processo de fabricação de açúcar", Tese de doutorado, Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 173p, 2003.

Ferreira, E.S.; Monteiro, A.O. 1987. "Efeitos da aplicação da vinhaça nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo", Boletim Técnico Copersucar, vol. 36, São Paulo, pp.3-7.

Ferreira, L. Simulação Hidrológica utilizando o Modelo o TOPMODEL em Bacias Rurais – Estudo de Caso na Bacia do Ribeirão dos Marins Seção Monjolinho/SP, Campinas, 2004, Tese – Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP.

FIELD, C.B.; CAMPBELL, J.E.; LOBELL, D.B. Biomass energy: the scale of the potential resource. Trends in Ecology and Evolution 23: 65-72, 2007.

Finguerut, J. Processo Fermentativo, Position Paper para o I Workshop Tecnológico sobre obtenção de etanol", Projeto PPPP Etanol, Lorena, 2006.

FIXEN, P. Reservas mundiais de nutrientes dos fertilizantes. International Plant Nutrition Institute (IPNI). Piracicaba: Informações Agronômicas, 126:8-14, 2009.

Forest Service/USDAA Report to Facilitate Discussion of Indicators of Sustainable Forest Management, 1996, disponível em http://www.fs.fed.us/land/sustain_dev, consultado em julho de 2008

Fornasieri F. & Domingos, V.I., 1978. Nutrição e adubação mineral do algodoeiro. In: Ministério da Ciência e Tecnologia - MCT. Emissões de gases de efeito estufa na queima de resíduos agrícolas. Brasília/DF – MCT, 2002. Available in

<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/17341.html>. Access in 18 Set. 2008.

Fortin J. P., Villeneuve J. P., Benoit J., Blanchette C., Montminy M., Proulx H., Moussa R., Boucquillon C. (1990) Hydrotel 2.1 - User's guides. Université du Québec, Institut National de la Recherche Scientifique, 160 p.

FRANCO, H. C. J. ; VITTI, André Cesar ; FARONI, Carlos Eduardo ; CANTARELLA, H. ; TRIVELIN, Paulo Cesar Ocheuze . Estoque de nutrientes em resíduos culturais incorporados ao solo na reforma de áreas com cana-de-açúcar. STAB. Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil, v. 25, p. 32-36, 2007

FREIRE, W.J.; CORTEZ, L.A.B. Vinhaça de cana-de-açúcar. Ed. Agropecuária, Guaíba. 2000. 203p.

FREITAS V.P. Águas – aspectos jurídicos e ambientais, Curitiba: Juruá, 2008.

FRENEY, J.R.; DENMEAD, O.T.; WOOD, A.W.; SAFFIGNA, P.G.; CHAPMAN, L.S.; HAM, G.J.; HERNEY, A.P.; STEWART, R.L. Factors controlling ammonia loss from trash covered sugarcane fields fertilized with urea. Fertilizer Research 31:341-349, 1992.

Friends of Earth. 2005. The oil for ape scandal. Disponível em http://www.foe.co.uk/resource/reports/oil_for_ape_full.pdf

Galdos M. V.; Cerri, C. C.; Cerri, C. E. P.; Paustian, K.; Antwerpen, R. Van Simulation of Soil Carbon Dynamics under Sugarcane with the CENTURY Model. SSSAJ: Volume 73: Number 3 • May–June 802-811, 2009.

GALDOS, M.V. Dinâmica do carbono do solo no agrossistema cana-de-açúcar. Piracicaba, 2007. 101p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

GARCIA, S.S.; ALANIS, L.B.; DIAZ, D.R.; LAGUNA-ESPINOZA, L. del C. Caña de Azucar hacia um manejo sustentable. México Colégio de Postgraduados. Campus Tabasco, 2003. 395p.

GASQUES, J. G.; BASTOS, E. T. & SILVA, L. F. da. Projeções do Agronegócio - Brasil 2008/09 a 2018/2019. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - Assessoria de Gestão Estratégica. Brasília, DF, fevereiro de 2009. Disponível em: http://www.agricultura.gov.br/pls/portal/docs/PAGE/MAPA/MENU_LATERAL/AGRICULTURA_PECUARIA/PROJECOES_AGRONEGOCIO/PROJECOES%202008-2019%20-%20APRESENTACAO.PDF.

GBEP – Global Bioenergy Partnership. 2009. Disponível em www.globalbioenergy.org.

GBEP, 2008, A Review of the Current State of Bioenergy Development in G8+5 Countries, Global Bioenergy Partnership Report, 302 p.

Girard G., Ledoux E., Villeneuve J. P. (1981) Le modèle couple, simulation des écoulements de surface et souterrains sur un système hydrologique. Cahier ORSTOM, série hydrologie, vol. XVIII, n° 4: 195-279.

GLOEDEN, E.; CUNHA, R.C.A.; FRACCAROLI, M.J.B.; CLEARY, R.W. The behavior of vinasse constituents in the unsaturated and saturated zones in the Botucatu aquifer recharge area. In: International Seminar of Pollution, Protection and Control of Ground Water, Proceedings, Porto Alegre, RS, Brazil, p.225-235.1990

GLORIA N.A. Utilização agrícola da vinhaça. Brasil Açucareiro, Rio de Janeiro, v. 86, n.5, p. 11-17, 1975.

GLÓRIA, N.A.; MAGRO, J.A. Utilização agrícola de resíduos da usina de açúcar e destilaria na Usina da Pedra. In: Seminário Copersucar da agroindústria açucareira, 4., Águas de Lindóia, 1976. Anais. São Paulo, Copersucar, 1977. p. 163-180.

GLÓRIA, N.A.; MATTIAZZO, M.E.; MORAES, C.J. Avaliação da fuligem como fonte de Potássio e fósforo para vegetais. . In: Congresso Nacional da Stab – Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil. 5º. 1993. Águas de São Pedro. Anais. Águas de São Pedro, 1993 a. p. 56-60.

GLORIA, N.A.; ORLANDO FILHO, J. Aplicação da vinhaça como fertilizante. Boletim técnico. PLANALSUCAR, Piracicaba, 38p. 1983.

GLÓRIA, N.A.; PAGGIARO, C.M.; ALBUQUERQUE, F.C. Utilização da fuligem na fertilização da cana-de-açúcar. . In: Congresso Nacional da Stab – Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil. 5º. 1993 b. Águas de São Pedro. Anais. Águas de São Pedro, 1993 b. p. 87-90.

GLÓRIA, N.A.; PAGGIARO, C.M.; MATTIAZZO, M.E.; OLIVIERA, F.C. Torta de filtro e fuligem – manejo da mistura e emprego na adubação de plantio da cana-de-açúcar. In: Congresso Nacional da Stab – Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil. 7º. 1999. Londrina. Anais. Londrina, 1999. p. 114-117.

Gnansounou, E., L. Panichelli, A. Dauriat and J.D. Villegas, 2008. Accounting for indirect land-use changes in GHG balances of biofuels: review of current approaches. École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Working Paper 437.101.

Goldemberg, J. e Coelho, S. Renewable Energy - Traditional biomass vs Modern Biomass, Energy Policy, 32/6, pp. 711-714, 2003.

Goldemberg, J., 2007. Ethanol for a Sustainable Energy Future. Science, v. 315, p. 808-810.

Goodland, R., Daly, H.E., El Serafy, S. (ed.), 1992, Population, Technology, and Lifestyle: The Transition to Sustainability, Island Press, New York (p. 112)

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE Relatório Ambiental Estratégico Etanol Verde disponível em <http://homologa.ambiente.sp.gov.br/etanolverde> acessado em junho de 2009.

Green, R. Macdonald, B.C.T. Melville, M.D. Waite, T.D. Hydrochemistry of Episodic Drainage Waters Discharged From an Acid Sulfate Soil Affected Catchment. Journal of Hydrology. 325, 356-375, 2006.

GUEDES, S.N.R. Verticalização da agroindustria canavieira e a regulação fundiária no Brasil: Uma comparação internacional e um estudo de caso. – Universidade de Campinas, 2000. 238p. Tese (Doutorado)

GUILHOTO, J. J. M., E U. A. SESSO (2005). "Estimação da matriz insumo-produto a partir de dados preliminares das contas nacionais". *Economia Aplicada* 9 (2) 277–299.

HARTEMINK, A.E. Sugarcane for bioethanol: soil and environmental issues. *Advances in Agronomy*, 99:125-182, 2008.

Hassuani, S.J.; Leal, M.R.L.V.; Macedo, I.C. Biomass power generation Sugar cane bagasse and trash Published by: PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento CTC - Centro de Tecnologia Canavieira. Piracicaba, pp 206. 2005.

HEFFER, P. Assessment of fertilizer use by crop at the global level: 2007/07 – 2007/2008. Paris: International Fertilizer Industry Association (IFA). 2009. 12 p. (Ag.Com 09/28; Abril 2009).

HEFFER, P.; PRUD'HOMME. Medium-term outlook for global fertilizer demanda, supply, and trade 2008-2012. Summary Report. Paris: International Fertilizer Industry Association (IFA), 2008. 9 p. (Report A/08/87b, Julho 2008).

HERNANDEZ, F.B.T. Irrigação aumenta produtividade e qualidade da cana, http://www.agr.feis.unesp.br/rcn_abril 2006. , acesso em 27/01/2007.

Hill, J.; Nelson, E.; Tilman, D.; Polasky, S.; Douglas, T., 2006. Environmental, economic, and energetic costs and benefits of biodiesel and ethanol biofuels. *PNAS*, v. 103, n. 30, p. 11206–11210.

Hodson, P. 2009. EU Renewables Fuel Legislation. European Commission ...

HOEFSLOOT, G.; TERMORSHUIZEN, A.JL; WATT, D.A.; CRAMER, M.D. Biological nitrogen fixation is not a major contributor to the nitrogen demand of a commercially grown South African sugarcane cultivar. *Plant and Soil*, 277:85-96, 2005.

HOFFMANN, R.; OLIVEIRA, F. C. R. O emprego e a renda no setor sucroalcooleiro no Estado de São Paulo, 2009 (no prelo).

HOLT, M. T. A linear approximate acreage allocation model. *Fargo: Journal of Agricultural and Resource Economics*. v. 24, n. 2, p. 383-397, 1999.

Hunter, H.M. Walton, R.S. Land-Use Effects on Fluxes of Suspended Sediment, Nitrogen and Phosphorus From a River Catchment of the Great Barrier Reef, Australia. *Journal of Hydrology*. 356, 131-146, 2008.

IBGE - 2007 – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, "Contas Nacionais". (www.ibge.gov.br – acesso em 10/03/2008)

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Agropecuário de 2006, acesso pelo sistema Sidra, <http://www.sidra.ibge.gov.br/>.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Agrícola Municipal, vários anos, acesso pelo sistema Sidra, <http://www.sidra.ibge.gov.br/>.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. PNAD- Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios, vários anos.

IBGE, 2009 Levantamento Sistemático da Produção Agrícola – Safra 2009. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/....._200905comentarios.pdf> Acesso em: 10 jun. de 2009.

IEA – International Energy Agency. 2004. Biofuels for transport—an international perspective. Paris.

IEA - Task 29, Bioenergy definitions, 2007, disponível em www.aboutbioenergy.info/sustainability.html, consultado em julho de 2007

IEA Bioenergy Potential contribution of bioenergy to the world's future energy demand, IEA Bioenergy Task 40, International Energy Agency, Paris, 2007,

IEA/CATI – SAAESP 2008. Área cultivada e produção: Cerrado, Cerradão, Mata Natural. In: Banco de Dados do Instituto de Economia Agrícola. www.iea.sp.gov.br. São Paulo.

IEL/SEBRAE, 2005, O novo ciclo da cana: estudo sobre a competitividade do sistema agroindustrial da cana-de-açúcar e prospecção de novos empreendimentos, Instituto Euvaldo Lodi/Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas, Brasília.

IGREJA, A. C. M.; MARTINS, S.S.; ROCHA, M.B.; BLISKA, F. M. de M.; TIRADO, G. Fatores locacional e tecnológico na competição cana versus pecuária para as regiões geográficas brasileiras. *Revista de Economia Agrícola*, v.55, p.89-103, 2008.

INMETRO – National Institute of Metrology, Standardization and Industrial Quality. 2008. Regulamento de Avaliação da Conformidade para Etanol Combustível. Rio de Janeiro.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2008b. Censo Agropecuário de 2008. Available at: www.sidra.ibge.gov.br (accessed in July 10th, 2008).

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, (IBGE), 2008a. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. Available at: www.sidra.ibge.gov.br (accessed in July 10th, 2008).

Instituto de Economia Agrícola – IEA. 2008. www.iea.sp.gov.br. Brazil.

Instituto Nacional de pesquisas espaciais (INPE), 2008. Available at: www.inpe.br.

International Energy Agency, 2004-2006. United States. Available at: www.iea.org.

Itaú Corretora, 2007. Cosan: Céu Carregado, Tese de investimentos. São Paulo.

Janini D. A., Análise operacional e econômica do sistema de plantio mecanizado de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). Dissertação de mestrado apresentada na ESALQ/USP, Piracicaba. 149p. 2007.

Jank M. S.; Rodrigues A. P. Estimativa da safra 2009/2010 São Paulo, SP, abril de 2009.

Jantalia, C.P. 2005. Estudo de sistemas de uso do solo e rotações de culturas em sistemas agrícolas brasileiros: dinâmica de nitrogênio e carbono no sistema solo –

planta – atmosfera. 2005. Tese (doutorado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Jarvis P. G. (1976) The interpretation of the variation in leaf water potential and stomatal conductance found in canopies in the field. Philosophical Transaction Royal Society of London - Physical Sciences and Engineering 273: 593-610.

Jarvis P. G., McNaughton K. G. (1986) Stomatal control of transpiration: Scaling up from leaf to region. Advance in Ecological Research, 15: 1-49.

Jarvis P. G., Morison J. I. L. (1981) Stomatal control of transpiration and photosynthesis. In: Stomatal physiology ed. Jarvis P. G. e Mansfield T. A. - Seminar series 8, Cambridge University Press.

Jensen, C.R.C and G.T.Schumann (2001). "Implementing a zero effluent philosophy at a cane sugar factory". Proceeding of the Congress of the International Society of Sugar Cane Technologists – September 2001, Brisbane, Australia.

JOINT RESEARCH CENTRE OF THE EUROPEAN COMMISSION (JRC) Workshop on Marginal yields and land allocation in ILUC emissions estimates. European Commission - DG Environment. Brussels, 22nd of July, 2009.

Jones H. G. (1992) Plants and microclimate. Segunda edicao. Cambridge University Press, 428 p.

JORNAL CANA 2004. Disponível em www.jornalcana.com.br, acesso em 12/01/2007.

KEENEY, ROMAN; HERTEL, THOMAS W. The indirect land use impacts of United States biofuel policies: the importance of acreage, yield, and bilateral trade responses. Amer. J. Agr. Econ. 91(4) (November 2009): 895–909.

KENNEDY, I.R.; CHOUDHURY, A.T.M.A.; KECSKÉS, M.L. Non-symbiotic bacterial diazotrophs in crop-farming systems: can their potential for plant growth promotion be better exploited? Soil Biology & Biochemistry, 36:1229-1244, 2004.

Kesserlingh, S.M. 2002. "Minimization and reuse of waters in sugar-ethanol industries: Case Study". Master Thesis. São Carlos Engineering School, University of São Paulo.

KUNZ, A.; OLIVEIRA, P. A. V. De, Uso de Biodigestores para Tratamento de Resíduos Animais. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2008. 2p. (Folder)

Lardy, L.C., M. Brossard, M.L.L. Assad and J.Y. Laurent, 2002. Carbon and phosphorus stocks of clayey ferrassols in Cerrado native and agroecosystems, Brazil. Agriculture Ecosystems and Environment 92: 147-158.

Lardy, L.C.; Brossard, M.; Assad, M.L.L. & Laurent, J.Y. 2002. Carbon and phosphorus stocks of clayey ferrassols in Cerrado native and agroecosystems, Brazil. Agriculture Ecosystems and Environment, 92: p. 147-158, 2002. In: Aduan, R.E. 2003. Respiração de solos e ciclagem de carbono em cerrado nativo e pastagem no Brasil central. Brasília. Tese (doutorado) – Universidade de Brasília.

Laurini R., Milleret-Raffort F. (1993) Les bases de données en géomatique. Traité de nouvelles technologies - séries géomatiques. Hermes, Paris, 340 p.

LEAL, J.R.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; VELLOSO, A.C.X.; ROSSIELLO, R.O.P. Potencial redox e pH: variações em um solo tratado com vinhaça. R. bras. Ci. Solo. Campinas, 7: 257-61, 1983.

Leal, M.R.L.V., Macedo, I.C., 2004. Evolução tecnológica dos sistemas de geração de energia nas usinas de açúcar e álcool. Biomassa & Energia, v.1, n.3, p.245-253.

LEGENDRE, B.L. Sugarcane Production Handbook 2001. Baton Rouge: Louisiana State University Agricultura Center, Louisiana Cooperative Extension. 2001. 54 p. (Pub. 2859).

Leite, H.T.C. 2008. "A sustentabilidade e o uso da água na produção do etanol". Apresentação em 24/Nov/2008. Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP.

LEME, E.J.A.; SILVA, V.C.; HENRIQUE, J.L.P; MICKLOS, J.E. O uso do auto-propelido na aplicação de vinhaça por aspersão: viabilidade técnico-ecômica. Piracicaba, IAA Planalsucar, 1987. 65p. Boletim.

Leontief, Wasily, "Input - Output Economics", Second Edition, Oxford University Press, Oxford, 1986,

LOPES C. L. V. Gerenciamento de recursos hídricos e o processo de internalização da variável água nas indústrias. Campinas: Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, 2006. Tese (Mestrado).

LOPES, A.S.; DAHER, E.; BASTOS, A.R.R. Potencial dos recursos naturais para atender a atual e futura demanda da indústria nacional de fertilizantes e corretivos. Fortaleza, CE, 32º. Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Viçosa, Anais do Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2009. 22p. (CD Rom).

Lozano M. A., Valero A., "Theory of the exergetic cost", Energy, v. 18, n. 9, pp. 939-960, 1993.

Luca E. F.; Feller, C.; Cerri C.C.; Barthès, B.; Chaplot, V.; Campos D. C.; Manechini, C. Avaliação de atributos físicos e estoques de carbono e nitrogênio em solos com queima e sem queima de canavial. R. Bras. Ci. Solo, 32:789-800, 2008.

LUCA, E.F. de. Matéria orgânica e atributos do solo em sistemas de colheita com e sem queima da cana-de-açúcar. Piracicaba, 2002. 101p. Tese(Doutorado) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

Lucon, O. Aspectos ambientais na cadeia de biocombustíveis, Workshop "Aspectos Ambientais da Cadeia do Etanol de Cana-de-Açúcar", Projeto Diretrizes de Políticas Públicas para a Agroindústria Canavieira do Estado de São Paulo, São Paulo, 2008.

Macedo, I.C., Leal, M.R.L.V., Silva, da Silva, J.E.A.R., 2004. Balanço das emissões de gases de efeito estufa na produção e no uso do etanol no Brasil. Secretaria do Meio Ambiente, Governo de São Paulo. Abril de 2004. 19pp+anexos.

MACEDO, I. C. (org). A Energia da Cana-de-Açúcar - Doze estudos sobre a

MACEDO, I. C. (org). A Energia da Cana-de-Açúcar - Doze estudos sobre a agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e sua sustentabilidade. UNICA -União da Agroindústria Canavieira do Estado de São Paulo, São Paulo, 2005.

Macedo, I. C.; Seabra, J. E. A.; Silva, J. E. A. R., 2008. Green house gases emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil: The 2005/2006 averages and a prediction for 2020. *Biomass and Bioenergy*, v. 32, n. 7, p. 582-595.

Macedo, I.C., 1998. Greenhouse gas emission and energy balances in bio-ethanol production and utilization in Brazil (1996). *Biomass and Bioenergy*; 14(1):77-81.

Macedo, I.C., 2007, Tecnologia Para a Produção e Uso do Etanol: Desenvolvimento, Situação Atual e Perspectivas, Estudos Avançados, Vol 21, No. 59, São Paulo, Jan-Abril 2007

Macedo, Isaias de Carvalho. 2005. Various authors. "The Energy of Sugar Cane, Twelve Studies about the agroindustry of sugar cane in Brasil and its sustainability". UNICA. Chapter 5.

Macedo, Isaias de Carvalho; Several Authors, 2005. Sugarcane's Energy – Twelve studies on Brazilian sugarcane agribusiness and its sustainability. São Paulo.

Machado E. C. (1981) Um modelo matemático-fisiológico para simular o acúmulo de matéria seca na cultura de cana-de-açúcar - Dissertação de Mestrado, Instituto de Biologia, UNICAMP, 115 p.

MAGRO, J. A. ; GLÓRIA, N.A. Adubação de soqueira de cana-de-açúcar com vinhaça; complementação com nitrogênio e fósforo. *Brasil Açucareiro*, Rio de Janeiro. v. 90, n. 6. p. 31-34, 1977.

Manan Z.Z, Foo C.Y. "ASSESSING OPTIONS FOR PROCESS CHANGES VIA WATER CASCADE ANALYSIS".

Manechini, C. et al. Benefits and problems of trash left in the field in Biomass power generation: sugar cane bagasse and trash, Hassuani, S.J. et al. organizadores, CTC, Piracicaba, 216p. (2005).

MANHÃES, M. dos S. et al. Acúmulo de Potássio em solo de áreas canavieiras fertirrigadas no norte fluminense. *Agronomia*, V.37, p.64-68, 2003.

Manzatto et al. Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar. Embrapa Solos, Rio de Janeiro Setembro 2009.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa Nº 27, de 05 de Junho de 2006. Diário Oficial da União de 09/06/2006 Seção 1, Página 15.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa Nº 23, de 31 de Agosto 2005. Diário Oficial da União de 08/09/2005. Seção 1, Página 12.

MAPA, 2009. Anuário estatístico da agroenergia. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília: Mapa/ACS, 2009. 160 p.

MAPA/CONAB, Brasil, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Companhia Brasileira de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira, primeiro levantamento, safra de 2009, abril de 2009.

MAPA/SPAEE, Brasil, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento/Secretaria de Produção e Agroenergia. Balanço Nacional da Cana-de-açúcar e Agroenergia, Brasília, 139p. 2007

MARQUES JR, R.B.; CANELLAS, L.P.; SILVA, L.G.; OLIVARES, F.L. Promoção de enraizamento de microtoletes de cana-de-açúcar pelo uso conjunto de substâncias húmicas e bactérias diazotróficas endofíticas. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 32: 1121-1128, 2008.

MATOS, A.T. Curso sobre tratamento de resíduos agroindustriais. Disponível em <http://www.ufv.br/dec/simea/apresentacoes/CursoMatosFEAM2005.pdf>. Acesso em 20/06/2007.

MATTIAZZO, M.E. & GLÓRIA, M.A. da. Efeito da vinhaça na acidez do solo. STAB - Açúcar, álcool e subprodutos. Piracicaba, SP, vol.4, n.2. p. 35-40, 1985.

MCT, 2009. Identificação do perfil de fontes de energia e consumo de combustível da margem de operação do Sistema Interligado Nacional. Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT), Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento (SEPED), Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima (CGMC). Document provided by Ana Carolina Avzaradel on September 14, 2009.

MEIER, E.A., THORBURN, P.J.; WEGENER, M.K.; BASFORD, K.E. A conceptual analysis of nitrogen trash blankets in the wet tropics. Sugar Cane International, Maio-Junho, p.8-11, 2002.

Michelazzo, M.B. Análise de sensibilidade de seis sistemas de recolhimento do palhico da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*), dissertação de mestrado, UNICAMP, Campinas, 2005, 86p.

Mileham, A. Taylor, R. Thompson, J. Todd, M. Tindimugaya, C. Impact of Rainfall Distribution on the Parameterization of a Soil-Moisture Balance Model of Groundwater Recharge in Equatorial Africa. Journal of Hydrology. 359, 46-58, 2008.

MILLER, R. E., e BLAIR, P. D. (1985). "Input-output analysis: Foundations and Extensions". Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Anuário estatístico da agroenergia / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília: Mapa/ACS, 2009.

Ministry of Agriculture and Livestock - CONAB, 2008. www.conab.gov.br. Brazil.

MORAES, M. A. F. D. de. O mercado de trabalho da agroindústria canavieira: desafios e oportunidades. Economia Aplicada, São Paulo, v. 11, n. 4, p. 605-619, out./dez. 2007.

MORAES, M. A. F. D. de. Paradox: mechanization and social inclusion. Workshop on Impact of New Technologies on the Sustainability of the Sugarcane/Bioethanol

Production Cycle. CTBE, Campinas, SP, 14 e 15 de maio, 2009. Disponível em: <http://www.bioetanol.org.br/workshop3>. Acesso em setembro de 2009.

Morel-Seytoux H. J., Alhassoun S. A. (1987) SWATC SWISS WATCH WATERSHED MODEL FOR SIMULATION OF SURFACE AND SUBSURFACE FLOWS IN STREAM-AQUIFER SYSTEM. Colorado State University, Civil Engineering Department, 297 p.

Morison J. I. L. (1987) Intercellular CO₂ concentration and stomatal response to CO₂. In: Zeiger E., Farquhar G. D., Cowan I. R. (editores) Stomatal Function. Stanford University Press, Stanford, California.

Muttiah, R. Wurbs, R.A. Scale-Dependent Soil and Climate Variability Effects on Watershed Water Balance of the SWAT Model. Journal of Hydrology. 256, 264-285, 2002.

Mutton, M.A.; Rossetto R.; Mutton, M.J.R. Vinhaça. In: P&D em Etanol, Cortez, L.A.B. Editor, in press, 2009.

Nações Unidas. 2005. United Nations General Assembly. World Summit Outcome, Resolution A/60/1.

NAE, 2005. Biocombustíveis. Cadernos NAE nº 2 (jan. 2005). Brasília: Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República, Secretaria de Comunicação de Governo e Gestão Estratégica.

Nardin R. R. Torta-de-filtro aplicada em argissolo e seus efeitos agrônômicos em duas variedades de cana-de-açúcar colhidas em duas épocas. Dissertação de Mestrado, IAC, Campinas, SP. 2007, 51p.

NASSAR, A M. IMPACTS OF LAND USE CHANGES ON BIOFUELS PRODUCTION. Ethanol Summit 2009. São Paulo. Junho de 2009. disponível em <http://www.iconebrasil.com.br/arquivos/noticia/1830.pdf>.

NASSAR, A.M., HARFUCH, L., MOREIRA, M.R., BACHION, L. C., ANTONIAZZI, L., EPA Lifecycle Analysis of GHG Emissions from Renewable Fuels. ICONE 's comments on ethanol. Brasília. Agosto 2009.

NASSAR, A.M.; HARFUCH, L.; MOREIRA, M.R.; BACHION, L.; ANTONIAZZI L.B. Impacts on Land Use and GHG Emissions from a Shock on Brazilian Sugarcane Ethanol Exports to the United States using the Brazilian Land Use Model (BLUM). Report to the U.S. Environmental Protection Agency Regarding the Proposed Changes to the Renewable Fuel Standard Program. Docket EPA-HQ-OAR-2005-0161.

NASSAR, A.M.; RUDORFF, B.F.T.; ANTONIAZZI, L.B.; AGUIAR, D.A. de; BACCHI, M.R.P.; ADAMI, M. Prospects of the sugarcane expansion in Brazil: impacts on direct and indirect land use changes. In: Zuurbier and Vooren (coord.), Sugarcane ethanol: contributions to climate change mitigation and the environment. Wageningen: Wageningen Academic Publishers, 2008.

Nemani R., Running S. W. (1989) Testing a theoretical climat-soil-leaf area hydrologic equilibrium of forest using satellite data ecosystem simulation. Agricultural and Forest Meteorology, 44: 254-260.

Neves, C. S. V.J.; Feller, C. & Larré-Larrouy, M.-C. 2005. Matéria orgânica nas frações granulométricas de um latossolo vermelho distroférrico sob diferentes sistemas de uso e manejo. In: Ciências Agrárias, Londrina, v. 26, n. 1, p. 17-26

NG KEE KWONG, K.F.; DEVILLE, J.; CAVALOT, P.C.; RIVIERE, V. Value of cane trash in nitrogen nutrition of sugarcane. Plant and Soil, v.102, p.79-83, 1987.

NIST (National Institute of Standards and Technology). "Livro de Química na web". Disponível em: <http://webbook.nist.gov>. Acesso em: 11 de junho de 2009

Nogueira, L.A.H. Algunas reflexiones sobre la evaluación de la sustentabilidad, SDdimensions, FAO, Roma, 1998, disponível em www.fao.org/sd/spdirect/EGre0038.htm.

NUNES Jr., D., R.S.A. PINTO & R.A. Kil. 2003. Indicadores de desenvolvimento da agroindústria canavieira, Safra 2005/2006. IDEA. Ribeirão Preto, 117p.

OCDE – ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO. Documentation of the Aglink-Cosimo model. AGR/CA/APM(2006)16/FINAL. Março 2007.

OECD. Biofuels: is the cure worse than the disease? Paris: September, 2007. Available in <http://www.oecd.org/dataoecd/40/25/39266869.pdf>. Visited on September 27th 2007.

OLIVEIRA, A.L.M.; CANUTO, E.L.; URQUIAGA, S., REIS, V.M.; BALDANI, J.I. Yield of micropropagated sugarcane varieties in different soil types following inoculation with diazotrophic bacteria. Plant and Soil, 284:230-32, 2006.

OLIVEIRA, A.L.M.; URQUIAGA, S.; DOBEREINER, J.; BALDANI, J.I. The effect of inoculating endophytic N₂-fixing bacteria on micropropagated sugarcane plants. Plant and Soil, 242:205-215, 2002.

OLIVEIRA, F.C.; MATTIAZZO, M.E.; MARCIANO, C.R.; ROSSETTO, R. Efeito de aplicações sucessivas de lodo de esgoto em um Latossolo Amarelo Distrófico cultivado com cana-de-açúcar: carbono orgânico, condutividade elétrica, pH e CTC. Revista Brasileira de Ciência do Solo. v.26, 505-519, 2002.(a)

OLIVEIRA, M.W.; TRIVELIN, P.C.O.; KINGSTON, G.; BARBOSA, M.H.P.; VITTI, A.C. Decomposition and release of nutrients from sugarcane trash in two agricultural environments in Brazil. Australian Society of Sugar Cane Technologists, Proceedings. Brisbane, ISSCT, 2002,(b) p.40.

OLIVEIRA, P. A. V. de; HIGARASHI, M. M. Geração e utilização de biogás em unidades de produção de suínos. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2006. 42p. (Série Documentos - Embrapa Suínos e Aves)

OLIVEIRA, F.C.R. de. Ocupação, emprego e remuneração na cana-de-açúcar e em outras atividades agropecuárias no Brasil, de 1992 a 2007. 163p. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

Oliverio, J.L. (Dedini), Novas tecnologias para biocombustíveis, 9º Encontro de negócios de energia, FIESP/CIESP, São Paulo, 2008.

ORLANDO FILHO, J. Nutrição e adubação da cana de açúcar no Brasil. Rio de Janeiro: IAA/PLANAL-SUCAR, 1983. 368p. (Coleção Planalsucar, 2).

ORLANDO FILHO, J.; BITTENCOURT, V.C. de.; ALVES, M.C. Aplicação de vinhaça em solo arenoso do Brasil e poluição do lençol freático com nitrogênio. In: Congresso Nacional da Sociedade de Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil, vol.13, nº. 6, Rio de Janeiro, Anais, p14-17. 1995.

ORLANDO FILHO, J.; BITTENCOURT, V.C.; CARMELLO, Q.A.C.; BEAUCLAIR, E.G.F. Relações K, Ca e Mg de solo Areia Quartzosa e produtividade da cana-de-açúcar. Stab Açúcar, Álcool e Subprodutos. Piracicaba. v. 14, n. 5. p. 13-17. 1996.

ORLANDO FILHO, J.; HAAG, H.P. ; ZAMBELLO Jr. E. Crescimento e absorção de macronutrientes pela cana-de-açúcar, variedade CB41-76, em função da idade, em solos do Estado de São Paulo. Boletim Técnico Planalsucar, Piracicaba, vol. 2, n.1, 128 p. 1980.

ORLANDO FILHO, J.; MURAOKA, T.; RODELLA, A. A.; ROSSETTO, R. Fontes de potássio na adubação da cana-de-açúcar: KCl e K₂SO₄. In: Congresso Nacional da Stab – Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil. 5º. 1993. Águas de São Pedro. Anais. Águas de São Pedro, 1993 a. p. 39-43.

ORLANDO FILHO, J.; ROSSETTO, R.; GERALDI, R.N. Adubação potássica em cana-de-açúcar: II – Análise química do solo e diagnose foliar. . In: Congresso Nacional da Stab – Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil. 5º. 1993. Águas de São Pedro. Anais. Águas de São Pedro, 1993 b. p.50-54.

ORLANDO FILHO, J.; ZAMBELLO Jr. E.; HAAG, H.P. Influence of varieties and soil types on nutritional status of leaves of sugarcane ratoon. In: International Society of sugarcane technologists, 16., São Paulo, 1977. Proceedings. São Paulo, ISSCT, 1977. p. 1165-1174.

ORLANDO FILHO, J.; ZAMBELLO JR., E.; AGUJARO, R. & ROSSETTO, A.J. Efeito da aplicação prolongada da vinhaça nas propriedades químicas dos solos com cana-de-açúcar. Estudo Exploratório, STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos, Piracicaba, vol.1,n.6, p.28-33; 1983.

Ottmar, R. D.; Vihnanek, R. E.; Miranda, H. S.; Sato, M. N.; Andrade, S. M. A. Séries de estéreo-fotografias para quantificar a biomassa da vegetação do cerrado no Brasil Central. Brasília: USDA, USAID, UnB, 2001. 88 p. In: Ciclagem de Carbono em Ecossistemas Terrestres – O caso do Cerrado Brasileiro. Planaltina/DF – Embrapa Cerrados, 2003. Available in: <http://bbeletronica.cpac.embrapa.br/2003/doc/doc_105.pdf>. Access in 18 Set. 2008.

Paes, L.A.D.; Oliveira M.A. Potential trash biomass of the sugar cane plant. In Hassuani, S.J. et al. organizadores, CTC, Piracicaba, 216p. (2005).

Palmieri, A. Dams and Development - The Evolving Role of the World Bank, Symposium "Benefits and Concerns about Dams", Annual Meeting of the International Commission on Large Dams, Dresden, 2001,

PENATTI, C.P. & FORTI, J.A. Doses de vinhaça versus doses de nitrogênio em cana-soca. In: VII Seminário de Tecnologia Agronômica. Piracicaba, 1997. Anais, Copersucar, nov, p. 328-39. 1997.

PENATTI, C.P. Doses de vinhaça versus doses de nitrogênio em cana-soca durante quatro safras. Relatório Interno Copersucar, Usina São Luiz S.A., solo argiloso (LR-2). 1999 a.

PENATTI, C.P. Doses de vinhaça versus doses de nitrogênio em cana-soca durante quatro safras. Relatório Interno Copersucar (RT928), Usina São José da Estiva, solo arenoso (LVA-9). 1999 b.

Penatti, C.P., "Vinhaça e seus efeitos no solo e na planta", Workshop Tecnológico sobre Vinhaça, Projeto Programa de Pesquisa em Políticas Públicas, Piracicaba, 2007,

PENATTI, C.P.; CAMBRIA, S.; BONI, P.S.; ARRUDA, F.C. DE O.; MANOEL, L.A. Efeitos da aplicação de vinhaça e nitrogênio na soqueira da cana-de-açúcar. Boletim Técnico Copersucar, São Paulo vol.44. p.32-38. 1988.

PERIN, L.; MARTINEZ-AGUILAR, L.; PAREDES-VALDEZ, G.; BALDANI, J.I.; ESTRADA DE LOS SANTOS; P.; REIS, V.M.; CABALLERO-MELADO, J. Burkholderia silvatlantica sp nov., a novel diazotrophic bacterium associated with sugarcane and maize. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology, 56: 1931-1937, 2006.

Peterson D. L., Spanner M. A., Running S. W., Teuber K. B. (1987) Realltion of thematic mapper simulator of leaf area index of temperate coniferous forest. Remote Sensing of Environment, 22: 323-341.

Pflüger, A. Potential Role of Biofuels in Future Markets. In: Biofuels Markets – Congress and Exhibition. Disponível em www.iea.org.

PIACENTE F.J, PIACENTE E. A. Desenvolvimento sustentável na agroindústria canavieira: uma discussão sobre os resíduos. Campinas: Instituto de Economia e Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2004. Apresentação de trabalho/seminário.

Piazia Waldemir, Nakahodo Tuko, Oliveira Tostes Danilo. "Alternatives for Reduction of Consume of Water in the process". Piracicaba, 1999.

Pinto, A.C.; Moraes, E.E. (a) Equipamento distribuidor de cana-de-açúcar. In: Seminário de Tecnologia Agronômica, 7, Copersucar, Piracicaba, novembro de 1977. Anais..., 1977. p. 213-222

Pinto, A.C.; Moraes, E.E. (b) Plantadora de cana. In: Seminário de Tecnologia Agronômica, 7, Copersucar, Piracicaba, novembro de 1977. Anais..., 1977. p. 223-231

Poletto, M. C. "A Capacidade de Suporte, o Consórcio de Bacias e o Licenciamento de Novas Usinas no Estado de São Paulo". Apresentação em 24/Nov/2008. Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP.

POLIDORO, J. C.; RESENDEA. S.; QUESADA, D. M.; XAVIER, R .P.; COELHO, C. H. M.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S. Levantamento da contribuição da fixação biológica de nitrogênio para a cultura da cana-de-açúcar no Brasil. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, dez. 2001. 8p. (Embrapa Agrobiologia. Documentos, 144).

PRAMMANEE, P.; SAFFIGNA, P.G.; WOOD, A.W.; FRENEY, J.R. Loss of nitrogen from urea and ammonium sulphate applied to sugar cane crop residues. Proceedings of Australian Society of Sugar Cane Technologists, Conferência 1989. p. 76-84. 1989.

Procknor Celso. 2002. "Rational use of water". Procknor Engineering. Factory Solutions. Abril, 2002 Edition.

Procknor, C. "Dilemas", Seção "Soluções de Fábrica", Revista STAB, maio/junho de 2004, Piracicaba, 2004.

Procknor, C., 1999, "Algumas Tendências da Tecnologia Açucareira", Seção "Soluções de Fábrica", Revista STAB, maio de 1999, Piracicaba

Protocolo Agroambiental do Setor Sucroalcooleiro.
<www.unica.com.br/content/show.asp?cntCode={BEE106FF-D0D5-4264-B1B3-7E0C7D4031D6}>. Access in: 16 de set. 2008

RAIJ, B. van. Calibração de potássio trocável em solos para feijão, algodão e cana-de-açúcar. Ciência e cultura, São Paulo, v.26, n.6, p.575-576, 1974.

RAIJ, B. van. Fertilidade do Solo e Adubação. Ed. Agronômica Ceres Ltda., Piracicaba, 1991. 343p.

RAIJ, B. van; Gesso na agricultura. Campinas: Instituto Agronômico. 2008. 233p.

Rangel, O.J.P. & Silva, C.A. 2007. Estoque de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. In: Revista Brasileira de Ciência do Solo, 31 p.1609-1623.

Ravagnani M.A.S.S., Righetto A.T. and Marquini M.F. (2007) "IMPROVING ENERGETIC PERFORMANCE AND WATER USAGE IN AN INDUSTRIAL ETHANOL DISTILLERY". Trans IChemE, Part B, Process Safety and Environmental Protection, 2007, 85(B6): 526-532

Rein, P. Cane sugar engineering, Berlin: Verlag Dr. Albert Bartens KG, 2007.

REIS, V.M.; BALDANI, J.I.; BALDANI, V. L.; DÖBEREINER, J. Biological di-nitrogen fixation in gramineae and palm trees. Critical Reviews in Plant Science, 19:227-247, 2000.

REIS, V.M.; URQUIAGA, S.; PEREIRA, W.; HIPÓLITO, G.; BARROS, J.C.; FIUSA, R.; LEITE, J.M. Resposta de duas variedades de cana-de-açúcar à inoculação com bactérias diazotróficas. In: 9. Congresso Nacional da STAB, Maceió, 9:681-686, 2008.

RESENDE, A. S.; XAVIER, R. P.; OLIVEIRA, O. C.; URQUIAGA, S.; ALVES, B.; BODDEY, R. M. Long-term effects of pre-harvest burning and nitrogen and vinasse

applications on yield of sugar cane and soil carbon and nitrogen stocks on a plantation in Pernambuco, N.E. Brazil. *Plant and Soil*, v. 281, p.339-351, 2006.

RIBEIRO, A.C. et al. Recomendações de adubação e calagem para o estado de Minas Gerais. 5 aproximação. Viçosa, CFSEMG, 1999. 359p.

Ricci Junior, Adhair. 2005. In: Macedo, Isaias de Carvalho; Several Authors, 2005. *Sugarcane's Energy – Twelve studies on Brazilian sugarcane agribusiness and its sustainability*. São Paulo.

RICE, R.W.; GILBER, R.; LENTINI, R.S. Nutritional requirements for Florida sugarcane. Gainesville: University of Florida. Institute of Food and Agricultural Sciences Extension. 2006. 8p. (SS-AGR, 228).

Ripoli, T.C C et al. Energy potential of sugar cane biomass in Brazil, *Sci. Agric.* 2000, v. 57, n. 4, pp. 677-681, 2000

Risson M. (1995) Incidence de la complexité du milieu physique et des lois de comportement sur la réponse hydrologique d'un bassin versant. Modèle de représentation et de dynamique. Application au bassin versant de la Peyne. Université Montpellier II Science et Technique du Languedoc, 340 p.

ROCHA, Ana P. T.; ALSINA, Odelsia L. S.; SILVA Vimário S.; da SILVA, Flávio L. H.. Cinética de produção de levedura seca em leite de jorro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v.12, n.1, p.81-86, 2008.

RODELLA, A. A.; SILVA, L.C.F.; ORLANDO FILHO, J.O. Effect of filter cake application on sugarcane yields. *Turrialba, San Jose*, v. 40, n.3, p. 323-326. 1990.

RODELLA, A.A.; ZAMBELLO Jr., E.; ORLANDO FILHO, J.O Calibração de análises de fósforo e potássio no solo em cana-de-açúcar, 2ª. aproximação. *Saccharum*. São Paulo. n.28. p.39-42, 1983.

Rogers, G.O. DeFee II, B.B. Long -Term Impact of Development on a Watershed: Early Indicators of Agriculture Problems. *Landscape and Urban Planning*. 73, 215-233, 2005.

ROLIM, M. M. Avaliação físico-mecânica do material solo-vinhaça concentrada e sua utilização para fins de fabricação de tijolos. Campinas, 1996, Dissertação de mestrado – UNICAMP – Faculdade de Economia Agrícola.

ROSA, F.R.T.; TONINI, M.G.O.; TURCO, P.C. Pecuária de corte: Novos Rumos. In: ENCONTRO DE BOVINO DE CORTE, 2: Gestão da Produção de Pastagens, 21-22 de novembro de 2007, Jaboticabal, SP. ANAIS, p.7-25,131-132. 2007.

Rossell, C.E.V., 2008, *Evolução Tecnológica da Produção de Etanol. Expectativas futuras: Destilarias otimizadas, Etanol da Hidrólise de Bagaço*, 60ª Reunião Anual da SBPC, Campinas.

Rossell, Vaz Carlos Eduardo. Debater in Workshop:Project of Research Program in Public Policies. University of Campinas.

ROSSETTO, A.J. Utilização agrônômica dos sub-produtos e resíduos da indústria açucareira e alcooleira. In: Cana-de-açúcar – Cultivo e Utilização, Ed. Fundação Cargill, vol.2, p.435-504.1987.

ROSSETTO, R. A cultura da cana, da degradação à conservação. Scientia Agrícola. Piracicaba, v.1,n.1. p. 80-85. 2004.

ROSSETTO, R., SPIRONELLO, A.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. Calagem para a cana-de-açúcar e sua interação com a adubação potássica. Bragantia, Campinas, vol. 63, n.1, p. 105-119, 2004.

Rossetto, R.; Cantarella, H.; Landell, M.G.A.; Dias, F.L.F.; Vitti, A.C. Manejo conservacionista e reciclagem de nutrientes em cana-de-açúcar tendo em vista a colheita mecânica Informações Agrônômicas nº 124 – Dezembro/2008, p. 8-13.

Rossetto, R.; Dias F.L.F.;Vitti A.C. Manutenção da fertilidade e recuperação dos solos na cultura da cana-de-açúcar. In: P&D em Etanol, Cortez, L.AB. Editor, in press, 2009.

ROSSETTO, R.; DIAS, F.L.F.; VITTI, A.C. Fertilidade do solo, nutrição e adubação. p. 221-237. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELL, M.G.A. (Ed.) Cana-de-açúcar. Campinas, Instituto Agrônômico, 2008a. 882p.

ROSSETTO, R.; DIAS, F.L.F.; VITTI, A.C.; PRADO Jr., J.P.Q. Fósforo. p. 271-287. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELL, M.G.A. (Ed.) Cana-de-açúcar. Campinas, Instituto Agrônômico, 2008b. 882p.

ROSSETTO, R.; DIAS, F.L.F.; VITTI, A.C.; TAVARES, S. Potássio. p. 289 - 312. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELL, M.G.A. (Ed.) Cana-de-açúcar. Campinas, Instituto Agrônômico, 2008c. 882p.

Rouet P. (1991) Les données dans les systèmes d'information géographiques. Traité de nouvelles technologies - séries géographie assistée par ordinateur, 278 p.

RSB – Roundtable on Sustainable Biofuels. 2008. "Version Zero" of Global Principles and Criteria for Sustainable Biofuels Production. Available at <http://EnergyCenter.epfl.ch/Biofuels>.

RSB, 2008, Roundtable on Sustainable Biofuels, Global Principles and Criteria for Sustainable Biofuels production, Version Zero, 9 p.

RUDORFF, B. F. T.; BERKA, L. M. S.; XAVIER, A. C.; MOREIRA, M. A.; DUARTE,V.; ROSA, V. G. C.; SHIMABUKURO, Y. E. Estimativa de área plantada com cana-de-açúcar em municípios do Estado por meio de imagens de satélites e técnicas de geoprocessamento: ano safra 2003/04. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2004. 47 p. (INPE-107191-RPQ/759).

SÁ, J.C.M. Manejo de nitrogênio na cultura de milho no sistema plantio direto. Passo Fundo: Aldeia Norte Editora, 1996. 24p.

SALLES, L. da S. Elementos para o planejamento ambiental do complexo agroindustrial sucroalcooleiro no Estado de São Paulo: conceitos, aspectos e métodos. Dissertação de Mestrado, EESC – USP, 1993.

Santos Filho B. G. (1984) Parâmetros biofísicos e fisiológicos associados à economia da água em plantas de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) submetidas à estresse hídrico. Tese de Doutorado, Instituto de Biologia, UNICAMP, 158 p.

Santos, D.H. Adubação fosfatada no plantio da cana-de açúcar a partir de torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel. Dissertação de Mestrado, UNIOESTE, Presidente Prudente, 2009, 36p.

São Paulo State Government, Decreto Nº 50.889, de 16 de junho de 2006. Dispõe sobre a manutenção, recomposição, condução da regeneração natural e compensação da área de Reserva Legal de imóveis rurais no Estado de São Paulo e dá providências correlatas. São Paulo. Available in: <www.cetesb.sp.gov.br/licenciamentoo/legislacao/estadual/decretos/2006_Dec_Est_50889.pdf>. Access in: 16 de set. 2008.

São Paulo State Government, Lei n. 6.171, de 04 de julho de 1988. Dispõe sobre o uso, conservação e preservação do solo agrícola. São Paulo. Available in: <sigam.ambiente.sp.gov.br/Sigam2/legisla%C3%A7%C3%A3o%20ambiental/Lei%20Est%201988_06171.pdf>. Access in: 16 de set. 2008.

São Paulo State Government, Lei n. 997, de 31 de maio de 1976. Dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente. São Paulo. Available in: <www.ambiente.sp.gov.br/uploads/arquivos/legislacoesambientais/1976_Lei_Est_997.pdf>. Access in: 16 set. 2008.

São Paulo State Government, LEI Nº 12.183, DE 29 DE DEZEMBRO DE 2005. Dispõe sobre a cobrança pela utilização dos recursos hídricos do domínio do Estado de São Paulo, os procedimentos para fixação dos seus limites, condicionantes e valores e dá outras providências. São Paulo. Available in: <www.ana.gov.br/cobrancauso/_ARQS-legal/Geral/Legislacoes%20Estaduais/SP/Lei-12183-05.pdf>. Access in: 16 de set. 2008.

São Paulo State Government, Resolução nº 382, de 26 de dezembro de 2006. Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas. São Paulo. Available in: <www.mp.rs.gov.br/areas/ambiente/arquivos/boletins/bola_leg01_07/ib382.pdf>. Access in: 16 de set. 2008.

São Paulo State Government, Resolução SMA 42, de 14 de outubro de 2006. Licenciamento ambiental prévio de destilarias de álcool, usinas de açúcar e unidades de fabricação de aguardente. São Paulo. Available in: <www.milare.adv.br/ementarios/legislacao2006.pdf>. Access in: 16 de set. 2008.

São Paulo State Government, Lei n. 11.241, de 19 de Setembro de 2002. Dispõe sobre a eliminação gradativa da queima da palha da cana-de-açúcar e dá providências correlatas. São Paulo. Available in: <sigam.ambiente.sp.gov.br/sigam2/Legisla%C3%A7%C3%A3o%20Ambiental/Lei%20Est%202002_11241.pdf>. Access in: 16 de set. 2008.

SCARPARI, M. S. PREDPOL: Um modelo de previsão da maturação da cana-de-açúcar visando planejamento otimizado. Piracicaba, 2007. 120p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

SCHARLEMANN, J.P.W.; LAURANCE, W.F. How green are biofuels? *Science*, 349: 43-44, 2008.

Seabra, J. E. A., 2008, Análise de opções tecnológicas para uso integral da biomassa no setor de cana-de-açúcar e suas implicações. Tese de Doutorado Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

Seabra, J.E.A., 2008. Avaliação técnico-econômica de opções para o aproveitamento integral da biomassa de cana no Brasil. Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Unicamp. 274p. Tese (doutorado).

SEARCHINGER, T., HEIMLICH, R., HOUGHTON R.A., DONG, F., ELOBEID, A., FABIOSA J. Use of US croplands for biofuels increases greenhouse gases through emissions from land-use change. *Science* 319:1238–1240 (2008).

Shuttleworth W. J., Wallace J. S. (1985) Evaporation from sparse crops-an energy combination theory. *Quarterly Journal Royal Meteorological Society*, 11: 839-855.

Silva, E., 2009. Análise dos Leilões de Energia Elétrica. Assoc. Bras. De Geradoras Termoelétricas. Agosto 2009. www.abraget.com.br.

SILVA, G.M. de A.; POZZI DE CASTRO, L.J.; MAGRO, J.A. Comportamento agroindustrial da cana-de-açúcar em solo irrigado e não irrigado com vinhaça. IV Seminário Copersucar da indústria Açucareira. Anais. p.107-122. Águas de Lindóia. 1976.

Silva, M.A.L. Rezende, C.E. Behavior of Selected Micro and Elements and Organic Matter in Sediments of a Freshwater System in South-East Brazil. *The Science of the Total Environment*. 282, 121-128, 2002.

Silvestrin, C.R. Bioeletricidade, potencial desafios e oportunidades. In: 7 Congresso Brasileiro de Agribusiness, São Paulo, Agosto de 2008.

SMASP, Assessment of greenhouse gas emission in the production and use of fuel ethanol in Brazil, (autores: Macedo, I.C., Lima Verde Leal, R., Silva, J.E.A.R.), Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo, São Paulo, 2004.

Smeets, E. et al. Sustainability of Brazilian bio-ethanol, Report NWS-E-2006-110, Copernicus Institute/Utrecht University, Universidade Estadual de Campinas, Utrecht/Campinas, 2006.

Smeets, E.; Junginger, M.; Faaij, A.; Walter, A.; Dolzan, P.; Turkenburg, W., 2008; The sustainability of Brazilian ethanol—an assessment of the possibilities of certified production. *Biomass and Bioenergy*, v. 32, n. 8, p. 781 – 813.

SOUSA, S.A.V. Métodos de Utilização e aplicação de Vinhaça, Projeto Políticas Públicas, Unicamp, APTA, 2008. Consulta em 12-08-2009. http://www.apta.sp.gov.br/cana/anexos/position_paper_sessao2_veronez.pdf

Souza, I.C., Impacto das perdas industriais no lucro da agroindústria sucroalcooleira, 27ª Reunião Anual da Fermentec, São Pedro

Souza, Sérgio Antônio Veronez de. 2005. In: Macedo, Isaias de Carvalho; Several Authors, 2005. Sugarcane's Energy – Twelve studies on Brazilian sugarcane agribusiness and its sustainability. São Paulo.

Sparovek, G. Schnug, E. Soil Tillage and Precision Agriculture a Theoretical Case Study for Soil Erosion Control in Brazilian Sugar Cane Production. *Soil & Tillage Research*. 61, 47-54, 2001.

Steinberg S. L., van Bavel C. H. M., McFarland M. J. (1989) A gauge to measure mass flow rate of sap in stems and trunk of woody plants, *Journal Amer. Soc. Hort. Sci*, 143 (3): 466-472.

Stewart J. B. (1977) Evaporation from the wet canopy of a Pine forest. *Water Resources Research* 13(6): 915-921.

Stewart J. B. (1984) Measurement and prediction of evaporation from forested and agricultural catchment. *Agricultural Water Management* 8: 1-28.

Stewart J. B. (1988) Modelling surface conductance of pine forest. *Agricultural and Forest Meteorology* 43: 19-35.

Szakács, G.G.J. 2003. Avaliação das potencialidades dos solos arenosos sob pastagens, Anhembi – Piracicaba/SP. Piracicaba, 2003. Dissertação (mestrado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura.

TANIMOTO, O.S. Plantio direto de soja sobre a palhada de cana-de-açúcar. *Revista Plantio Direto*, edição n. 70 – jul/ago 2002. p.14-15.

TANIMOTO, O.S.; BOLONHEZI, D. Plantio direto de soja sobre palhada de cana-de-açúcar. Campinas: CATI, 2002, 18p.

Teixeira Filho J. (1995) Analyse et modélisation du fonctionnement hydrique d'un écosystème forestier méditerranéen - Spatialisation a l'échelle du bassin versant - Tese de Doutorado da Université de Montpellier II Science et Technique du Languedoc, 312 p.

Teixeira Filho J., Rambal S., Lacaze B., Lointier M. (1995) Mapping maximal canopy transpiration over a Mediterranean watershed. *Progress in Environmental Remote Sensing Research and Application, Proceedings of the 15th EARSeL Symposium*, 379-384.

Tenorio Barros, Rosa Maria and Callado Nelia Henriques. 2007. "Water Reuse in a sugar-ethanol industry in Alagoas". 24^o Brazilian Congress of Sanitary and Environment Engineering. Belo Horizonte/MG.

The House of Commons, "Are biofuel sustainable?", First Report of Session 2007–08, Environmental Audit Committee, London, 2008.

THORBURN, P.J.; van ANTWERPEN, R.; MEYER, J.H. AND BEZUIDENHOUT, C.N. The impact of trash management on soil carbon and nitrogen: I Modelling long-term experimental results in the South African sugar industry. *Proceedings of the South Africa Sugar Technologist Association*, 76:260-268, 2002.

THORBURN, P.J.; DART, I.K.; BIGGS, I.M.; BAILLIE, C.P.; SMITH, M.A.; KEATING, B.A. The fate of nitrogen applied to sugarcane by trickle irrigation. *Irrigation Science*, 22:201-209, 2003.

TILMAN D., HILL, J., LEHMAN, C., Carbon-Negative Biofuels from Low-Input High-Diversity Grassland Biomass. *Science*, V314, N1598 (2006), December 2006

Timm, L.C. Reichardt, K. Oliveira, J.C.M. Cassaro, F.A.M. Tominaga, T.T. Bacchi, O.O.S. Dourado-Neto, D. Sugarcane Production Evaluated by State-Space Approach. *Journal of Hydrology*. 272, 226-237, 2003.

Titon, M., C.O. Da Ros, C. Aita, S.J. Giacomini, E.B. Do Amaral and M.G. Marques, 2003. Produtividade e acúmulo de nitrogênio no milho com diferentes épocas de aplicação de N-uréia em sucessão a aveia preta. In: XXIX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2003, Ribeirão Preto – SP.

Trumbore, S. 1993. Comparison of carbon dynamics in tropical and temperate soils using radiocarbon measurements. *Global Biogeochemical Cycles*, Washington, v.7, pp. 75-290. In: Silveira, A.M., Victoria, R.L., Ballester, M.V., De Camargo, P.B., Martinelli, L.A. and Piccolo, M.C., 2000. Simulação dos efeitos das mudanças do uso da terra na dinâmica de carbono no solo na bacia do rio Piracicaba. *Revista Pesquisa. agropecuária. brasileira*, Brasília 35: 389-399.

Tufail Neto, M.A. Characterization of sugar cane trash and bagasse, in Biomass power generation: sugar cane bagasse and trash, Hassuani, S.J. et al. organizadores, CTC, Piracicaba, 2005, 216p.

UNEP, Working papers 2007, United Nations Environmental Program, 2008, disponível em www.unep.org, acessado em março de 2008.

UNFCCC, 2004. CDM Executive Board. Approved consolidated baseline methodology ACM0002. "Consolidated baseline methodology for grid-connected electricity generation from renewable sources", version 1, 3 September 2004. www.cdm.unfccc.int.

União da Agroindústria Canavieira do Estado de São Paulo, São Paulo, 2005.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DA CANA-DE-AÇÚCAR - UNICA - UNICA Comments on California's Low Carbon Fuel Standard. Disponível em www.unica.com.br.

União da Indústria de Cana-de-açúcar – UNICA, 2008. www.unica.com.br. Brazil.

UNICA . Disponível em <http://www.portalunica.com.br/portalunica/> . Consultado em 20/06/2007.

Unica, 2008. Estimativa da Safra 2008/2009. Available in <http://www.unica.com.br/noticias/show.asp?nwsCode={8ACECE47-BD9D-4D82-9BFF-5ABCCD9C5953}>. São Paulo

Unica, 2008. Protocolo Agroambiental do Setor Sucroalcooleiro. Available in www.unica.com.br/content/show.asp?cntCode={BEE106FF-D0D5-4264-B1B3-7E0C7D4031D6}>. São Paulo.

Unica, 2009. União da Indústria da Cana-de-açúcar. www.unica.com.br.

United Nation Conference on Trade and Development, 2006, The Emerging Biofuels Market: Regulatory, Trade and Development Implications, found at http://www.unctad.org/en/docs/ditcted20064_en.pdf, visited on 14 September 2007.

United Nations, Our common future, World Commission on Environment and Development, New York, 1987.

United States Department of Agriculture - USDA. www.usda.gov. United States.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). Draft regulatory impact analysis: changes to renewable fuel standard program. EPA-420-D-09-001. May 2009.

URQUIAGA, S.; CRUZ, K.H.S.; BODDEY, R.M. Contribution of nitrogen fixation to sugar cane: Nitrogen-15 and nitrogen-balance estimates. *Soil Science Society of America Journal*, 56:105-114, 1992

USDA, Data and Statistics, United State Department of Agriculture, 2008, disponível em www.usda.gov, acessado em julho de 2008.

VALIN, H. Modeling land use change in a CGE model: the experience from CEPII-IFPRI with MIRAGE. CEPII, IFPRI. Prepared for the workshop on "Marginal yields and land allocation in ILUC emissions estimates", Brussels, 22-7-2009.

Van Dam, J.; Junginger, M.; Faaij, A.; Jurgens, I.; Best, G.; Fritsche, U. 2006. Overview of recent developments in sustainable biomass certification. IEA Bioenergy Task 40. 40p.

van den Wall Bake, J.D., Junginger, M., Faaij, A., Poot, T., Walter, A., 2009. Explaining the experience curve: Cost reductions of Brazilian ethanol from sugarcane. *Biomass and Bioenergy*; 33: 644-658.

VELDKAMP, A., VERBURG P.H., Modeling land use change and environmental impact. *Journal of Environmental Management* 72, 1-3, April 2004.

Venture Partners do Brasil (VPB), 2008. VPB analysis of sugarcane future scenarios. São Paulo, SP, Brazil, 14 pp.

Vieira D. B. (1982) Avaliação da interceptação hidrológica e do efeito da vinhaça em cana-de-açúcar (*Saccharum spp*). Tese apresentada a Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) para a obtenção do título de Livre Docente, 124 p.

Vignes E.C. 1980. "The implications of cane washing". *Proc. Int.Soc. Sugar Cane Echnol.* 17,2221-2230.

Vitti, G. C. ; Mazza, Jairo Antonio ; Quintino, Thiago Aristides ; OTTO, Rafael. Nutrição e adubação. In: Tomaz Caetano Cannavam Ripoli; Marco Lorenzo Cunali Ripoli; Dumas Vicenti Casagrandi; Bernardo Yasuhiro Ide. (Org.), 2006. *Plantio de cana-de-açúcar: estado da arte*. 1 ed. Piracicaba: T.C.C. RIPOLI,, v. , p. 102-144. Piracicaba.

Walton, R.S. Volker, R.E. Bristow, K.L. Smettem, K.R.J. Examination of Solute Transport by Surface Runoff From Low-Angle Slopes. *Journal of Hydrology*. 233, 19-36, 2000.

Wiegand C. L., Richardson A. J. (1990) Use of spectral vegetation indices to infer leaf area, evapotranspiration and yield. *Agronomy Journal* 82: 623-629.

Wigmosta M. S., Lance W. V., Lettenmaier J. (1994) A distributed hydrology-vegetation model for complex terrain. *Water Resources Research*, vol. 30 (6): 1665-1679.

WOLTJER, G. Tackling the tension between localized land in land allocation models and CGE modeling. LEI Wageningen. Prepared for the workshop on "Marginal yields and land allocation in ILUC emissions estimates", Brussels, 22-7-2009.

WOOD, A.W. & SCHROEDER B.L. Potassium: a critical role in sugarcane production particularly in drought conditions. In: *Austr. Sugarcane Techn. Proceedings*. 26, cdrom, 2004.

WOOD, A.W. Management of crop residues following green harvesting of sugarcane in north Queensland. *Soil and Tillage Research*, v.20, p. 69-85, 1991.

WOOLDRIDGE J. M., *Econometric Analysis of cross section and panel data*. London. MIT press, 2002.

WWF. 2002. Oil Palm Plantations and Deforestation in Indonesia. Disponível em <http://assets.panda.org/downloads/oilpalmindonesia.pdf>

YONEYAMA, T.; MURAOKA, T.; KIM, T.H.; DACANAY, E.V.; NAKANISHI, Y. The natural 15N abundance of sugarcane and neighbouring plants in Brazil, the Philippines and Miyako (Japan). *Plant and Soil*, 189:239-244, 1997.

Yule D., Radford B., *Controlled traffic farming*. QPI14, case study 9, Queensland Department of Primary Industries, Rockhampton, Austrália, 2003.

ZIMMER, A. H.; EUCLIDES, F. K. As pastagens e a pecuária de corte brasileira. In: *Simpósio Internacional sobre produção animal em pastejo*, 1997. ANAIS, Viçosa.

Zimmermann M. H. (1983) Xylem structure and the ascent of sap. Springer series in Wood Science, Springer-Verlag, 143 p.

Zuurbier, P, van de Vooren, J. (editors). *Sugarcane ethanol: Contributions to climate change mitigation and the environment*. Wageningen Academic Publishers, The Netherlands, 2008. 255 p.