



cg ee



Estudo sobre as Possibilidades e Impactos da Produção de Grandes Quantidades de Etanol visando à Substituição Parcial de Gasolina no Mundo

Fase 2

Relatório Final

Estudo sobre as Possibilidades e Impactos da Produção de Grandes Quantidades de Etanol visando à Substituição Parcial de Gasolina no Mundo – Fase 2

Relatório Final



Brasília, DF
Março, 2007

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos

Presidenta

Lucia Carvalho Pinto de Melo

Diretor Executivo

Marcio de Miranda Santos

Diretor

Antonio Carlos Filgueira Galvão

Fernando Cosme Rizzo Assunção

Estudo sobre as possibilidades e impactos da produção de grandes quantidades de etanol visando à substituição parcial de gasolina no mundo – Fase 2. Relatório Final. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2009.
380 p : il.

Etanol – Brasil. Biocombustível – Brasil. I. Título. II. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos.

*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 – 9º Termo Aditivo/Ação/Subação: Energias Renováveis: Etanol de Cana - 2ª fase /MCT/2006.

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.

Estudo sobre as Possibilidades e Impactos da Produção de Grandes Quantidades de Etanol visando à Substituição Parcial de Gasolina no Mundo – Fase 2

Relatório Final

Supervisão

Marcio de Miranda Santos

Consultores

Rogério Cerqueira Leite (Coordenador)

Luiz Augusto Barbosa Cortez (Coordenador Adjunto)

André Tosi Furtado

Arnaldo César de Silva Walter

Carlos Eduardo Vaz Rossel

Edgardo Olivares Gómez

Gilberto de Martino Jannuzzi

Jorge Humberto Nicola

José Antônio Scaramucci

Manoel Regis Lima Verde Leal

Mirna Ivonne Gaya Scandiffio

Oscar Antonio Braunbeck

Adriano Viana Ensinas

Gislaine Zainaghi

Marcelo Pereira Cunha

Juan Castaneda Ayarza

Tatiana Petruskas

Terezinha de Fátima Cardoso

Daniel Catoia Quintiliano

Isis Maria Ditrach Demário Fujij

Equipe técnica do CGEE

Marcelo Khaled Poppe (Coordenador)

Ana Carolina Silveira Perico (Especialista em C&T)

Resumo Executivo

O governo brasileiro, por meio do Centro de Gestão de Estudos Estratégicos – CGEE, realizou um estudo sobre os biocombustíveis em 2004, publicado como Caderno NAE nº 2 Biocombustíveis, que indicou a relevância da cadeia produtiva do etanol para o desenvolvimento do país. Em 2005, o CGEE encomendou um estudo ao NIPE-UNICAMP, orientado pelo Prof. Rogério Cezar de Cerqueira Leite, o qual constituiu um grupo de especialistas para estudar as possibilidades e impactos da produção no país de grandes quantidades de etanol, visando a substituição parcial de gasolina no mundo, de forma a subsidiar a formulação de políticas públicas para orientar a expansão sustentável da produção de etanol no Brasil.

Na Fase 2 do projeto, foi investigado de forma mais aprofundada o impacto das novas tecnologias, sobretudo do melhoramento genético (convencional e genômico), o recolhimento da palha, a hidrólise das fibras e o correspondente incremento na produção de etanol. A hidrólise é uma tecnologia que pode representar um verdadeiro *break-through* na produção de biocombustíveis no mundo e o Brasil precisa estar presente e bem posicionado nesse novo cenário.

Foram levantados indicadores claros de que as inovações tecnológicas ao longo da cadeia produtiva do etanol poderão ter impactos bastante favoráveis no incremento da produtividade e na redução das necessidades de uso da terra, e conseqüente redução de impactos ambientais. Esses são considerados de fato os fatores limitantes potencialmente mais importantes para a expansão em grande escala da produção de biocombustíveis no mundo, assim como aqueles capazes de proporcionar resultados sociais e econômicos favoráveis.

Principais resultados da Fase 2

Os trabalhos da Fase 2 se centraram na dinamização dos cenários de expansão da produção de etanol e na regionalização dos impactos socioeconômicos e ambientais. Os estudos nesse período visaram, primordialmente, levantar e consolidar dados

relacionados às possíveis melhorias na tecnologia atual e no potencial das tecnologias emergentes, que foram utilizados para se antever, de uma forma quantitativa, a evolução da “Destilaria Padrão”, utilizada na Fase 1, para a “Usina Modelo”, que serviu de base para os cenários e avaliações da Fase 2.

Foi importante também analisar as empresas do setor, para se verificar a aptidão das mesmas em acompanhar a expansão da capacidade de produção de etanol, na magnitude pretendida, tanto em capacidade produtiva como em avanço tecnológico.

Os principais resultados obtidos estão indicados a seguir.

1. Evolução da tecnologia agrícola

Foram definidos três cenários básicos para a evolução tecnológica de produção de cana-de-açúcar, representando o estágio atual e as situações esperadas para o médio (2015) e longo (2025) prazos.

Cenário I: Preparo do solo convencional, plantio manual com adubação sólida, colheita manual de cana queimada, com a utilização de equipamentos convencionais, de bitola inferior a 2,00 m, e tráfego moderado.

Cenário II: Preparo do solo reduzido, com eliminação química de soqueiras, subsolagem e sulcação direta, plantio e colheita mecanizada de cana sem queimar, com recuperação parcial da palha, e utilização em todas as operações de equipamentos convencionais, de bitola inferior a 2,00 m, e tráfego intenso.

Cenário III: Plantio direto, com eliminação química de soqueiras, utilização em todas as operações de estruturas de bitola extra-larga, com linhas definidas de tráfego, operando no esquema de agricultura de precisão, sem restrições de topografia; colheita simultânea de colmos e palha da cana sem queimar, baixos níveis de perdas, sistema centralizado de manutenção e gerenciamento de frotas e de operações agrícolas com dados captados, processados e realimentados via satélite.

2. Evolução da tecnologia industrial

Foi quantificada a melhoria esperada para 2015 nos principais índices de desempenho da tecnologia atual, como mostrado na tabela abaixo.

Desempenho Atual		Meta	Ações
Extração de açúcar (%)	96,3	97,5	Melhorias na moagem
Perdas na lavagem de cana (%)	0,47	0	Eliminação da lavagem
Perdas na torta dos filtros (%)	0,54	0,25	Melhoria operacional
Rendimento fermentativo (%)	89,7	91	Otimização da fermentação
Relação vinhaça/etanol	11,9	9,5-7,9	Aumento do grau alcoólico do vinho
Teor de álcool na vinhaça (%)	0,036	0,015	Introdução de sensores e automação
Grau alcoólico do vinho	8,4	10-12	Redução da temperatura de fermentação

Algumas tecnologias novas, mas não utilizadas ainda, foram analisadas e indicaram um excelente potencial de redução do consumo energético. Por exemplo, na desidratação do etanol, o consumo de vapor poderá ser reduzido dos atuais 1,75 kg/l de etanol na desidratação azeotrópica praticada hoje, para 0,11 kg/l de etanol do sistema de pervaporação (membranas) em 2015.

Os principais problemas em relação à vinhaça foram identificados como sendo o volume produzido e o alto teor de sulfatos. A solução desses problemas terá que ser integrada na Usina Modelo.

3. Perfil empresarial do setor de fornecedores de equipamentos e serviços

As principais empresas fornecedoras de equipamentos e serviços para o setor foram contadas e as informações obtidas das 76 analisadas (16 de equipamentos agrícolas, 48 de equipamentos industriais e 8 de serviços) permitiram formar um quadro de avaliação.

Os fornecedores de equipamentos industriais foram divididos em quatro grupos: (1) fornecedores de todo complexo industrial (chave na mão), (2) fornecedores de equipamentos de maior porte, (3) fornecedores de equipamentos auxiliares e (4) fornecedores de acessórios. Os grupos (3) e (4) mostraram-se mais ágeis em incorporar inovações tecnológicas e melhorias gerenciais e com maior capacidade de aumentar expressivamente a capacidade de fornecimento ao setor. Já os grupos (1) e (2) são mais lentos em evoluir tecnicamente e estão, no momento, no limite da capacidade de produção.

I Ë/^& [[* ãe Á{ ^!*^} c•

As tecnologias emergentes analisadas foram principalmente as que possibilitam um aproveitamento da fibra da cana para produção de etanol ou geração de energia elétrica.

Tanto o bagaço como a palha foram caracterizados a partir de dados da literatura técnica, e os principais resultados estão resumidos na tabela abaixo.

Á

Composição (%) base seca	Bagaço	Fibra	Medula	Palha
Celulose	46,6	47,7	41,2	45,1
Pentosanos	25,2	25,0	26,0	25,6
Lignina	20,7	19,5	21,7	14,1
Cinzas	2-3	n.d.	n.d.	8
Outros	5,5-4,5	7,8	11,1	7,2
Umidade	48-52	n.d.	n.d.	9,7

Apesar de muito semelhantes, o bagaço, seus componente e a palha apresentam certas diferenças importantes que indicam a necessidade de tratamentos diferenciados e aproveitamentos diferentes. Para o uso em hidrólise, o teor de cinzas deverá ser reduzido ao máximo e, dos componentes do bagaço, a fibra é a mais indicada; a medula deve ser preferencialmente direcionada para as caldeiras.

Quanto à conversão de bagaço em etanol, foram definidos cinco cenários de melhorias, para possibilitar a estimativa dos parâmetros técnicos ao longo do tempo. Os valores da taxa de conversão vão de 69 litros de etanol por tonelada de bagaço úmido (50%) até 149 l/t, dependendo do estágio tecnológico.

5. Áreas de produção de cana

As 12 áreas estudadas na Fase 1 foram reavaliadas e a disponibilidade de terras com potencial de produção alto e bom, livres para a produção de cana, passou de 28,5 para 32,7 milhões de hectares. Cinco novas áreas foram incorporadas ao estudo, levando a 17 áreas, totalizando 53,4 milhões de hectares de terras com potencial de produção alto e bom. Desse potencial, 42,2 milhões de hectares estão disponíveis para a produção de cana-de-açúcar, excluindo-se as áreas já ocupadas com culturas permanentes e temporárias. Se considerados os índices de produtividade atuais, esses 42,2 milhões de hectares permitiriam a produção de 205

bilhões de litros de etanol, que é a meta do cenário de substituição de 10% da gasolina consumida no mundo em 2025.

6. Dinamização dos cenários

Para permitir a dinamização dos cenários de expansão da produção de etanol, o consumo interno desse combustível foi projetado até 2025, assim como as demandas de açúcar para os mercados interno e de exportação.

Nesse caso, uma frota de 50 milhões de veículos leves estaria consumindo 42,7 bilhões de litros de etanol anidro equivalente. A produção de açúcar teria que atingir 61,5 milhões de toneladas para atender aos mercados interno e externo, em 2025.

Com os ganhos de produtividade avaliados como possíveis de serem obtidos, a área necessária para a produção dos 205 bilhões de litros de etano em 2025 seria de cerca de 30 milhões de hectares, incluindo-se aí as áreas de preservação ambiental. Nessas mesmas condições, a área necessária para atender ao mercado interno de álcool e a produção total estimada de açúcar seria, respectivamente, de 6,2 e 4,0 milhões de ha.

Sendo assim, para satisfazer as necessidades internas e externas em 2025, a cana-de-açúcar ocuparia cerca de 40 milhões de ha.

Estimou-se também que a área utilizada pelas outras culturas, que não a cana, evoluiria dos 55 milhões hectares atuais para 66,2 milhões de hectares em 2025. Não foi considerada a necessidade de área para a produção de biodiesel.

Recomendações preliminares

Esses resultados permitem uma reflexão preliminar sobre algumas recomendações de políticas públicas voltadas para o setor de etanol, em particular no que diz respeito à pesquisa científica, desenvolvimento tecnológico e inovação. Os pontos mais relevantes a serem levados em consideração são:

- Realizar estudo prospectivo complementar de solo, clima e impacto ambiental para o cultivo da cana-de-açúcar, e análise técnica e econômica para o uso de

etanol como combustível, num cenário de expansão em grande escala da produção e uso de biocombustíveis;

- Avaliar a situação atual das áreas tradicionais de baixa produtividade (NE e RJ) e recomendações de alternativas de recuperação e inserção competitiva dessas áreas na dinâmica interna e externa de expansão da produção de etanol;
- Promover o desenvolvimento de novos processos de produção de bioetanol, contemplando:
 - Base genética e varietal orientada para a produção de bioenergia, e adequada às diversas regiões do país e a outras regiões do mundo;
 - Biotecnologia aplicada a biocombustíveis;
 - Métodos bioquímicos e termoquímicos de obtenção de bioetanol a partir de subprodutos e resíduos;
 - Biorrefinarias
- Implantar no Brasil um centro de excelência em pesquisa e desenvolvimento de bioetanol, de classe internacional, capaz de complementar, incrementar e consolidar nossas competências em hidrólise de material lignocelulósico, rotas de gaseificação F-T e outras, biorefinaria, sucroquímica, alcoolquímica, bens de capital e processos para as cadeias produtivas, etc., visando a consolidação e a ampliação da vantagem competitiva do País, compreendendo localização, instalação; infra-estrutura laboratorial e de equipamentos, constituição da equipe, recursos para investimento e financiamento, modelo de governança, etc.;
- Propor diretrizes, após um levantamento do atual quadro legal no País, para a elaboração de um marco regulatório para o álcool combustível;
- Levantar legislação e políticas na União Européia (UE) e outras regiões sobre adição de álcool combustível à gasolina;
- Analisar o desenvolvimento das tecnologias de equipamentos de geração de energia elétrica, e das condições de expansão sustentável da bioeletricidade e sua integração competitiva na matriz de energia elétrica do País;
- Promover a redução de custos e melhoria da sustentabilidade da cadeia produtiva do etanol, visando ganhos de produtividade, otimização das operações

agrícolas, ganhos na eficiência industrial, redução dos efluentes e seu reciclo, redução do consumo de água e energia, e otimização do uso de insumos e diversificação das fontes de abastecimento (novas rochas);

- Promover programas de financiamento em toda a extensão da cadeia produtiva do etanol, com foco em P&D&I;
- Consolidar a política científica, tecnológica e de Inovação nacional em biocombustíveis líquidos e sólidos renováveis, visando dotar o país do conhecimento e dos meios para manter e ampliar a posição de liderança internacional na área de produção e uso sustentável desses biocombustíveis, com foco no desenvolvimento social e econômico, nas suas dimensões regional, nacional e internacional.

SUMÁRIO

1.	AVALIAÇÃO DETALHADA DE UMA ÁREA SELECIONADA NA FASE 1 DO PROJETO COM POSSÍVEL COMPLEMENTAÇÃO COM NOVAS ÁREAS	01
1.1.	ESTUDO DA ÁREA 10, SELECIONADA NA FASE 1, UTILIZANDO-SE MAPAS DE SOLO E CLIMA EM ESCALA DE 1:5.000.000	01
1.1.1.	CULTURAS PERMANENTES E TEMPORÁRIAS – ÁREA 10.....	08
1.1.2.	ÁREA 10: ÁREA DISPONÍVEL E POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE ETANOL EM 2025	09
1.1.2.1.	POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE ETANOL NA ÁREA 10.....	09
1.2.	MELHORIA DA AVALIAÇÃO PRELIMINAR DE USO DA TERRA FEITA NA FASE 1	10
1.2.1.	REVISÃO DAS DOZE ÁREAS SELECIONADAS NA FASE 1 DO PROJETO	10
1.2.1a	A ÁREA 2 REVISADA – UM EXEMPLO	12
1.3.	IDENTIFICAÇÃO DA NECESSIDADE DE ÁREAS ADICIONAIS ÀS SELECIONADAS NA FASE 1.....	14
1.3.1.	METODOLOGIA	14
1.3.2.	INSERÇÃO DE 5 NOVAS ÁREAS.....	17
1.3.3.	EXPANSÃO DE NOVAS ÁREAS PARA ATINGIR O CENÁRIO 2	19
1.3.4.	CULTURAS PERMANENTES E TEMPORÁRIAS.....	20
1.3.5.	PROJEÇÃO DA EVOLUÇÃO DAS CULTURAS PERMANENTES E TEMPORÁRIAS (EXCETO CANA-DE-AÇÚCAR)	21
1.3.6.	TERRAS DISPONÍVEIS NAS 17 ÁREAS SELECIONADAS CONSIDERANDO-SE A EVOLUÇÃO DAS CULTURAS	24
1.3.7.	DISPONIBILIDADE DE ÁREAS E POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE ETANOL ATUAL	27
1.3.7.1.	COMPORTAMENTO DA PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR	27
1.4.	OUTRAS MATÉRIAS-PRIMAS PARA A PRODUÇÃO DE ETANOL	32
1.4.1.	INTRODUÇÃO	32
1.4.2.	MATÉRIAS-PRIMAS IMPORTANTES	33
1.4.3.	COMENTÁRIOS FINAIS.....	49

2.	QUANTIFICAÇÃO DOS IMPACTOS DAS NOVAS TECNOLOGIAS DE PRODUÇÃO DE ETANOL E DE MATÉRIAS-PRIMAS ALTERNATIVAS E/OU COMPLEMENTARES.....	51
2.1.	IDENTIFICAÇÃO DAS BARREIRAS TECNOLÓGICAS, INCLUSIVE DAS DEFICIÊNCIAS DO SETOR DE BENS DE CAPITAL	51
2.1.1.	COLHEITA	52
2.1.2.	TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE VINHOTO	55
2.1.3.	PERFIL DA AGROINDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA.....	58
2.1.4.	PERFIL DO SETOR FORNECEDOR DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS	59
2.2.	QUANTIFICAÇÃO MAIS CONFIÁVEL DOS ÍNDICES TÉCNICOS DAS TECNOLOGIAS EMERGENTES, E DA EVOLUÇÃO DESTES ÍNDICES	65
2.3.	AVALIAÇÃO DE IMPACTOS DAS TECNOLOGIAS TRANSVERSAIS VERSUS TECNOLOGIAS DISRUPTIVAS, NOS PRÓXIMOS 20 ANOS, NA PRODUÇÃO DE ETANOL.....	66
2.4.	COMPARAÇÃO DAS TECNOLOGIAS AVANÇADAS EM DESENVOLVIMENTO NO BRASIL COM OUTRAS SEMELHANTES EM DESENVOLVIMENTO NO EXTERIOR: HIDRÓLISE DE BAGAÇO PARA OBTENÇÃO DE ETANOL	75
2.4.1.	CARACTERÍSTICAS DA MATÉRIA-PRIMA: BAGAÇO E RESÍDUOS DA COLHEITA	76
2.4.2.	PROCESSO DHR - PROCESSO DE HIDRÓLISE ÁCIDA DILUÍDA DE MATÉRIAS LIGNO-CELULÓSICAS (BAGAÇO E PALHA DE CANA-DE-AÇÚCAR) EM SOLVENTE AQUO-ORGÂNICO PARA OBTENÇÃO FINAL DE ETANOL COMBUSTÍVEL	81
2.4.3.	INSERÇÃO DA HIDRÓLISE DO BAGAÇO ANEXA À DESTILARIA DE PRODUÇÃO DE ETANOL PARA AUMENTAR A OFERTA DE ETANOL	89
2.5.	DEFINIÇÃO DO CRONOGRAMA DE INSERÇÃO DESSAS TECNOLOGIAS E DA EVOLUÇÃO DOS ÍNDICES TÉCNICOS.....	97
2.6.	AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DAS NOVAS TECNOLOGIAS E OUTROS AVANÇOS NOS REQUISITOS DE ÁREA DE CULTIVO DA CANA E NOS CUSTOS DE PRODUÇÃO DE ETANOL.....	98
2.7	INTEGRAÇÃO ENERGÉTICA OTIMIZADA DAS NOVAS TECNOLOGIAS COM O PROCESSO CONVENCIONAL.....	98

2.8	AVALIAÇÃO DAS TECNOLOGIAS AVANÇADAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA TIPO GASEIFICAÇÃO / TURBINA A GÁS – GASEIFICAÇÃO DA BIOMASSA E USO DA PALHA	105
2.8.1	A TECNOLOGIA BIG-CC	107
2.8.2	PROJETOS DE DEMONSTRAÇÃO DA TECNOLOGIA BIG-CC.....	108
2.8.3	PERSPECTIVAS DE DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA BIG-CC.....	110
2.8.4	INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS BIG-CC ÀS USINAS DE AÇÚCAR E ETANOL.....	113
2.8.5	GASEIFICAÇÃO DE BIOMASSA PARA A PRODUÇÃO DE COMBUSTÍVEIS LÍQUIDOS	115
2.8.6	COMBUSTÃO DA PALHA EM SUBSTITUIÇÃO AO BAGAÇO	116
2.9	ESTUDO DAS ROTAS PARA RECUPERAÇÃO DA PALHA DA CANA E ESTIMATIVA DE CUSTOS.....	118
2.10	AVALIAÇÃO DO USO DE OUTROS RESÍDUOS AGROFLORESTAIS	123
2.11	CARACTERIZAÇÃO DE UMA DESTILARIA COM NOVAS TECNOLOGIAS	128
3	ESTUDO DE ALTERNATIVAS PARA O SISTEMA DE ESCOAMENTO DA PRODUÇÃO DE ETANOL PARA EXPORTAÇÃO	136
3.1	INFRA-ESTRUTURA ATUAL E MATRIZ DE TRANSPORTE	136
3.2	ALTERNATIVAS DE TRANSPORTE PARA CADA CLUSTER LEVANDO EM CONSIDERAÇÃO A INFRA-ESTRUTURA EXISTENTE OU PLANEJADA.....	137
3.2.1	PLANO DE ACELERAÇÃO DO CRESCIMENTO (PAC)	137
3.2.2	A PETROBRÁS TRANSPORTES S.A. – TRANSPETRO	138
3.3	DETALHAMENTO DA DISTRIBUIÇÃO DA PRODUÇÃO DE ETANOL E VIAS DE ESCOAMENTO PARA EXPORTAÇÃO	139
3.3.1	DISTRIBUIÇÃO DA PRODUÇÃO DE ETANOL.....	140
3.3.2	ESCOAMENTO DA PRODUÇÃO DE ETANOL – ANO 10 (2015)	141
3.3.3	ESCOAMENTO DA PRODUÇÃO DE ETANOL – ANO 20 (2025).....	143
3.4	LEVANTAMENTO DETALHADO DA SITUAÇÃO DOS TERMINAIS MARÍTIMOS AFETADOS PELA EXPORTAÇÃO DE ETANOL E DAS NECESSIDADES DE MELHORIAS	145

3.4.1	PORTOS INCLUÍDOS NA EXPANSÃO E EXPORTAÇÃO DE ETANOL.....	146
3.4.1.1	PORTO DE VILA DO CONDE.....	146
3.4.2	AS HIDROVIAS BRASILEIRAS.....	148
3.4.2.1	PRINCIPAIS HIDROVIAS DO BRASIL.....	149
3.4.2.2	A HIDROVIA COMO SISTEMA DE TRANSPORTE.....	151
3.5	ALTERNATIVAS DE TRANSPORTE PARA EXPORTAÇÃO DE ETANOL E INVESTIMENTOS NECESSÁRIOS	155
3.5.1	ESTIMATIVA MAIS DETALHADA DOS CUSTOS DE TRANSPORTE DO ETANOL DE CADA CLUSTER DE USINAS AO TERMINAL MARÍTIMO SELECIONADO.....	156
4	CONSTRUÇÃO DE CENÁRIOS SOBRE A PRODUÇÃO DE ETANOL NO BRASIL E DESCRIÇÃO DAS TRANSFORMAÇÕES DO SISTEMA SÓCIO-ECONÔMICO BRASILEIRO	160
4.1	DINAMIZAÇÃO DOS CENÁRIOS DE EXPANSÃO DA PRODUÇÃO E CONSUMO DE AÇÚCAR E DE ETANOL	160
4.1.1	DINAMIZAÇÃO DA DEMANDA DE TERRAS.....	160
4.1.1.1	COMPORTAMENTO DO CONSUMO INTERNO DE ETANOL E O SEU IMPACTO NA DEMANDA DE TERRAS	161
4.1.1.2	DINAMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO DE AÇÚCAR E O SEU IMPACTO NA DEMANDA DE TERRAS.....	163
4.1.2	DINAMIZAÇÃO DA OFERTA DE ÁLCOOL ANIDRO.....	166
4.1.2.1	ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS.....	166
4.1.2.2	CENÁRIOS DE EXPANSÃO DA OFERTA	168
4.1.2.3	CENÁRIOS REGIONAIS.....	172
4.1.2.4	BALANÇO DE TERRAS	174
4.2	IMPACTOS MACROECONÔMICOS DOS CENÁRIOS DE EXPORTAÇÃO	176
4.3	CONCLUSÃO	181
4.4	AVALIAÇÃO DE RISCOS DO MERCADO PREVISTO NÃO SE CONCRETIZAR	183
4.4.1	INTRODUÇÃO.....	183

4.4.2	RISCOS DE QUE O ETANOL NÃO SEJA IMPORTANTE ALTERNATIVA.....	183
4.4.3	RISCOS DE QUE A PRODUÇÃO DE ETANOL NÃO OCORRA COMO ESPERADO	185
4.4.4	RISCOS DE QUE O MERCADO INTERNACIONAL NÃO ABSORVA TODA POTENCIAL PRODUÇÃO BRASILEIRA	187
4.4.5	OUTROS FATORES DE RISCO	189
4.4.6	O PAPEL DAS NEGOCIAÇÕES.....	191
4.4.7	ASPECTOS COMPLEMENTARES	192
4.5	ANÁLISE SOCIOECONÔMICA DOS IMPACTOS REGIONAIS DE EXPANSÃO DA PRODUÇÃO DE ETANOL NO IDH	192
5	AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS SOCIOECONÔMICOS	198
5.1	O MODELO BÁSICO DO INSUMO-PRODUTO	199
5.2	O MODELO ESTENDIDO DE INSUMO-PRODUTO	205
5.3	BASE DE DADOS.....	212
5.4	O MODELO DE INSUMO-PRODUTO INTER-REGIONAL	215
5.5	IMPACTOS SOCIOECONÔMICOS REGIONAIS.....	222
5.6	RECOMENDAÇÃO DE POLÍTICAS PÚBLICAS.....	235
6	PROJEÇÃO DAS MELHORIAS DE PRODUTIVIDADE E EFICIÊNCIA NO PERÍODO 2005-2025 E SUA INSERÇÃO NO CENÁRIO DE CRESCIMENTO DA PRODUÇÃO DE ETANOL	249
6.1	SELEÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DOS IMPACTOS DAS MELHORIAS NAS TECNOLOGIAS EM USO ATUALMENTE	249
6.2	INSERÇÃO DAS MELHORIAS NO CENÁRIO DE CRESCIMENTO DE PRODUÇÃO	250
6.3	ESTUDO DA INSERÇÃO DA GERAÇÃO DE ELETRICIDADE EXCEDENTE PARA CADA ÁREA SELECIONADA, INCLUINDO OS ASPECTOS DE MARCO REGULATÓRIO DO MERCADO NACIONAL DE ENERGIA	258
6.4	IMPACTO DA RECUPERAÇÃO E BENEFICIAMENTO DE SUBPRODUTOS E OBTENÇÃO DE NOVOS PRODUTOS DA CANA	262

6.5	CARACTERIZAÇÃO DE UMA USINA MODELO COM A TECNOLOGIA CONVENCIONAL DE MODO A ASSEGURAR AS VANTAGENS COMPETITIVAS (COGERAÇÃO, MECANIZAÇÃO AGRÍCOLA, AUTOMAÇÃO ETC.)	266
7	SUSTENTABILIDADE	270
7.1	AVALIAÇÃO AMBIENTAL ESTRATÉGICA	270
7.2	AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DA PRODUÇÃO E USO DO ETANOL	276
7.3	AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DO PROGRAMA DE EXPANSÃO	276
7.3.1	INTRODUÇÃO	276
7.3.2	OBJETIVO E ESCOPO	277
7.3.3	METODOLOGIA	277
7.3.4	AVALIAÇÃO PRELIMINAR DA SITUAÇÃO DA PRODUÇÃO DE ETANOL NO BRASIL FRENTE AOS CRITÉRIOS DE SUSTENTABILIDADE.....	280
7.3.4.1	EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA (GEE) E BALANÇO ENERGÉTICO	280
7.3.4.2	COMPETIÇÃO COM ALIMENTOS, ENERGIA E OUTROS.....	282
7.3.4.3	BIODIVERSIDADE	284
7.3.4.4	RIQUEZA	287
7.3.4.5	BEM ESTAR SOCIAL	289
7.3.4.6	MEIO AMBIENTE.....	295
7.3.4.7	COMENTÁRIOS FINAIS.....	305
7.4	RECOMENDAÇÃO DE MEDIDAS MITIGADORAS	306
8	IDENTIFICAÇÃO DAS NECESSIDADE DE P&D E SUGESTÃO DE ALTERNATIVAS PARA O SEU FINANCIAMENTO (“FUNDO SETORIAL”)	307
8.1	IDENTIFICAÇÃO DAS ÁREAS MAIS PROPÍCIAS PARA INVESTIMENTOS EM P&D NO SETOR SUCROALCOOLEIRO	307
8.1.1	PESQUISAS BÁSICAS NO SETOR DO ÁLCOOL.....	307

8.1.2	ÁREAS MAIS PROPÍCIAS DE P&D NA CADEIA PRODUTIVA CANA-ETANOL	310
8.1.2.1	ÁREA AGRÍCOLA	310
8.1.2.2	ÁREA INDUSTRIAL.....	311
8.1.2.3	ÁREA ENERGÉTICA	312
8.1.2.4	SUSTENTABILIDADE	313
8.1.2.5	USO FINAL	313
8.2	QUANTIFICAÇÃO DOS IMPACTOS DESTAS MELHORIAS.....	314
8.2.1	EVOLUÇÃO DA TECNOLOGIA AGRÍCOLA.....	316
8.2.2	EVOLUÇÃO DA TECNOLOGIA INDUSTRIAL.....	318
8.2.3	EVOLUÇÃO DA TECNOLOGIA ENERGÉTICA	320
8.2.4	EVOLUÇÃO DA TECNOLOGIA NA SUSTENTABILIDADE	321
8.3	SUGESTÃO DE ORÇAMENTO E CRONOGRAMA PARA O DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO	323
8.3.1	OS FUNDOS SETORIAIS E O P&D EM ETANOL.....	323
8.3.2	CRONOGRAMA DE DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO	327
8.4	SUGESTÃO PARA CRIAÇÃO DE UM FUNDO DE DESENVOLVIMENTO PARA ETANOL E FONTES DE RECURSOS	327
8.4.1	FORMA DE FINANCIAMENTO DO FUNDO.....	328
8.5	ESTUDO DE INCENTIVOS FISCAIS E EMPRÉSTIMOS DIFERENCIADOS QUE INDUZAM O DESENVOLVIMENTO DAS ÁREAS PREVISTAS E TORNEM MENOS ATRAENTES A PRODUÇÃO DE ÁLCOOL EM ÁREAS INDESEJÁVEIS.....	329
8.5.1	INCENTIVOS VISANDO MELHORIAS TECNOLÓGICAS OU O EMPREGO DE TECNOLOGIAS DISRUPTIVAS	330
8.5.2	INCENTIVOS AOS NOVOS EMPREENDIMENTOS (NOVAS USINAS) EM ÁREAS CONSIDERADAS MAIS DESEJADAS	331
8.6	ESTUDO EXPLORATÓRIO PARA UMA POLÍTICA PÚBLICA EM ETANOL	332
8.6.1	BREVE DIAGNÓSTICO DA SITUAÇÃO DO SETOR SUCROALCOOLEIRO NO BRASIL E SUAS PERSPECTIVAS FUTURAS.....	333
8.6.2	OBJETIVOS DAS POLÍTICAS PÚBLICAS PARA P&D&I EM ETANOL.....	335

8.6.3	INSTRUMENTOS DE POLÍTICAS PÚBLICAS.....	337
8.7	ANÁLISE DAS IMPLICAÇÕES DOS CENÁRIOS SOBRE O SISTEMA DE C&T BRASILEIRO E SIMULAÇÃO DA NECESSIDADE DE INVESTIMENTOS EM INFRA-ESTRUTURA PARA ATENDER AS NECESSIDADES DE EXPANSÃO E DE OFERTA.....	338
8.8	DEFINIÇÃO DE INDICADORES	339
8.8.1	INDICADORES AGRÍCOLAS	339
8.8.2	INDICADORES INDUSTRIAIS	340
8.8.3	INDICADORES DA ÁREA ENERGÉTICA	341
8.8.4	INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE	342
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	343

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1	01
Figura 1.1-1a: Diversidade de solo	02
Figura 1.1-1b: Área 10 – Potencial de solos	03
Figura 1.1-2: Área 10 - Potencial climático – classificação Köppem	04
Figura 1.1-3: Área 10 – Declividade e outras reservas	06
Figura 1.1-4: Área 10 – Potencial de produção de cana-de-açúcar	07
Figura 1.2.1a-1: Área 2 (MT) Fase 1	13
Figura 1.2.1a-2: Área 2 (MT) Fase 2	13
Figura 1.3.1-1: Potencial para produção de cana-de-açúcar sem irrigação	15
Figura 1.3.1-2: Área 2 – <i>Layer</i> de cada município para a área 2	16
Figura 1.3.1-3: Área 2 – <i>Layer</i> de cada município interpolado	17
Figura 1.3.2-1: Inserção de cinco novas áreas (13 a 17)	18
Figura 1.4.2-1: Produção do Etanol	40
Figura 1.4.2-2: Produção de Etanol a partir do Melão da Cana-de-açúcar	41
Capítulo 2	51
Figura 2.3-1: Mecanização convencional vs estrutura de tráfego controlado (ETC)	72
Figura 2.3-2: ETC desenvolvida pelas Indústrias Militares de Israel (IMI)	73
Figura 2.4.2-1: Fluxograma simplificado do processo DHR.....	83
Figura 2.4.2-2: Processo IOGEN	85
Figura 2.4.3-1: Processo de hidrólise anexo à destilaria padrão.....	92
Figura 2.7-1: Tela do programa mostrando o fluxograma completo do sistema de cogeração	101
Figura 2.8.1-1: Representação esquemática de um sistema BIG-CC	107

Figura 2.8.3-1: Custo da eletricidade gerada, em cenário atual, com gás natural a 3,00 US\$/GJ, e biomassa (bagaço da cana) a 1,20 US\$/GJ	112
Figura 2.8.3-2: Custo da eletricidade gerada em cenário de médio prazo, com gás natural a 5,00 US\$/GJ, e biomassa (bagaço da cana) a 2,00 US\$/GJ.....	113
Figura 2.8.4-1: Integração parcial de um sistema BIG-GT à uma usina de açúcar e etanol	114
Figura 2.9-1: Processo de recuperação e uso da palha	120
Capítulo 3	136
Figura 3.1-1: Comparativo da matriz de transporte de cargas.....	137
Figura 3.2.1-1: Porto Vila do Conde e eclusa de Tucuruí (PA).....	138
Figura 3.3.2-1: Desenho logístico para exportação – Ano 10.....	142
Figura 3.3.3-1: Logística para exportação de 205 milhões de m ³ – Ano 20	144
Figura 3.4.1.1-1: Porto de Vila do Conde (PA)	147
Figura 3.4.2.1-1: Mapa das principais hidrovias do Brasil	150
Figura 3.4.2.2-1: Evolução do Transporte de cargas na Hidrovia Tietê- Paraná.....	152
Capítulo 4	160
Figura 4.1.1.1-1: Composição da frota de veículos leves – Brasil	162
Figura 4.1.1.2-1: Evolução da produção e exportação de açúcar	165
Figura 4.1.1.2-2: Área adicional total para a produção de açúcar (06/07-24/25)	165
Figura 4.1.2.2-1: Evolução do número acumulado de destilarias e da produção de cana-de-açúcar para o cenário 1 – Tecnologia Progressiva	171
Figura 4.1.2.2-2: Evolução do número acumulado de destilarias e da produção de cana-de-açúcar para o cenário 2 – Tecnologia Progressiva	172
Figura 4.2-1: Investimento do Cenário 1 – Tecnologia Progressiva, relação dos investimentos anuais com a formação bruta de capital fixo (FBCF) de 2005.....	177

Figura 4.2-2: Cenário 2 – Tecnologia Progressiva, relação dos investimentos anuais com a formação bruta de capital fixo (FBCF) de 2005	178
Figura 4.2-3: Cenário 2 – Tecnologia Progressiva, participação dos investimentos em exportação no investimento anual do país e no PIB.....	179
Figura 4.2-4: Valor das exportações brasileiras de álcool nos Cenários 1 e 2.....	181
Figura 4.4.3-1: Estimativa dos custos de produção de etanol em horizonte de 5 – 20 anos.....	186
Figura 4.5-1: Mapa do IDH dos municípios brasileiros.....	193
Capítulo 5	198
Figura 5.1-1: O modelo de insumo-produto.....	200
Figura 5.4-1: Estrutura da matriz inter-regional usada no modelo	218
Figura 5.6-1: Localização de empreendimentos recentes na região Centro-Sul	236
Figura 5.6-2: Os mundos de produção de Storper	237
Capítulo 6	249
Figura 6.3-1: Regiões com maior potencial de produção de eletricidade excedente (identificadas em amarelo).....	261
Figura 6.4-1: Diagrama de blocos do processo.....	263
Capítulo 7	270
Figura 7.1-1: Visão geral da relação entre a política proposta de expansão da produção de etanol, políticas públicas relacionadas e o meio ambiente	272
Figura 7.1-2: Esquema geral da análise	273
Figura 7.4.6-1 Relação entre a demanda e disponibilidade de recursos hídricos no Brasil	300
Capítulo 8	305
Figura 8.4-1: Investimento do Brasil em P&D em relação ao PIB	329

LISTA DE TABELAS

Capítulo	01
Tabela 1.1-1: Potencial de produtividade da Área 10 (em hectares).....	06
Tabela 1.1-2: Área 10: Municípios	07
Tabela 1.1.1-1: Principais culturas – Área 10	08
Tabela 1.1.2-1: Área 10 – área disponível em 2025 (ha).....	09
Tabela 1.2.1-1: Revisão das doze áreas e dos municípios.....	10
Tabela 1.2.1-2: Doze Áreas Revisadas – (em ha).....	11
Tabela 1.2.1-3: Adequação do potencial de área e produção de etanol.....	11
Tabela 1.2.1a-1: Revisão da área 2 – Mato Grosso	12
Tabela 1.3.2-1: 17 áreas e 623 municípios selecionados	19
Tabela 1.3.3-1: Fase 2 – Dezessete áreas selecionadas (ha).....	19
Tabela 1.3.3-2: Terras disponíveis nas 17 áreas selecionadas	20
Tabela 1.3.4-1a: Culturas permanentes	21
Tabela 1.3.4-1b: Culturas temporárias	21
Tabela 1.3.5-1: Brasil – Culturas temporárias e permanentes (em 1000 ha).....	22
Tabela 1.3.5-2: Evolução das culturas nos Estados selecionados	23
Tabela 1.3.6-1: Participação percentual da produtividade na Área 1.....	24
Tabela 1.3.6-2: Área disponível em 2015 e 2025 na Área 1	25
Tabela 1.3.6-3: Total de terras disponíveis nas 17 áreas, em 2025.....	26
Tabela 1.3.7-1: Potencial das 17 áreas selecionadas em 2025	27
Tabela 1.3.7.1-1: Produtividade tc/ha	28
Tabela 1.3.7.1-2: Potencial de produção de cana-de-açúcar e etanol - 2025	29
Tabela 1.3.7.1-2: Potencial de produção de cana-de-açúcar e etanol - 2025	30

Tabela 1.3.7.1-3: Potencial de produção das 17 áreas atual e 2025.....	31
Tabela 1.4.2-1: Rendimentos em etanol de várias matérias-primas	33
Tabela 1.4.2-2: Composição típica do milho	34
Tabela 1.4.2-3: Produção de milho em alguns países.....	35
Tabela 1.4.2-4: Composição típica do melão	37
Tabela 1.4.2-5: Processos microbianos no uso do melão e os produtos obtidos	38
Tabela 1.4.2-6: Principais produtores de mandioca.....	42
Tabela 1.4.2-7: Produção de batata doce no mundo	44
Tabela 1.4.2-8: Composição da batata doce	45
Tabela 1.4.2-9: Produção de beterraba açucareira no mundo.....	48
Tabela 1.4.3-1: Matérias-primas para produção de etanol	50
Capítulo 2	51
Tabela 2.1-1: Barreiras e recursos tecnológicos para o aprimoramento da produção da cana-de-açúcar	52
Tabela 2. 1.1-1: Relação dos principais equipamentos utilizados na produção da cana-de-açúcar no cenário atual e previsão de sua inserção para 2015 e 2025	54
Tabela 2.1.4-1: Quantidade estimada dos principais equipamentos em operação na produção da cana-de-açúcar nos cenários atual, 2015 e 2025.....	61
Tabela 2.1.4- 2: Produção praticada anualmente e potencial de produção de empresas de máquinas e implementos agrícolas da região de Ribeirão Preto-SP	62
Tabela 2.2 -1: Evolução dos índices técnicos com a adoção de novas tecnologias	65
Tabela 2.3-1: Impactos das tecnologias no desempenho agrícola	67
Tabela 2.3-2: Uma previsão de melhoristas da cana-de-açúcar com relação à produtividade e qualidade para os cenários de 2015 e 2025.....	68

Tabela 2.3-3: Custos estimados da mecanização convencional e com ETC's.....	74
Tabela 2.4.1-1: Composição do bagaço e da palha de cana-de-açúcar	77
Tabela 2.4.1-2: Bagaço Padrão (composição calculada)	78
Tabela 2.4.1-3: Potencial de transformação do bagaço em etanol (litros/tonelada de bagaço)	81
Tabela 2.4.2-1: Desempenho do processo DHR em escala piloto	82
Tabela 2.4.3-1: Parâmetros operacionais da hidrólise anexa à destilaria.....	93
Tabela 2.4.3-2: Parâmetros operacionais da hidrólise anexa à destilaria.....	94
Tabela 2.4.3-3 Custo de produção do etanol da hidrólise.....	96
Tabela 2.7-1: Parâmetros adotados na simulação da operação do sistema de cogeração com configuração "Otimizada".....	103
Tabela 2.7-2: Parâmetros adotados na simulação da operação do sistema de cogeração com configuração "Hidrólise".....	104
Tabela 2.7-3: Introdução de cada configuração do sistema de cogeração segundo os cenários de evolução tecnológica.....	105
Tabela 2.8.2-1: Principais projetos de demonstração da tecnologia BIG-CC.....	109
Tabela 2.8.6-1: Índice de álcalis para as mostras de palha de cana-de-açúcar	117
Tabela 2.9-1: Vantagens e desvantagens da palha deixada no campo.....	121
Tabela 2.10-1: Porcentagem de resíduos por tipo e cultura	123
Tabela 2.10-2: Composição parcial do resíduo e produtividade.....	124
Tabela 2.10-3: Rendimentos dos cenários 01 e 02	125
Tabela 2.10-4: Potencial de produção de álcool anidro (bilhões de litros/ano).....	126
Tabela 2.10-5: Produção de etanol através da madeira	127
Tabela 2.11-1: Perfil de uma destilaria que utiliza novas tecnologias.....	128
Tabela 2.11-2: Destilaria padrão, desempenho conforme a tecnologia industrial proposta para 2015	130
Tabela 2.11-3: Tecnologia disponível em 2015	131

Tabela 2.11-4: Destilaria padrão, desempenho conforme a tecnologia industrial proposta para 2025	132
Tabela 2.11-5 Tecnologia disponível em 2025.....	133
Tabela 2. 11-6: Quadro comparativo, destilaria padrão, destilaria otimizada: situação atual e expectativas para 2015 e 2025	134
Capítulo 3	136
Tabela 3.3.1-1: Produção regional de etanol para exportação em 2015 e 2025	140
Tabela 3.3.1-2: Distribuição da produção de etanol para exportação e <i>clusters</i> – Ano 10 (2015) e Ano 20 (2025)	141
Tabela 3.4.1.1-1: Principais portos e calados – Fase 2	147
Tabela 3.4.1.1-2: Portos atuais que exportam etanol.....	148
Tabela 3. 4.2.2-1: Capacidade de carga dos diferentes meios de transporte.....	152
Tabela 3.4.2.2-2: Capacidade dos comboios nos principais corredores hidroviários brasileiros	154
Tabela 3.5-1: Custos logístico estimado (US\$/m ³) – Ano 10	155
Tabela 3.5-2: Investimento para a construção de centros coletores, dutos e terminais aquaviários	156
Tabela 3.5.1-1: Custo do transporte interno (US\$/m ³).....	157
Tabela 3. 5.1-2: Comparativo de custo de frete, a partir do SE do Brasil.....	158
Capítulo 4	160
Tabela 4.1.1.1-1: Evolução da frota de veículos leves – Brasil (2005-2025) (em mil unidades).....	161
Tabela 4.1.1.1-2: Consumo de álcool combustível (2025)	162
Tabela 4.1.1.2-1: Produção brasileira de açúcar (toneladas).....	163

Tabela 4.1.1.2-2: Exportações de açúcar – Brasil.....	164
Tabela 4.1.2.1-1: Aumento de produtividade na fase industrial	167
Tabela 4.1.2.1-2: Aumento de produtividade previstos	167
Tabela 4.1.2.2-1: Rendimentos da fase industrial dos 4 cenários tecnológicos (l/tc)	169
Tabela 4.1.2.2-2: Cenários de exportação – produção de cana, produtividade e número destilarias	170
Tabela 4.1.2.3-1: Cenário 1 com e sem tecnologia: produção de álcool, cana e investimentos.....	173
Tabela 4.1.2.3-2: Cenário 2 com ou sem tecnologia: álcool, cana e investimentos.....	174
Tabela 4.1.2.4-1: Cenário 2 – Balança de terras de acordo com o cenário tecnológico	175
Tabela 4.1.2.4-2: Necessidade de área adicional para atender os cenários 1 e 2	175
Tabela 4.1.2.4-3: Expansão de área total para cana-de-açúcar (em mil/ha).....	176
Tabela 4.2-1: Impactos no PIB da expansão produtiva do álcool nos cenários 1 e 2, com ou sem avanço tecnológico	180
Tabela 4.5-1: Quadro socioeconômico do Brasil por macro-região	194
Tabela 4.5-2: Quadro socioeconômico do Brasil por unidade da Federação (2000).....	195
Tabela 4.5-3: Impactos no IDH	196
Tabela 4.5-4: IDH das unidades da federação sob a simulação 8 (estimado para 2025).....	197
Capítulo 5	198
Tabela 5.1-1: Economia Brasileira agregada em três setores, em 2002	201
Tabela 5.1-2: Matriz de coeficientes técnicos diretos A.....	202
Tabela 5.1-3: A matriz inversa de Leontief.....	202
Tabela 5.1-4: Tabela de transações com as famílias como setor, para o Brasil, em 2002	204

Tabela 5.1-5: A matriz inversa de Leontief para o cálculo dos multiplicadores tipo II.....	204
Tabela 5.2-1: Tabela de transações para o modelo estendido de insumo-produto	207
Tabela 5.2-2: Matriz de coeficientes tecnológicos do modelo estendido de insumo-produto	210
Tabela 5.2-3: Matriz \bar{A} para o caso base	210
Tabela 5.2-4: Matriz \bar{A} para o caso de colheita mecanizada	211
Tabela 5.2-5: Valor da produção, valor adicionado, pessoal ocupado e eletricidade em 2002	211
Tabela 5.2-6: Variações absolutas do valor da produção, valor adicionado, pessoal ocupado e eletricidade	211
Tabela 5.3-1: As tabelas do sistema de contas nacionais no Brasil.....	213
Tabela 5.4-1: Tabela de transações inter-regional	216
Tabela 5.4-2: Exemplo de matriz de coeficientes técnicos inter-regionais	216
Tabela 5.4-3: Exemplo de matriz inversa de Leontief inter-regional	217
Tabela 5.5-1: Simulações realizadas para quantificar os impactos regionais	223
Tabela 5.5-2: Hipóteses assumidas em cada simulação.....	224
Tabela 5.5-3: Impactos sobre o valor da produção (R\$ bilhão de 2005)	225
Tabela 5.5-4: Estimativa do aumento do valor da produção regional em relação a 2005 (%)	227
Tabela 5.5-5: Impactos sobre o PIB (R\$ bilhão de 2005).....	228
Tabela 5.5-6: Estimativa do aumento do PIB regional em relação a 2005 (%).....	229
Tabela 5.5-7: Impactos regionais sobre os empregos (em milhares de Pessoas)	230
Tabela 5.5-8: Estimativa do aumento dos empregos regionais em relação a 2005 (%).....	231
Tabela 5.5-9: Estimativa do aumento da produtividade regional (PIB/empregos) em relação a 2005 (%).....	232
Tabela 5.5-10: Impactos sobre o excedente de eletricidade em toda a economia (TWh).....	233

Tabela 5.5-11: Comparação dos impactos socioeconômicos das exportações de 104,55 bilhões de litros de etanol com o equivalente monetário em produtos do refino do petróleo	234
Tabela 5.6-1: Produção de etanol (2005) [bilhão de litros]	235
Tabela 5.6-2: Colheita de cana-de-açúcar (2005) [milhão de toneladas]	235
Tabela 5.6-3: Usinas de açúcar e álcool no Brasil (2005).....	235
Tabela 5.6-4: Entrada em operação das unidades planejadas	235
Tabela 5.6-5: Distribuição regional das unidades planejadas.....	236
Tabela 5.6-6: Taxas de crescimento	236
Tabela 5.6-7: Impactos totais com o pessoal ocupado [%]	242
Tabela 5.6-8: Impactos totais no valor adicionado setorial [%]	242
Tabela 5.6-9: Impactos totais na oferta excedente de eletricidade [GWh]	242
Apêndice A – Classificação padrão de setores do IBGE	244
Apêndice B – Classificação padrão de produtos do IBGE (CNAE/80)	245
Apêndice C – Correspondência setorial	247
Apêndice D – Coeficientes técnicos diretos (2002).....	248
Capítulo 6	249
Tabela 6.2-1: Perdas de ART no processo de produção do etanol.....	251
Tabela 6.2-2: Comparação dos consumos energéticos para diversas tecnologias de desidratação	254
Tabela 6.2-3: Destilaria padrão, desempenho conforme tecnologia industrial praticada	256
Tabela 6.2-4: Destilaria padrão, desempenho conforme a tecnologia industrial praticada otimizada	257
Tabela 6.2-5: Impacto do rendimento agrícola na produção total de etanol, dias de safra e área agrícola requerida	258
Tabela 6.3-1: Distribuição da moagem para os cenários tecnológicos “Prudente” e “Progressivo”	259
Tabela 6.3-2: Eletricidade cedente gerada (GWh/ano) nas áreas de expansão selecionadas, segundo cenários tecnológicos	260

Tabela 6.4-1: Determinação preliminar do custo de produção da cera - capacidade de produção de 1.236t de cera/ano	265
Tabela 6.5-1: Estimativa dos investimentos envolvidos numa destilaria padrão otimizada	267
Tabela 6.5-2: Custo anual da produção de etanol e energia elétrica	268
Capítulo 7	270
Tabela 7.3.3-1: Critérios de sustentabilidade e seus indicadores.....	279
Tabela 7.3.4.1-1: Balanço energético da produção de etanol – situação atual e no médio prazo.....	281
Tabela 7.3.4.2-1: Áreas ocupadas pelas principais culturas no mundo.....	282
Tabela 7.3.4.2-2: Áreas ocupadas pelas principais culturas no Brasil.....	283
Tabela 7.3.4.3-1: Biomassas brasileiros – área original, cobertura atual e porcentagem contida em unidade de conservação.....	285
Tabela 7.3.4.4-1: Dados socioeconômicos regionais (2002)	287
Tabela 7.3.4.4-2: Impactos socioeconômicos da expansão da produção de etanol para exportação (205 bilhões de litros)	288
Tabela 7.3.4.5-1: Empregos na área agrícola – formais (carteira assinada) e totais	290
Capítulo 8	307
Tabela 8.2-1: Custos médios da produção de cana	314
Tabela 8.2-2: Custos de industrialização da cana para produzir etanol	315
Tabela 8.2-3: Custos administrativos na produção de etanol.....	315
Tabela 8.2-4: Potencial redução de custo com as melhorias tecnológicas estimadas pela Copersucar em 1989	316
Tabela 8.2-5: Indicadores de desempenho da tecnologia agrícola	317
Tabela 8.2-6: Indicadores de desempenho da tecnologia industrial	319
Tabela 8.2-7: Indicadores de desempenho da tecnologia energética	320

Tabela 8.2-8: Indicadores de desempenho em sustentabilidade	322
Tabela 8.3-1: Recursos alocados anualmente em P&D no setor sucroalcooleiro no Brasil (valores estimados) por órgãos de fomento a pesquisa (fonte).....	324
Tabela 8.3-2: Recursos alocados anualmente em P&D no setor sucroalcooleiro no Brasil (valores estimados) por instituições ou centros de pesquisa, usuários de recursos públicos e privados	325
Tabela 8.3-3: Projetos dos fundos setoriais (1999-2006)	326

GRUPO DE TRABALHO

PARTICIPANTES

INSTITUIÇÃO

Dr. Rogério Cezar de Cerqueira Leite, Coordenador	NIPE
Dr. Luís Augusto Barbosa Cortez, Coordenador Adjunto	CORI
Dr. André Tosi Furtado	NIPE
Dr. Arnaldo César da Silva Walter	NIPE
Dr. Carlos Eduardo Vaz Rossell	NIPE
Dr. Edgardo Olivares Gómez	NIPE
Dr. Gilberto de Martino Jannuzzi	NIPE
Dr. Jorge Humberto Nicola	NIPE
Dr. José Antonio Scaramucci	NIPE
Dr. Manoel Regis Lima Verde Leal	NIPE
Dra. Mirna Ivonne Gaya Scandiffio	NIPE
Dr. Oscar Antonio Braunbeck	NIPE
Ms. Adriano Viana Ensinas	NIPE
Ms. Gislaine Zainaghi	NIPE
Ms. Marcelo Pereira Cunha	NIPE
Juan Castaneda Ayarza	NIPE
Tatiana Petrauskas	NIPE
Terezinha de Fátima Cardoso	NIPE

INSTITUIÇÕES PARCEIRAS

TRANSPETRO – Petrobras Transportes S/A

SUPORTE

Daniel Catoia Quintiliano	NIPE
Isis Maria Ditrich Demário Fujij	NIPE

1. AVALIAÇÃO DETALHADA DE UMA ÁREA SELECIONADA NA FASE 1 DO PROJETO COM POSSÍVEL COMPLEMENTAÇÃO COM NOVAS ÁREAS

A Fase 1 do Projeto Etanol selecionou a Área 10 para a realização de um estudo mais detalhado no que se refere ao solo e clima, utilizando-se mapas com informações georeferenciadas, em escala de 1:5.000.000. Neste capítulo, o item 1.1 abordará, além do estudo de solo e clima, outras variáveis como áreas de reservas e estudo das culturas temporárias e permanentes da área selecionada, presentes no item 1.1.1. Inclui-se, neste item, a evolução, para 2025, das culturas permanentes e temporárias, finalizando, o item 1.1.2, com a área disponível e o potencial de produção de etanol em 2025 da Área 10.

O item 1.2 irá tratar das melhorias realizadas e revisão das demais áreas estudadas na Fase 1 com a utilização do software ArcGIS, podendo-se verificar que houve um aumento da área disponível.

O item 1.3 deste capítulo abordará a necessidade de novas áreas para satisfazer o objetivo do Cenário 2 do Projeto Etanol, que deverá produzir de 205 milhões de m³ de etanol visando à exportação, além da introdução das áreas com potencial de produtividade "Médio". A projeção da evolução das demais culturas permanentes e temporárias, para 2025, encontra-se neste item, assim como o estudo do potencial de produção de etanol nas áreas selecionadas, considerando-se os parâmetros atuais de produção, conforme apresentado na Fase 1 do Projeto.

O 1.4, encerra este capítulo, com a análise das alternativas de matéria-prima para as áreas selecionadas.

1.1 Estudo da área 10, selecionada na Fase 1, utilizando-se mapas de solo e clima em escala de 1:5.000.000

A área 10 é composta por 51 municípios, sendo 22 no Estado do Maranhão, 28 no Tocantins e 1 no Piauí, o município de Santa Filomena. Abrange uma área total de 9,2 milhões de hectares.

O Projeto Etanol tomou como base o estudo elaborado pelo Centro de Tecnologia Canavieira (CTC, 2005), que por sua vez processou e gerou os mapas temáticos (solo, clima e declividade) usando o Sistema de Informações Geográficas (SIG) na escala de 1:5.000.000 e a classificação climática de Köppen, conforme explicitado no capítulo 4 do Relatório da Fase 1 do Projeto Etanol. A seguir, apresenta-se o estudo de solo, clima, declividade e demais reservas especificamente para a Área 10.

i) Solo

O estudo edafoclimático é considerado essencial para avaliar do potencial de produção cana-de-açúcar da Área 10 - e das demais áreas selecionadas - para verificar o potencial de expansão da produção de cana-de-açúcar.

A Figura 1.1-1a apresenta a diversidade de solos do espaço no qual se encontra a Área 10, de acordo com a Classificação de Solos do IBGE (2001).

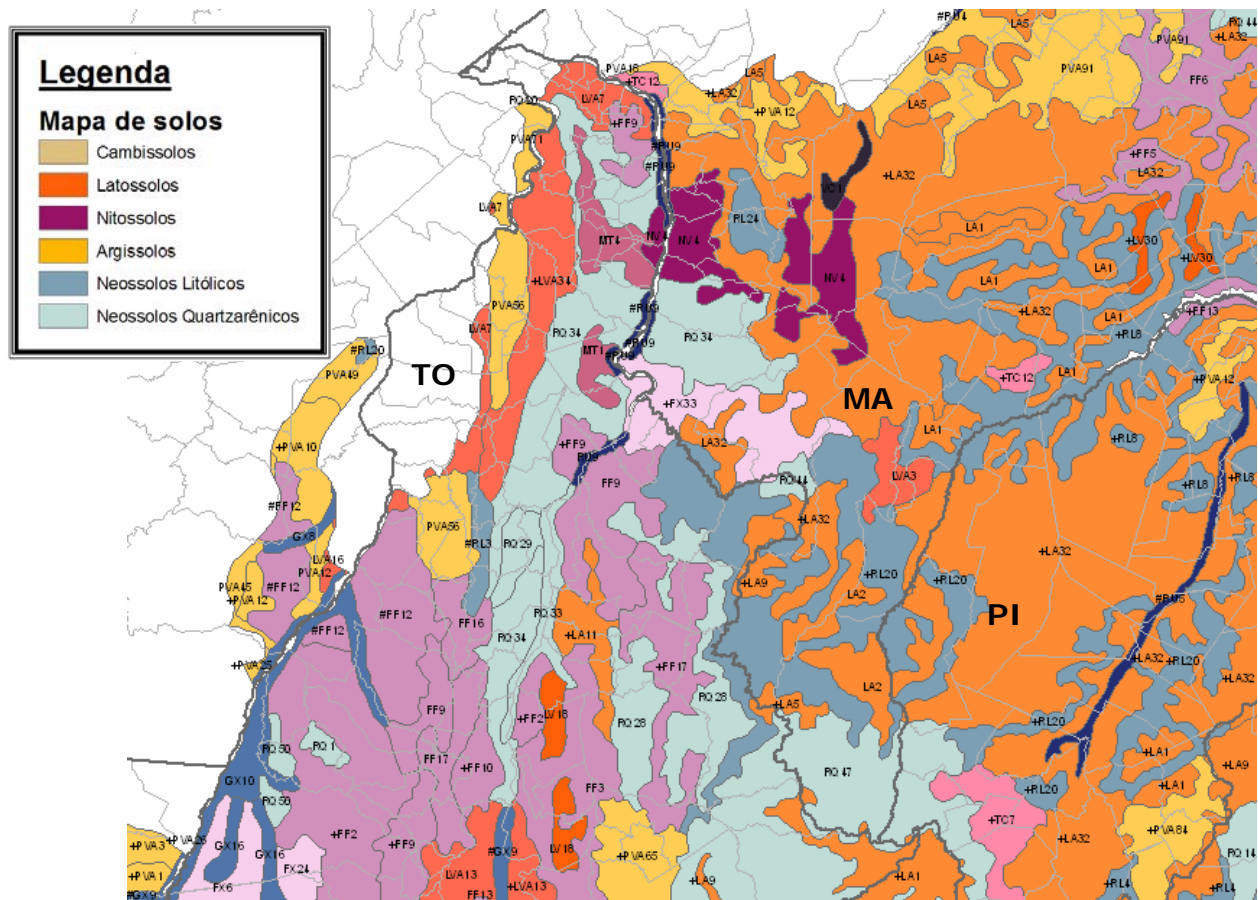


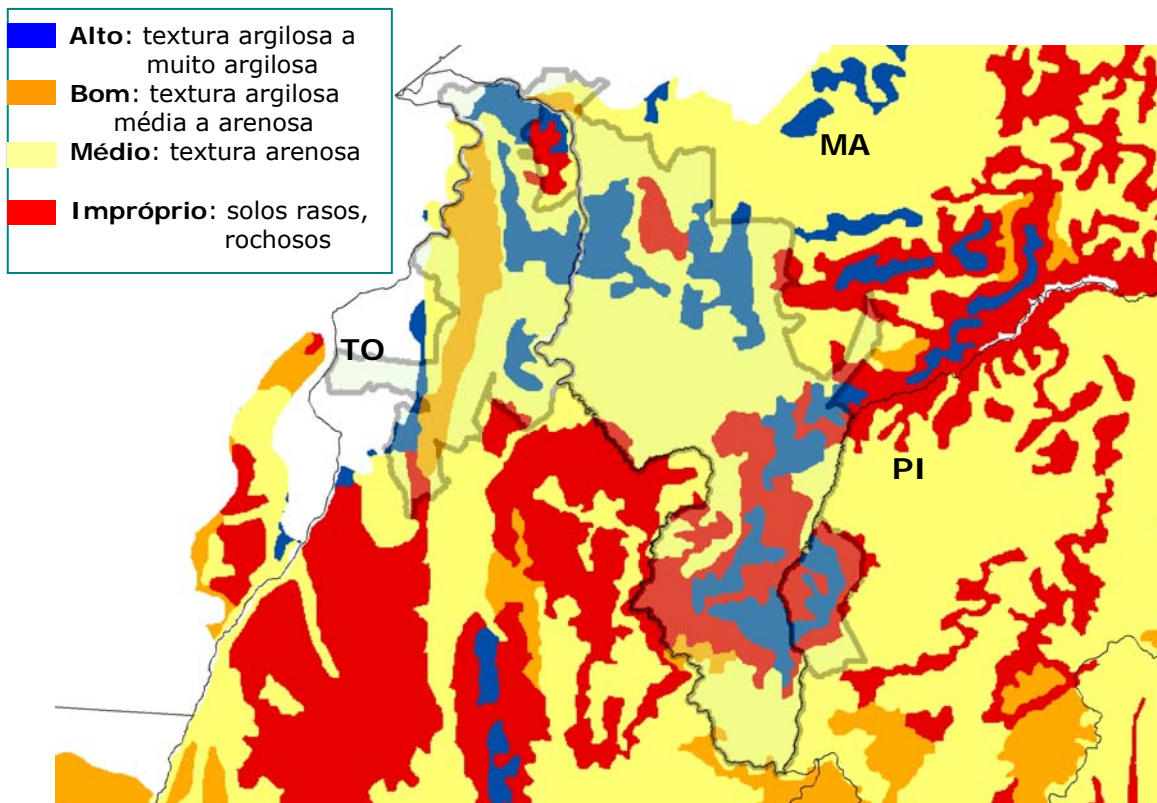
Figura 1.1-1a: Diversidade de solos
Adaptação a partir do estudo realizado pelo CTC (2005)

Devido à quantidade e de tipos de solos do país, cujas definições, conceitos e critérios taxonômicos¹ utilizados encontram-se no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos da EMBRAPA, o estudo realizado pelo CTC (2005), optou, para este trabalho, agrupar os principais tipos de solos para a produção de cana-de-açúcar em quatro classes de potencial: Alto, Bom, Médio e Impróprio, nas cores azul, laranja, amarelo e vermelho, respectivamente (Figura 1.1-1b).

Para determinar o potencial do solo, considerou-se a sua profundidade, a capacidade de retenção de água, a permeabilidade, a drenagem interna e fertilidade natural, com destaque para a profundidade e a textura do solo (arenosa, média e argilosa).

Características inerentes a algumas classes de solo como, por exemplo, elevado teor de alumínio extraiável e elevados teores de matéria orgânica foram também incluídas no estudo.

¹ Critérios Taxonômicos: critérios específicos para a classificação dos solos, de acordo com sua estrutura, origem, composição, granulometria e outros.



**Figura 1.1-1b: Área 10 – Potencial de solos
Adaptação a partir do estudo realizado pelo CTC (2005)**

ii) Clima

No que diz respeito ao clima, trabalhou-se conforme a classificação de Köppen, que por sua vez tem como base a subdivisão dos climas terrestres dentro de cinco grandes tipos, representados pelas letras A, B, C, D e E. Esses tipos climáticos estão definidos por critérios de temperatura e precipitação pluviométrica. A temperatura é um fator de grande importância no desenvolvimento da cana-de-açúcar, sendo considerada ideal a faixa entre os 21°C e 34°C. Quanto à incidência hídrica, a gramínea precisa de, no mínimo, 1200 mm/safra.

Os tipos climáticos foram agrupados nas mesmas classes de potencial - Alto, Bom, Médio e Impróprio - sendo: a) tipo climático pertence ao potencial Alto: As, Am, e Cwa; b) potencial Bom, Aw e Cfa; potencial Médio: Af e Cwb e d), de caráter Impróprio.

A Figura 1.1-2 apresenta o potencial climático, com o contorno da Área 10 em destaque.

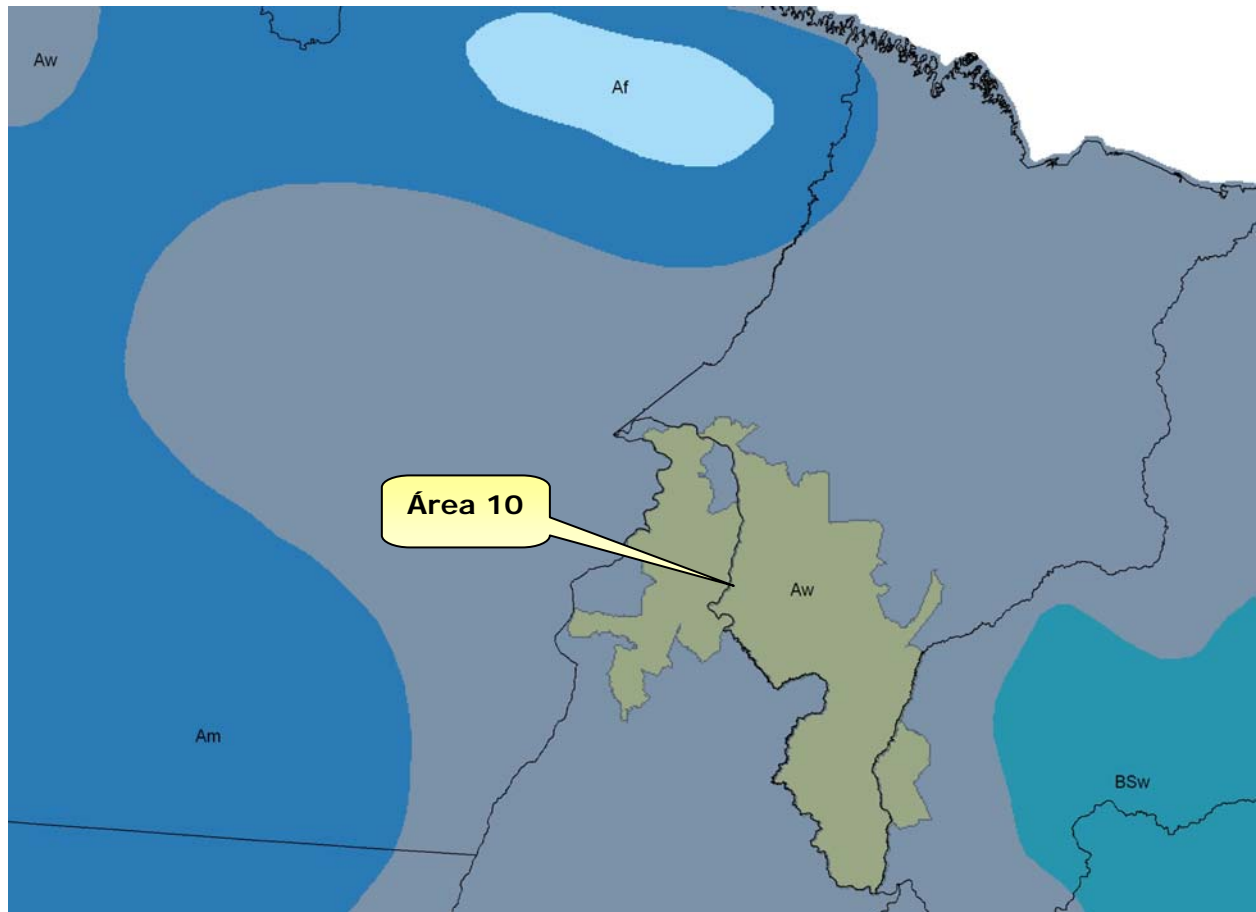


Figura 1.1-2: Área 10 - Potencial Climático – Classificação Köppen
Fonte: Adaptação a partir dos dados do CTC (2005)

O potencial climático Aw, presente na Área 10, é considerado do “Médio” de acordo com a classificação Köppen. A descrição mais detalhada dos principais símbolos climáticos e suas características encontra-se a seguir.

Símbolos climáticos e suas características
Af: Tropical úmido sem estação seca. Ausência de estação seca. Temperaturas médias sempre maiores que 22°C. Precipitação pluviométrica no mês mais seco maior que 60 mm.
Am: Tropical úmido com pequeno período seco. Temperatura e pluviosidade elevada. A temperatura mínima no mês mais frio é maior que 20°C.
As: Tropical úmido com período seco. Precipitações pluviométricas de inverno e outono com temperaturas elevadas sempre maiores que 18°C.
Aw: Tropical úmido com nítida estação seca. Temperaturas elevadas com chuva no verão e seca no inverno. Médias de temperatura são maiores que 22°C no mês mais quente e, no mês mais frio do ano, as mínimas são maiores que 18°C. Precipitações pluviométricas no mês mais seco menor que 30mm
Bsw: Semi-árido quente. Temperaturas maiores que 22°C em todos os meses do ano. Precipitação pluviométrica anual maior que 250 mm.
Cfa: Subtropical com verão quente. Temperatura moderada com chuvas bem distribuídas e verão quente. Nos meses de inverno a média de temperatura é inferior a 18°C. No mês mais quente as máximas são maiores que 22°C. Precipitações pluviométricas no mês mais seco maior ou igual a 30 mm.
Cfb: Subtropical com verão temperado. Temperatura moderada com chuva bem distribuída e verão brando. As médias de temperatura são inferiores a 22°C. No inverno média inferior a 14°C com mínimas inferiores a 8°C. Precipitações pluviométricas no mês mais seco maior ou igual a 30 mm.
Cwa: Subtropical quente com inverno seco. Temperaturas moderadas com verão quente e chuvoso. Médias de temperatura são maiores que 22°C no mês mais quente e no mês mais frio as mínimas são menores que 18°C. Precipitações pluviométricas no mês mais seco menor que 30 mm.
Cwb: Subtropical com verão temperado. Verão brando e chuvoso com temperatura moderada. Temperaturas médias no inverno e outono são inferiores a 18°C. Temperaturas no mês mais quente menor que 22°C. Precipitações pluviométricas no mês mais seco menor que 30 mm.

Fonte: CTC (2005)

iii) Declividade

O estudo das áreas que apresentam declividade inferior a 12% é relevante para a efetiva mecanização do cultivo da cana-de-açúcar. As áreas com índices superiores a essa declividade encontram-se destacadas na Figura 1. 1-3. Na mesma figura apresentam-se também outras variáveis que foram incluídas no estudo, tais como as reservas indígenas, parques ecológicos, florestas protegidas por lei, áreas militares, etc.

Essas áreas não são consideradas para a expansão da cana-de-açúcar, conforme os critérios do Projeto Etanol.

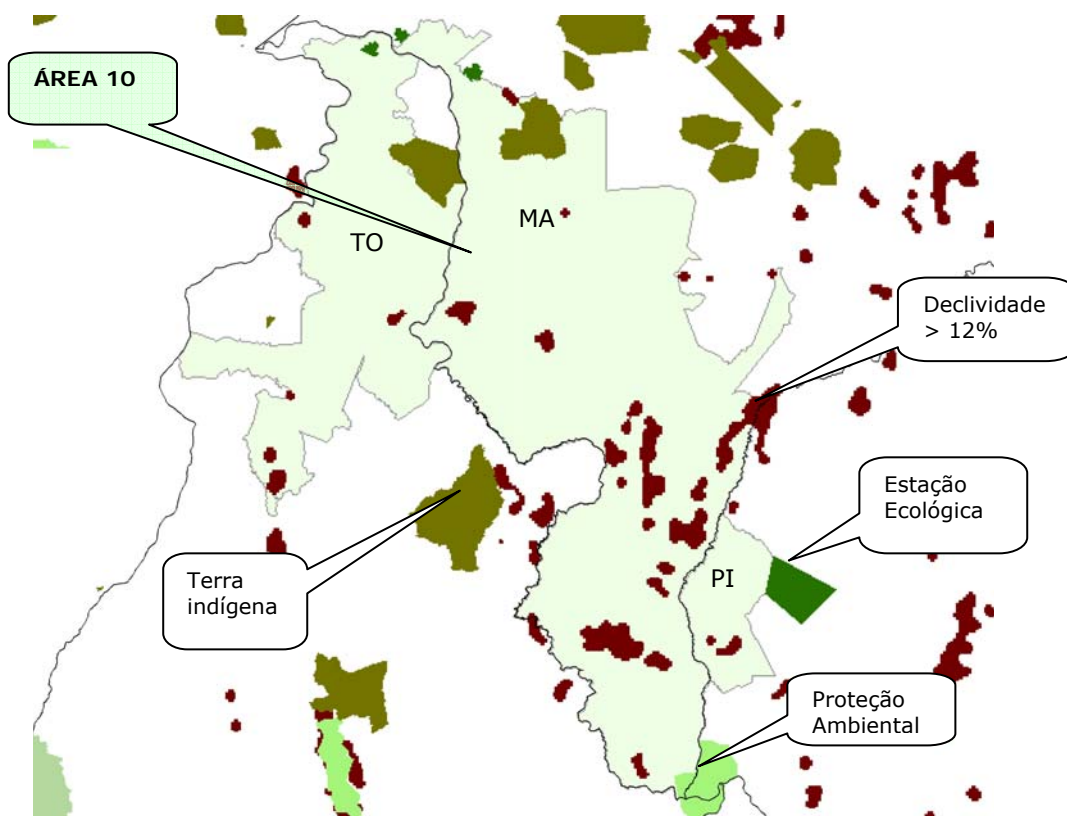


Figura 1.1-3: Área 10 - Declividade e outras reservas

Dos 9,2 milhões de hectares ocupados pela Área 10, 4,0 milhões de hectares apresentam potencial de produtividade Bom e 3,7, potencial Médio (Tabela 1.1-1).

Tabela 1.1-1: Potencial de produtividade da Área 10 (em hectares)

UF	ALTO	BOM	MÉDIO	IMPRÓPRIO	TOTAL (A+B+M+I)
MA	0	2.593.403	2.499.949	1.237.243	6.330.595
PI	0	167.364	110.231	250.809	528.404
TO	0	1.244.055	1.121.679	62.159	2.427.893
Total	0	4.004.822	3.731.859	1.550.211	9.286.892

A Área 10 não apresenta potencial de produtividade Alto. No entanto, o potencial Bom, Médio é significativo, com 4,0 e 3,7 milhões de hectares, respectivamente, conforme evidenciado na tabela acima. Como comparação, o estado de São Paulo ocupa, atualmente, cerca de 3 milhões de hectares com cana-de-açúcar.

A Figura 1.1-4, a seguir, apresenta o potencial de produtividade da Área 10.

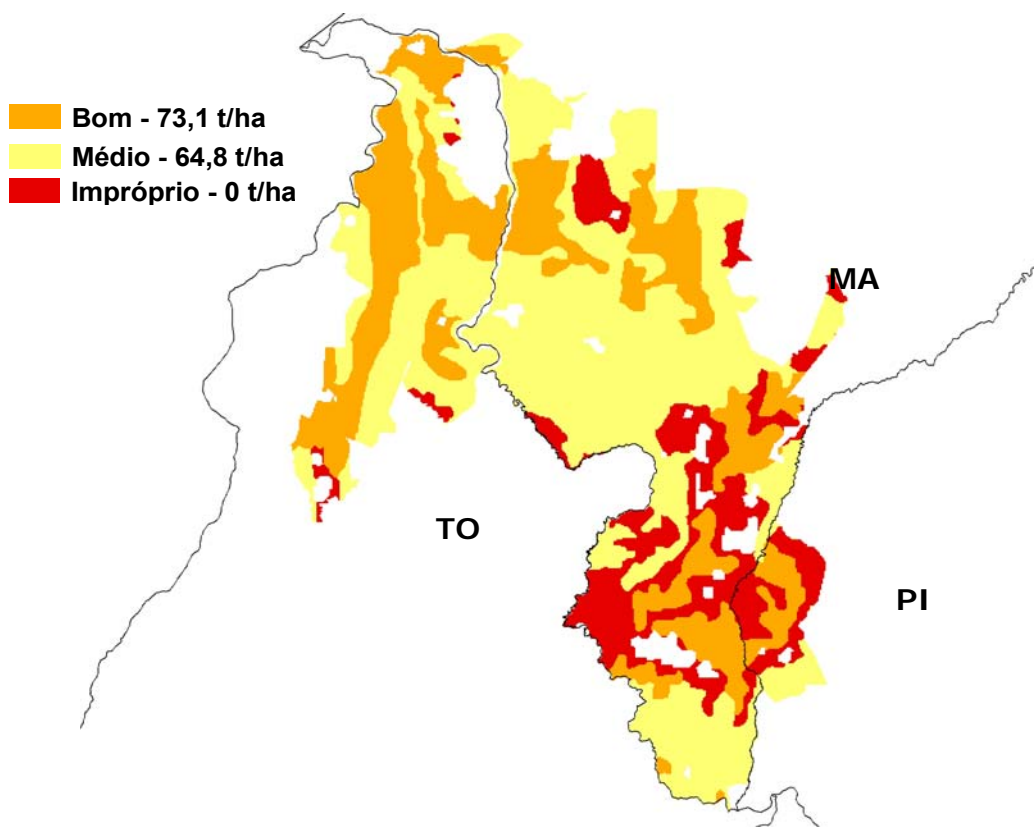


Figura 1.1-4: Área 10: Potencial de Produção de cana-de-açúcar

Dos 51 municípios selecionados na Área 10 (Tabela 1.1-2), vinte e dois pertencem ao estado de Tocantins e representam 31,6% da área ocupada pela Área 10. Considerando-se a área total do estado, de 26,5 milhões de hectares, a área dos 22 municípios representa 8,6%.

Tabela 1.1-2: Área 10: Municípios

1	ALTO PARNAÍBA	MA
2	BALSAS	MA
3	CAMPESTRE DO MARANHÃO	MA
4	CAROLINA	MA
5	DIVINÓPOLIS	MA
6	ESTREITO	MA
7	FEIRA NOVA DO MARANHÃO	MA
8	FORMOSA DA SERRA NEGRA	MA
9	FORTALEZA DOS NOGUEIRAS	MA
10	GOVERNADOR EDISON LOBÃO	MA
11	IMPERATRIZ	MA
12	LAJEADO NOVO	MA
13	MONTES ALTOS	MA
14	NOVA COLINAS	MA
15	PORTO FRANCO	MA
16	RIACHÃO	MA
17	RIBAMAR FIQUENE	MA
18	SAMBÁIBA	MA
19	SÃO JOÃO DO PARAÍSO	MA
20	SÃO PEDRO DOS CRENTES	MA
21	SÍTIO NOVO	MA
22	TASSO FRAGOSO	MA
1	SANTA FILOMENA	PI
1	AGUIARNÓPOLIS	TO
2	ANANÁS	TO
3	ANGICO	TO
4	ARAGUAÍNA	TO
5	ARAGUATINS	TO
6	AUGUSTINÓPOLIS	TO
7	BABAÇULÂNDIA	TO
8	BANDEIRANTES DO TOCANTINS	TO
9	BURITI DO TOCANTINS	TO
10	CACHOEIRINHA	TO
11	CARMOLÂNDIA	TO
12	CARRASCO BONITO	TO
13	COLINAS DO TOCANTINS	TO
14	DARCINÓPOLIS	TO
15	FILADÉLFIA	TO
16	LUZINÓPOLIS	TO
17	MOSQUITO	TO
18	NAZARÉ	TO
19	NOVA OLINDA	TO
20	PIRAQUÊ	TO
21	PRAIA NORTE	TO
22	RIACHINHO	TO
23	SAMPAIO	TO
24	SANTA TEREZINHA DO TOCANTINS	TO
25	SÃO BENTO DO TOCANTINS	TO
26	TOCANTINÓPOLIS	TO
27	WANDERLÂNDIA	TO
28	XAMBIOA	TO

Vinte e oito municípios encontram-se no estado do Maranhão, participando com 64,8% do total da Área 10. A área desses 28 municípios representa 14,6% dos 32,2 milhões de hectares da área do Maranhão. Finalmente, o município de Santa Filomena, no Piauí, representa 3,7% da Área 10.

1.1.1 Culturas permanentes e temporárias – Área 10

A Fase 2 do Projeto Etanol, além de estudar as terras utilizadas com as principais culturas permanentes e temporárias, projetou a evolução dessas culturas para os próximos vinte anos. Isto obedece a dois principais motivos. Primeiro, o Projeto Etanol tem como objetivo conhecer as áreas disponíveis para o cultivo da cana-de-açúcar sem interferir nas culturas ora existentes. Segundo, acredita-se que havendo um desenvolvimento na Área 10, devido à implementação do Projeto, torna-se necessário conhecer a evolução das demais culturas para se definir a área efetivamente disponível para a expansão da produção da cana-de-açúcar e consequente produção de etanol na Área 10.

A área ocupada com as culturas permanentes, de acordo com a base de dados do PAM 2003 (IBGE, 2005), foi de 4 mil ha. As permanentes ocuparam 348 mil ha, totalizando 352 mil ha. As principais culturas permanentes e temporárias e as respectivas áreas nos estados contemplados na Área 10 encontram-se na Tabela 1.1.1-1.

Tabela 1.1.1-1: Principais culturas – Área 10

AREA 10		AREA 10	
C. Permanentes	(ha)	C. Temporárias	(ha)
MA		MA	
	2.035		300.097
Banana	1.510	Soja	215.236
Cast. Caju	246	Arroz	42.272
Laranja	148	Milho	26.629
Coco-da-baía	131	Cana-de-açúcar	7.268
		Mandioca	3.197
		Algodão	2.860
		Feijão	2.635
PI		PI	
	35		9.870
Banana	20	Soja	5.500
Laranja	15	Arroz	2.580
		Milho	820
		Cana-de-açúcar	10
		Mandioca	100
		Fava	15
		Feijão	845
TO		TO	
	1.609		36.289
Banana	1.296	Milho	15.195
Laranja	109	Arroz	13.260
Coco-da-baía	204	Mandioca	5.144
		Feijão	2.690
MA + PI + TO		MA + PI + TO	
	(ha)		(ha)
Banana	2.826	Soja	220.736
Laranja	272	Arroz	58.112
Coco-da-baía	335	Milho	42.644
Total	3.433	Total	321.492

Fonte: PAM 2003 (IBGE)

Destacam-se, entre as culturas permanentes, a banana, a laranja e a castanha de caju. Quanto às temporárias, a soja é a de maior destaque, seguida pela lavoura de arroz e milho. A área total ocupada com essas principais culturas soma 325 mil hectares, das quais 220 mil ha corresponde à soja e destes, 98% situam-se no Maranhão.

Os dois estados, Maranhão e Tocantins apresentaram um ritmo diferente de evolução das áreas ocupadas. Em 1990, o estado do Maranhão ocupava 1,6 milhões de hectares com as culturas permanentes e temporárias. Passados quinze anos, após ocupar 2,0 milhões de hectares, em 1995, encerrou com os mesmos 1,6 milhões de hectares em lavouras, em 2005.

No estado do Tocantins houve um crescimento de 4,2% ao ano ao longo do mesmo período, embora a dimensão da área seja bastante menor quando comparado ao Maranhão. As lavouras ocuparam, no estado todo, 693 mil hectares em 2005, comparados aos 347 mil hectares de 1990.

Para os próximos vinte anos, a evolução considerada para a Área 10 é de 3,15% ao ano, índice que representa a média da evolução das culturas permanentes e temporárias, de 1990 a 2005, dos treze estados da nação com templados no Projeto².

Com esse índice, as lavouras dos 51 municípios da Área 10 passam de um total de 352 mil hectares, em 2003, para 696,5 mil hectares, em 2025.

1.1.2 Área 10: área disponível e potencial de produção de etanol em 2025

Deduzindo-se, proporcionalmente, a evolução das culturas temporárias e permanentes até 2025, da área disponível com potencial de produção "Alto", "Bom" e "Médio" (Tabela 1.1-1), a Tabela 1.1.2-1 apresenta a área disponível, em 2025, de acordo com o potencial de produtividade.

Tabela 1.1.2-1: Área 10 – área disponível em 2025 (ha)

Área 10 UF	ALTO (ha)	BOM (ha)	MÉDIO (ha)	TOTAL (ha) (A+B+M) 2025
MA	-	2.399.198	2.275.011	4.674.209
TO	-	1.198.280	1.089.928	2.288.208
PI	-	161.157	106.143	267.300
Total	-	3.758.635	3.471.082	7.229.716

1.1.2.1 Potencial de produção de etanol na Área 10

Mantendo-se os parâmetros da usina "padrão" da Fase 1, sem avanços tecnológicos expressivos e considerando-se a implantação dos agrupamentos de destilarias, *clusters*, com um número-referência de 15 destilarias por *cluster*, o potencial para a produção de etanol da Área 10, em 2025, é de 35,1 milhões de m³ de etanol, fazendo-se uso dos 7,2 milhões de hectares. Deve-se reiterar que esse volume refere-se ao **potencial** e não ao volume que o Projeto Etanol propõe para a expansão da produção de etanol nessa área.

² Maiores detalhes do estudo da evolução das culturas encontram-se no item 1.3.5 deste Capítulo.

O estudo sobre o potencial das áreas e de produção de cana-de-açúcar e de etanol será abordado mais adiante, neste Capítulo.

1.2 Melhoria da avaliação preliminar de uso da terra feita na Fase 1

A Fase 1 do Projeto Etanol contemplou a seleção de 12 áreas para a expansão da cana-de-açúcar para produção de etanol visando à exportação de 104,5 milhões de m³ do combustível renovável, com a ocupação de uma área de 21,5 milhões de hectares, com base nos parâmetros técnicos e de produção da usina “padrão”, tecnologia convencional, conforme descrito no Relatório da Fase 1, em dezembro de 2005.

A Fase 2 do Projeto revisou as 12 áreas selecionadas visando um aprimoramento na classificação e localização das áreas, bem como a inclusão de outras variáveis, como áreas urbanas e reservas ambientais especiais não incluídas na Fase 1.

1.2.1 Revisão das doze áreas selecionadas na Fase 1 do Projeto.

Durante a atual etapa do projeto, que prevê um maior detalhamento dos cenários, foi introduzida uma nova nomenclatura para o potencial de terras utilizáveis para a produção de cana-de-açúcar. Nesta nova versão passou-se da classificação anterior da produtividade das terras em Alta, Média, Baixa e Imprópria, para: Alto, Bom, Médio e Impróprio. A mudança deve-se ao fato do índice de produtividade “Baixa” corresponder, nas atuais condições, à de produtividade “Média” mundial.

Nas doze áreas previamente selecionadas, houve a inclusão de novos municípios e exclusão de áreas de reservas natural e áreas urbanas. Em termos de área disponível, houve uma modificação, apresentando um aumento em algumas áreas e redução em outras. Essa mudança implica também no número de municípios incluídos nas doze áreas, que totalizou com 327 municípios na Fase 1 e após a revisão, conta com 385 municípios, nesta Fase 2 (Tabela 1.2.1-1).

Tabela 1.2.1-1: Revisão das doze áreas e dos municípios

Áreas Selecionadas	Municípios		Áreas Selecionadas	Municípios	
	Fase 1	Fase 2		Fase 1	Fase 2
Área 1	07	07	Área 7	32	38
Área 2	14	16	Área 8	44	47
Área 3	14	16	Área 9	38	39
Área 4	30	38	Área 10	43	51
Área 5	25	26	Área 11	23	28
Área 6	9	13	Área 12	48	66
Total 12 áreas				327	385

Originalmente, as doze áreas somavam 79,4 milhões de hectares, dos quais cerca de 37,2 milhões de hectares apresentavam potenciais "Alto" e "Bom" para o cultivo da cana-de-açúcar. Desses 37,2 milhões de hectares, deduziram-se 8,6 milhões de hectares correspondentes às culturas temporárias e permanentes. Para o estudo das culturas de cada área utilizaram-se os dados sobre a Produção Agrícola Municipal – PAM 2003, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE (2004).

Com a revisão, totalizou-se 84,5 milhões de hectares nas 12 áreas, conforme apresentado na Tabela 1.2.1-2. Deste, 44,2 milhões de hectares apresentam potenciais de "Alto" e "Bom" para a produção de cana-de-açúcar. O potencial de produção "Médio", que não foi considerado para a expansão na Fase 1, foi incluído na Fase 2 e soma 34,9 milhões de hectares.

Tabela 1.2.1-2: Doze Áreas Revisadas – (em ha)

ÁREA	ALTO	BOM	MÉDIO	IMPRÓPRIO	TOTAL (A+B+M+I)
A01	-	1.315.924	4.268.827	3.198	5.587.949
A02	-	2.848.010	1.843.266	72.430	4.763.706
A03	123.663	3.464.685	2.545.584	308.196	6.442.128
A04	511.561	4.504.714	1.604.115	13.203	6.633.593
A05	-	5.468.778	386.120	59.984	5.914.883
A06	621.683	3.858.224	3.497.270	73.087	8.050.264
A07	947.211	2.747.018	1.981.830	-	5.676.059
A08	-	1.453.401	904.059	90.698	2.448.158
A09	-	7.141.058	7.558.501	1.104.361	15.803.920
A10	-	4.004.822	3.731.858	1.550.211	9.286.891
A11	-	2.228.849	3.235.633	1.667.211	7.131.693
A12	-	3.021.224	3.411.395	290.225	6.722.844
A1 a A12	2.204.118	42.056.707	34.968.458	5.232.804	84.462.088

A contabilização das novas áreas com potencial de produtividade "Médio" implicou em aumentar a área utilizada com culturas temporárias e permanentes, que passou de 8,6 milhões de hectares para 9,8 milhões de hectares.

Uma síntese da disponibilidade de área (em mil ha) e potencial de produção de etanol (em mil m³) nas doze áreas e a adequação para atingir o Cenário 1 (104,5 mil m³), encontra-se na Tabela 1.2.1-3.

Tabela 1.2.1-3: Adequação do potencial de área e produção de etanol

TOTAL POTENCIAL - Revisão	Área (mil ha)	Destilarias	Produção mil m ³	Distribuição Produção
Total Região N-NE	11.612	332	56.403	36%
Total Região C-S	20.955	599	101.779	64%
TOTAL	32.567	930	158.183	100%
TOTAL Região N-NE (5 Areas)	9.609	275	46.673	23%
TOTAL COM ADEQUAÇÃO PARA CENÁRIO 1 (5%)				
Total Região C-S	12.600	360	61.200	59%
Total Região N-NE	8.925	255	43.350	41%
TOTAL	21.525	615	104.550	100%

A disponibilidade de terras e o potencial de produção de cana-de-açúcar, revisados, irão constituir a base para verificar a necessidade de terras (área) para a produção de 205 milhões de m³ de etanol, correspondentes ao Cenários 2 do Projeto Etanol.

1.2.1a Área 2 revisada – um exemplo

A Fase 1 do Projeto incluiu, na Área 2, o município de Cáceres, o qual apresenta uma área significativa de potencial de produtividade "Bom". No entanto, por tratar-se de área adjacente ao Pantanal, área de reserva ambiental, optou-se por retirar esse município do Projeto. É importante salientar que as terras da Área 2, contempladas para expansão na Fase 1 do Projeto, incluíram somente a área com potencial de produtividade "Bom" que não estava inserida no espaço territorial do Pantanal - ou em outra área qualquer de preservação ambiental.

Com essa revisão, passou-se a contar, dos anteriores 14 municípios, para 16, conforme apresentado na Tabela 1.2.1a-1, com destaque para o município retirado (Cáceres) e para os três municípios adicionados à Área 2.

Tabela 1.2.1a-1: Revisão da Área 2 – Mato Grosso

ÁREA 2 (MT) Fase 1	ÁREA 2 (MT) Fase 2
Araputanga	Araputanga
Barra do Bugres	Barra do Bugres
Cáceres	Figueirópolis D'oeste
Figueirópolis D'oeste	Glória D'oeste
Glória D'oeste	Indiavaí
Indiavaí	Jauru
Jaurú	Lambari D'oeste
Lambari D'oeste	Mirassol D'oeste
Mirassol D'oeste	Pontes E Lacerda
Pontes E Lacerda	Porto Esperidião
Porto Esperidião	Porto Estrela
Porto Estrela	Reserva Do Cabacal
Salto do Céu	Rio Branco
São José dos Quatro Marcos	Salto do Céu
	São José dos Quatro Marcos
	Vila Bela da Santíssima Trindade

A extensão total da Área 2, na Fase 1, correspondia a 5,85 milhões de hectares. Destes, 2,45 milhões de ha apresentavam potencial de produtividade "Bom". Na Fase 2 a Área 2 totaliza 4,76 milhões de ha dos quais, 2,85 milhões de ha apresentam potencial "Bom" e 1,84 milhões de hectares, potencial Médio.

Pode-se visualizar, nas Figuras 1.2.1a-1 e 1.2.1a-2, o contorno da Área 2, na Fase 1, e o novo desenho considerado na Fase 2. A Figura 1.2.1a-1 apresenta o município que foi retirado, Cáceres, e os municípios que foram inseridos encontram-se sinalizados na Figura 1.2.1a-2.

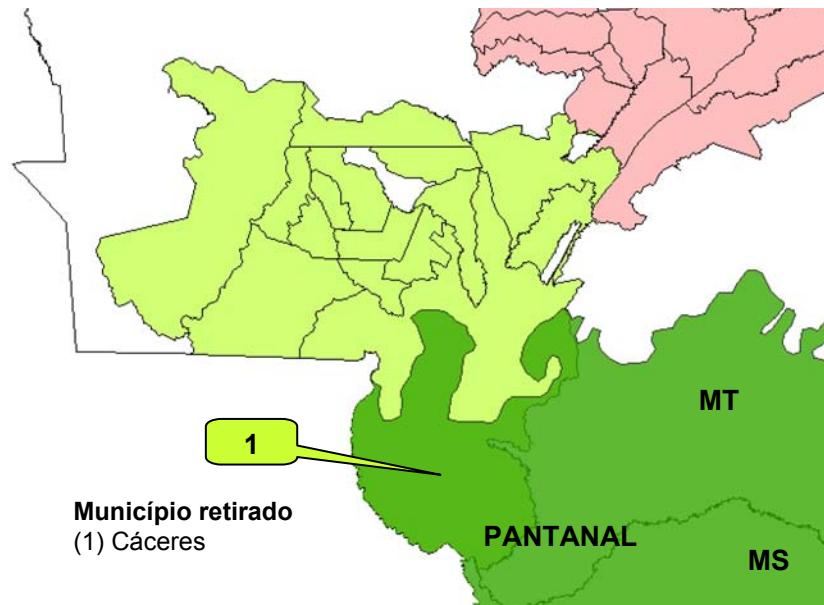


Figura 1.2.1a-1: Área 2 (MT) Fase 1

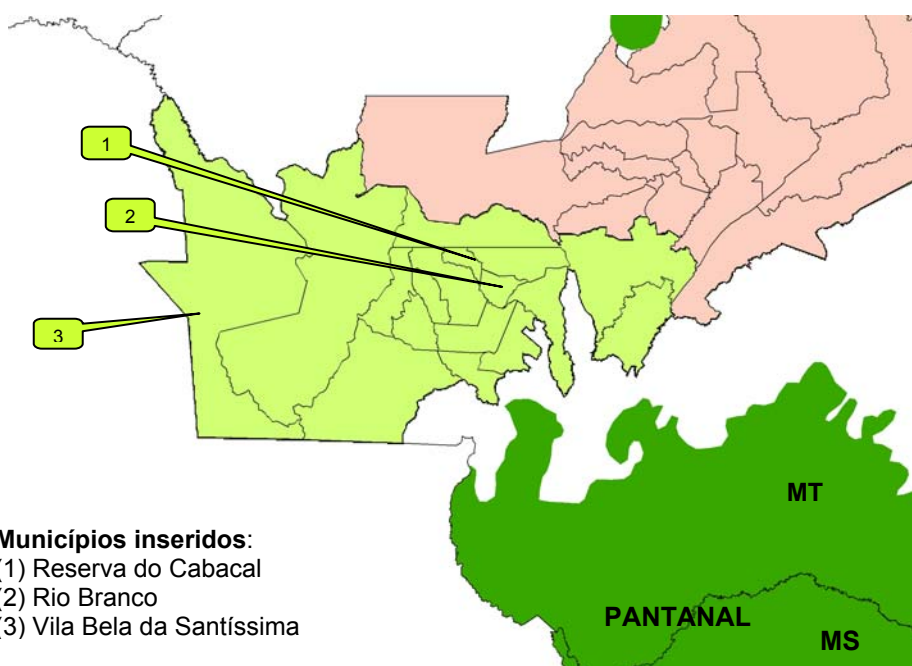


Figura 1.2.1a-2: Área 2 (MT) Fase 2

1.3 Identificação da necessidade de áreas adicionais às selecionadas na Fase 1

O potencial de produção de etanol nas doze áreas selecionadas na Fase 1 era de 158 milhões de m³. Para a Fase 2, a necessidade de produção, para exportação, é de 205 milhões de m³ de etanol. Para alcançar o objetivo proposto neste trabalho, ampliou-se a seleção de áreas, passando-se de doze para dezessete áreas selecionadas.

Estudaram-se também as áreas com potencial de produtividade "Médio", uma vez que a Fase 2 inclui a projeção da evolução das culturas permanentes e temporárias (exceto cana-de-açúcar) das áreas selecionadas, o que diminui a disponibilidade de área para a expansão da cana-de-açúcar. A Fase 2 compreende a dinamização das áreas disponíveis, inserindo-se outras variáveis, como a demanda interna de combustível para os veículos *flex fuel*, além da projeção da demanda de açúcar para o mercado interno e externo³. Isto, para um espaço temporal de vinte anos.

1.3.1 Metodologia

O Brasil conta com cerca de 852 milhões de hectares. Desse, 400 milhões correspondem à Bacia Amazônica, 14 milhões ao Pantanal e 3,5 milhões à Mata Atlântica. A área com restrição devido à declividade soma 75 milhões de ha, restando aproximadamente 360 milhões disponíveis.

Com base no estudo realizado pelo Centro de Tecnologia Canavieira – CTC (2005), desenvolveu-se um mapeamento detalhado sobre as regiões do Brasil a partir do modelo gerado pelo programa georeferenciado ArcGIS 9.1, contemplando estados, municípios, áreas de reserva (terras indígenas, parques nacionais, matas nativas, áreas especiais, como bases militares, áreas urbanas, etc.) e declividade inferior a 12% (Figura 1.3.1-1).

O mapa apresenta as áreas com potencial de produtividade "Alto", "Bom", "Médio" e "Impróprio", nas cores azul, laranja, amarelo e vermelho, respectivamente, sem o uso de irrigação.

Para a seleção das áreas, deu-se preferência a aquelas que apresentam, na seqüência, potencial produtividade "Alto", "Bom" e "Médio", que não se encontram nas áreas de reserva ambiental e cuja declividade é inferior a 12%.

Uma premissa importante do Projeto Etanol é o desenvolvimento de novas áreas que apresentam potencial para a produção de cana-de-açúcar, razão pela qual as áreas selecionadas encontram-se em estados nos quais não existe concentração da produção de cana-de-açúcar. Desse modo, não se consideraram as áreas dos estados de São Paulo e Paraná, no Sudeste e Sul, e da Zona da Mata, no Nordeste.

³ A dinamização das áreas encontra-se no Capítulo 4 deste Relatório.

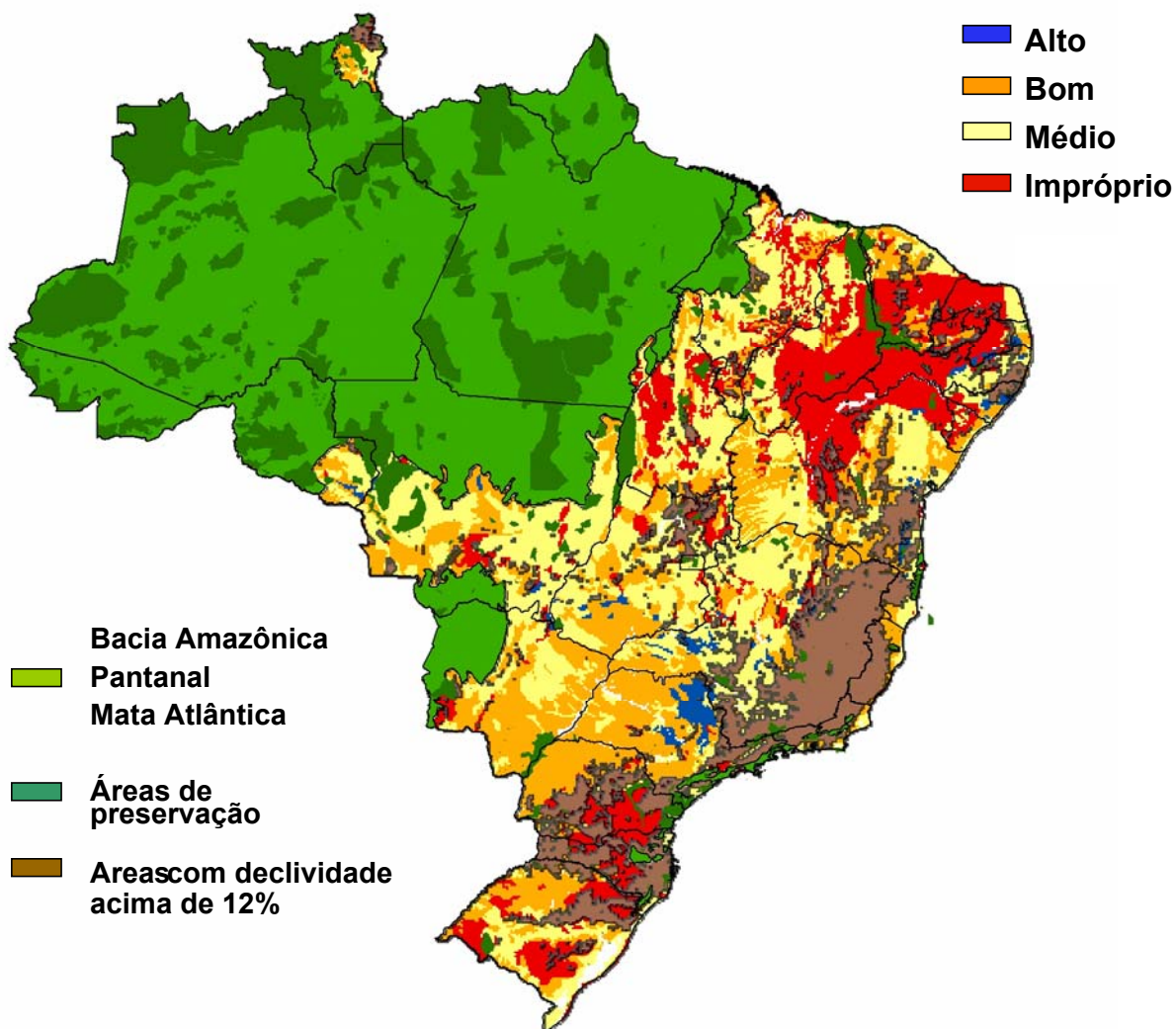


Figura 1.3.1-1: Potencial para produção de cana-de-açúcar sem irrigação

De acordo com o estudo fornecido pelo CTC (2005), o potencial de produtividade (toneladas por hectare) responde aos seguintes coeficientes:

- ✓ Alto=81,4 t/ha
- ✓ Bom=73,1 t/ha
- ✓ Médio=64,8 t/ha
- ✓ Impróprio=0,0 t/ha.

Em seguida à seleção de uma área, cria-se um *layer*⁴ para cada um dos municípios pertencentes à área em estudo, fazendo com que este se torna um único "módulo" de trabalho.

⁴ Entende-se por *layer* um nível de informação que representa uma determinada feição da realidade que pode ser representada numa "pasta" que armazena as informações, embora, no processo de interpretação da realidade e

As Figuras 1.3.1-2 e 1.3.1-3, a seguir, apresentam o *layer* de município e o módulo de uma área, neste exemplo, a Área 2, colorida. O mesmo exercício foi feito para as dezessete áreas, com um total de 652 municípios, da Fase 2 do Projeto Etanol.

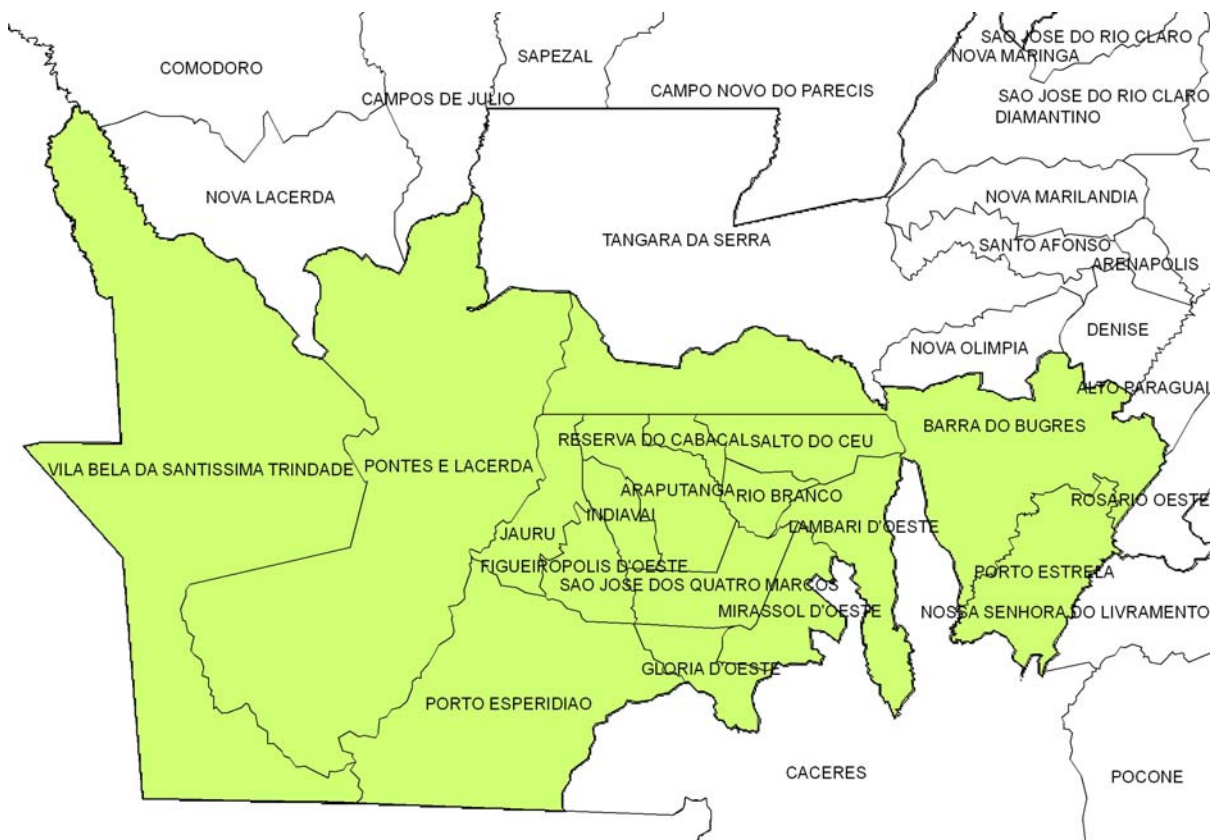


Figura 1.3.1-2: Área 2 - Layer de cada município para a Área 2

Selecionado o município, agora na forma de *layer*, interpola-se⁵ com a informação do "Potencial de Produtividade - sem irrigação", o que permite verificar as áreas de possível expansão para o cultivo da cana-de-açúcar (Figura 1.3.1-3).

para se gerarem os *layers*, possa haver alguma perda de informação. A capacidade de lidar com diversos *layers*, possibilita ao usuário criar mapas temáticos, a partir de dados de fontes distintas. Assim, um *layer* é uma parte da informação, incompleta e simplificada, que, somada aos demais *layers* gera uma representação mais fiel da realidade observada.

⁵ Interpolar : cruzamento de diferentes dados contidos num determinado mapa que gera, a partir desse cruzamento, um ou outro mapa contendo as informações anteriores conjuntamente. Por exemplo, o 1º mapa contém dados do *layer* com os municípios da Área 2. O 2º mapa, contém o *layer* com o potencial de produtividade dos solos do Brasil. Desse modo, pode-se visualizar e analisar ambos dados em um só mapa, interpolado.

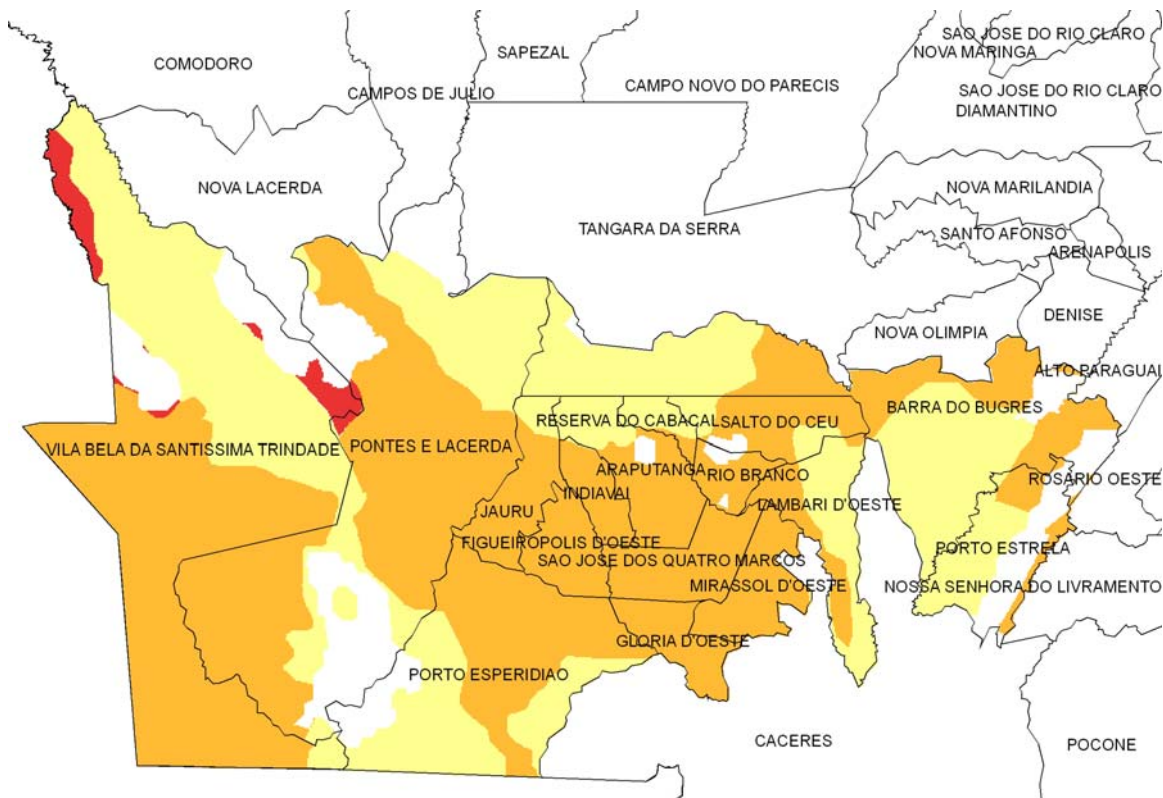


Figura 1.3.1-3: Área 2 - Layer de cada município interpolado

Após o cruzamento das informações, procede-se à conversão dos limites territoriais em metros quadrados. Isso possibilita uma contagem precisa da área e de seu potencial de produtividade. Para efeito de padronização, após obtenção dessas áreas em metros quadrados (m^2), foi feito o cálculo de conversão em hectares (ha), medida usada como padrão no Projeto.

1.3.2 Inserção de 5 novas áreas

Para satisfazer a produção do Cenário 2, de 205 milhões de m^3 de etanol, na Fase 2 do Projeto adicionou-se, à setenta e sete áreas previamente selecionadas, cinco novas áreas, 13 a 17, totalizando dezoito áreas, apresentadas em destaque e azul no mapa, Figura 1.3.2-1, abaixo.

As cinco novas áreas encontram-se assim distribuídas:

- ✓ Área 13: Bahia (Nordeste)
- ✓ Áreas 14 e 15: Bahia e Minas Gerais (Nordeste e Sudeste)
- ✓ Área 16: Bahia e Sergipe (Nordeste)
- ✓ Área 17: Roraima (Norte)

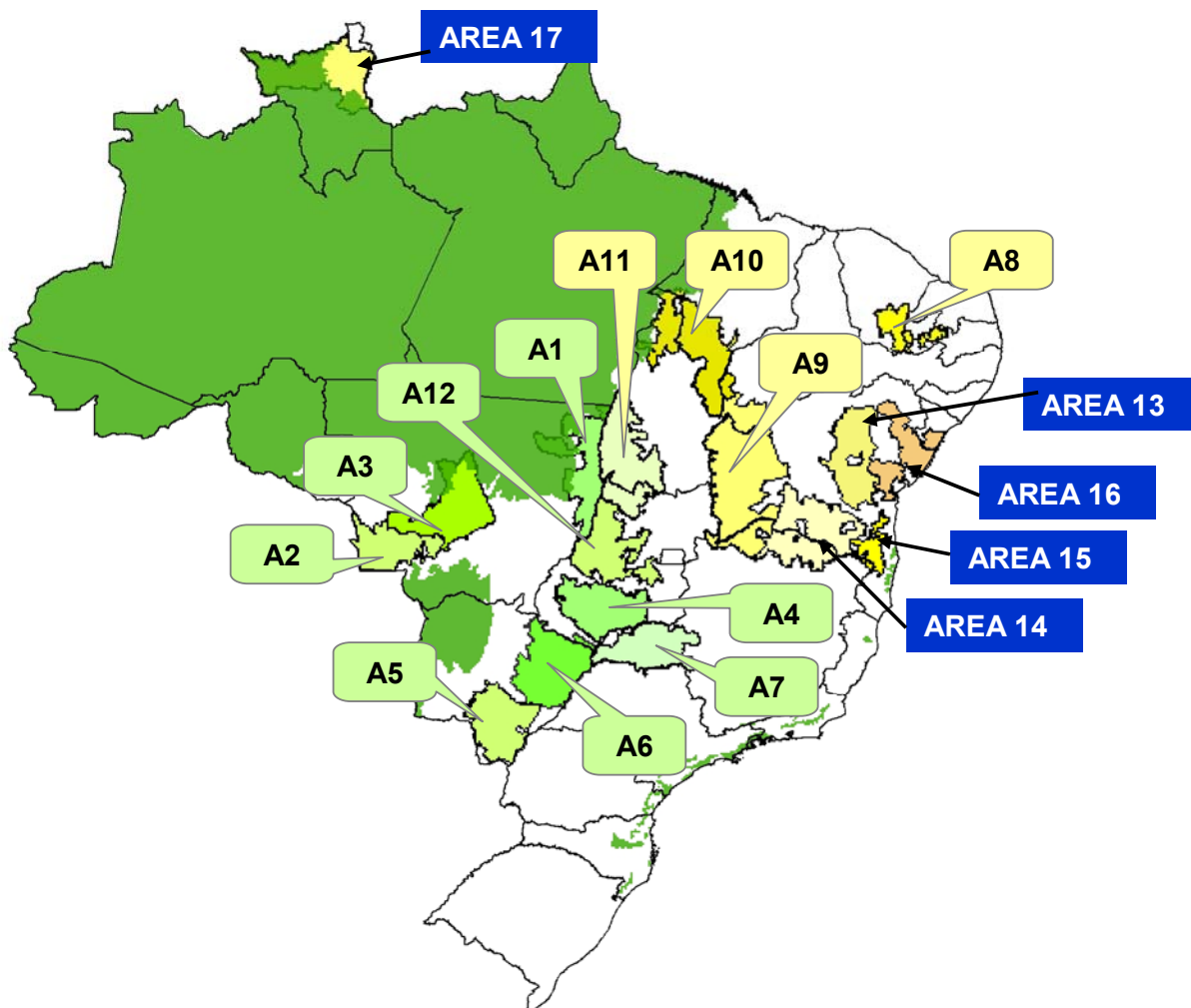


Figura 1.3.2-1: Inserção de cinco novas áreas (13 a 17)

As dezessete áreas estão localizadas em 13 estados da nação e 623 municípios ou 11,2% do total de municípios do país. A Tabela 1.3.2-1 apresenta cada uma das dezessete áreas selecionadas com os respectivos estados (UF) e municípios.

Tabela 1.3.2-1: 17 Áreas e 623 Municípios selecionados

ÁREA	UF	Municípios Selecionados	Total Municípios por área
A1	MT	7	7
A2	MT	16	16
A3	MT	16	16
A4	GO	38	38
A5	MS	26	26
A6	GO	1	
	MS	12	13
A7	MG	38	38
A8	CE	23	
	PB	22	
	RN	2	47
A9	BA	21	
	MG	7	
	PI	11	39
A10	MA	22	
	PI	1	
	TO	28	51
A11	GO	12	
	TO	16	28
A12	GO	66	66
A13	BA	56	56
A14	BA	44	
	MG	27	71
A15	BA	22	
	MG	2	24
A16	BA	63	
	SE	16	79
A17	RR	8	8
TOTAL		623	623

1.3.3 Expansão de novas áreas para atingir o Cenário 2

Com a inclusão das cinco novas áreas, apresentadas na figura 1.3.2-1, o total de terras disponíveis é de 106,6 milhões de hectares (Tabela 1.3.3-1), das quais, 56,3 apresentam potencial de produtividade "Alto" e "Bom".

Tabela 1.3.3-1: Fase 2: Dezesete áreas selecionadas (ha)

ÁREA	ALTO	BOM	MÉDIO	IMPRÓPRIO	TOTAL (A+B+M+I)
A1 a A12	2.204.118	42.056.707	34.968.458	5.232.804	84.462.088
A13	796	3.321.513	1.982.361	425.177	5.729.847
A14	-	4.395.613	3.029.968	417.836	7.843.417
A15	370.526	677.033	72.796	-	1.120.355
A16	294.708	1.931.656	2.279.582	459.349	4.965.295
A17	-	1.173.096	1.045.763	261.921	2.480.780
A13 a A17	666.030	11.498.911			22.139.694
Total geral	2.870.148	53.555.618	34.968.458	5.232.804	106.601.782

As cinco novas áreas foram selecionadas utilizando-se os mesmos critérios de seleção das doze primeiras, na Fase 1, com prioridade para as terras que apresentam potencial de produtividade "Alto" e "Bom". Esse potencial soma 12,2 milhões de hectares das áreas 13 a 17. As terras ocupadas com as culturas permanentes e temporárias nas cinco áreas selecionadas, somam 1,6 milhões de hectares, que foram devidamente deduzidas.

A Tabela 1.3.3-2 apresenta as 17 áreas selecionadas, os estados, total disponível, em hectares, prévio à dedução das culturas permanentes e temporárias, totalizando, em área disponível, 95,2 milhões de hectares.

Tabela 1.3.3-2: Terras disponíveis nas 17 áreas selecionadas

ÁREA	UF	TOTAL ÁREA (ha)	TOTAL Culturas (ha)	TOTAL DISPONÍVEL (Área - Culturas) (ha) 2003
A1	MT	5.587.949	46.756	5.541.193
A2	MT	4.763.706	84.043	4.679.663
A3	MT	6.442.128	2.239.778	4.202.350
A4	GO	6.633.594	2.004.552	4.629.042
A5	MS	5.914.883	1.744.454	4.170.429
A6	MS/GO	8.050.265	335.052	7.715.213
A7	MG	5.676.059	1.050.275	4.625.784
A8	CE/PB/RN	2.448.157	310.689	2.137.468
A9	BA/MG/PI	15.803.920	1.113.974	14.689.946
A10	MA/TO/PI	9.286.892	352.075	8.934.817
A11	TO/GO	7.131.692	151.422	6.980.270
A12	GO	6.722.844	316.780	6.406.064
A13	BA	5.729.844	487.341	5.242.503
A14	BA/MG	7.843.417	390.982	7.452.435
A15	BA/MG	1.120.355	106.794	1.013.561
A16	BA/SE	4.965.294	584.526	4.380.768
A17	RR	2.480.780	33.863	2.446.917
TOTAL		106.601.779	11.353.356	95.248.423

Fonte: PAM 2003 (IBGE)

1.3.4 Culturas permanentes e temporárias

Para cada um dos municípios das dezessete áreas, foi elaborada uma tabela a partir dos dados disponíveis do IBGE sobre as culturas (ou lavouras) permanentes e temporárias. Para chegar ao valor total de áreas disponibilizadas, foi necessário somar cada um dos diferentes tipos de culturas existentes em cada município (temporárias e permanentes, respectivamente), conforme o exemplo apresentado nas Tabelas 1.3.4-1a e 1.3.4-1b.

Tabela 1.3.4-1a: Culturas Permanentes

CULTURAS PERMANENTES	MUNICÍPIO	ESTADO	ÁREA (ha)
Borracha (látex coagulado)	Vila Bela da Santíssima Trindade	MT 300	
Café (beneficiado)	Vila Bela da Santíssima Trindade	MT 12	
Coco-da-baía (*)	Vila Bela da Santíssima Trindade	MT 40	
Laranja	Vila Bela da Santíssima Trindade	MT 50	
TOTAL	Vila Bela da Santíssima Trindade	MT	402

Tabela 1.3.4-1b: Culturas Temporárias

CULTURAS TEMPORÁRIAS	MUNICÍPIO	ESTADO	ÁREA (ha)
Abacaxi (*) (1)	Vila Bela da Santíssima Trindade	MT 5	
Arroz (em casca)	Vila Bela da Santíssima Trindade	MT 1.000	
Feijão (em grão)	Vila Bela da Santíssima Trindade	MT 300	
Mandioca (1)	Vila Bela da Santíssima Trindade	MT 40	
Milho (em grão)	Vila Bela da Santíssima Trindade	MT 1.600	
TOTAL	Vila Bela da Santíssima Trindade	MT	2.945

Fonte: PAM (2003), IBGE

Esses dados, aliados aos dados de potencial de produtividade sem irrigação, permitiram elaborar o estudo da evolução destas culturas para os próximos vinte anos.

1.3.5 Projeção da evolução das culturas permanentes e temporárias (exceto cana-de-açúcar)

Na Fase 1 do Projeto Etanol deduziu-se as culturas permanentes e temporárias, com base em dados do PAM 2003, das doze áreas selecionadas para atender o Cenário 1, de produção de 104,5 milhões de m³ de etanol.

Visando uma maior precisão das terras efetivamente disponíveis para expansão da cana-de-açúcar, procedeu-se à verificação da evolução das culturas permanentes e temporárias, exceto a cana-de-açúcar, de 1990 a 2005, com base nos dados do Banco de Dados Agregados do SIDRA (2006) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

Verificou-se que em alguns estados da nação a área ocupada com as lavouras temporárias e/ou permanentes não sofreu evolução significativa, a exemplo do estado de Sergipe, que de 1990 a 2005, evoluiu 0,26% ao ano. Outros estados apresentaram uma evolução negativa, isto é, nesses quinze anos, diminuíram a área ocupada com as lavouras. É o exemplo de Ceará, Paraíba, Rio Grande do Norte e Piauí (Tabela 1.3.5-1).

Para determinar a evolução da expansão considera-se espaços temporais trienais. Após isto, é feita uma média dos triênios, o que resultará no número percentual a

ser utilizado nas projeções das áreas de expansão das de mais culturas, exceto a cana-de-açúcar.

Em quinze anos, de 1990 a 2005, a área ocupada com as culturas temporárias e permanentes ele va-se a um pouco mais de 60 milhões de hectares. Durante a década de 90, a área agrícola não aumentou. Porém, expandiu-se em 10 milhões de hectares durante a atual década. A soja foi responsável praticamente por todo o aumento da área cultivada no país. A área dessa cultura cresceu de mais de 11 milhões de hectares desde o início dos anos 90 para 22 milhões de hectares em 2006, conforme pode ser observado na tabela 1.3.5-1.

Tabela 1.3.5-1 Brasil - Culturas Temporárias e Permanentes (em mil ha)

Brasil: Área colhida – lavouras temporárias e permanentes
(Mil hectares)

Cultura		1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005 ¹	2006 ¹
Algodão herbáceo (em caroço)	LT	1.392	1.104	802	875	760	713	1.150	1.255	891
Arroz (em casca)	LT	3.947	4.374	3.665	3.143	3.146	3.181	3.733	3.919	2.973
Café (em côco)	LP	2.909	1.870	2.268	2.336	2.371	2.396	2.368	2.320	2.342
Cana-de-açúcar	LT	4.273	4.559	4.805	4.958	5.100	5.371	5.632	5.792	6.172
Feijão (em grão)	LT	4.680	5.006	4.333	3.450	4.141	4.091	3.979	3.748	4.013
Laranja	LP	913	856	856	825	829	836	823	804	803
Mandioca	LT	1.938	1.946	1.709	1.667	1.675	1.634	1.755	1.886	1.944
Milho (em grão)	LT	11.394	13.946	11.890	12.335	11.751	12.966	12.411	11.549	12.540
Soja (em grão)	LT	11.487	11.675	13.657	13.985	16.365	18.525	21.539	22.933	22.023
Trigo (em grão)	LT	2.681	995	1.139	1.728	2.105	2.560	2.807	2.359	1.712
Outros		4.901	4.446	5.075	5.023	4.927	5.389	5.802	5.180	4.952
Total		50.515	50.777	50.197	50.326	53.171	57.660	61.999	61.745	60.365

Fonte: IBGE – Produção Agrícola Municipal e Levantamento Sistemático da Produção Agrícola (julho/06).

Notas:

¹ Estimativas.

LP: Lavoura permanente.

LT: Lavoura temporária.

nd: Não disponível.

A taxa média de crescimento de toda a área cultivada foi de 1,12% a. a. durante todo esse período, mas acelerou-se para 4,2% a.a. na primeira metade da presente década, e em função, principalmente, da forte expansão da cultura da soja; esse crescimento expressivo da área cultivada não deverá se verificar novamente. Por essa razão parece mais adequado extrapolar a tendência de longo prazo para a expansão da área cultivada. Essa expansão foi de 1,11% a.a. para a área cultivada com outras culturas fora da cana.

Algumas regiões apresentaram uma evolução bastante superior à média do Brasil. É o caso da região Centro-Oeste, que apresentou uma evolução de 5,84% ao ano das áreas ocupadas com ambas as culturas.

Para se obter a área disponível para a expansão da cana-de-açúcar, projetou-se a evolução das demais culturas nos próximos vinte anos, assumindo-se a taxa de evolução mínima de 1,11% ao ano e máxima de 3,15% ao ano. Esta última é, na realidade, a taxa média da evolução das culturas permanentes e temporárias dos 13 estados contemplados no Projeto nos últimos quinze anos. Os mesmos índices foram aplicados para as áreas selecionadas que incluem duas ou mais regiões do país, a exemplo das áreas 9, 10, 11, 14 e 15, conforme apresentado na Tabela 1.3.5-2.

Tabela 1.3.5-2: Evolução das culturas nos Estados Selecionados

Área Culturas-Cana (ha)	1990	1992	1995	1998	2000	2001	2004	2005	tx ao ano	tx 15anos
Brasil ((T-cana)+P)*	48.830.147	049.018	47.214.829	43.459.121	46.939.284	85.614.677	403.266	58.497.442	1,21%	19,80%
Nordeste ((T-cana)+P)⁽¹⁾	10.643.028	11.168.969	10.852.844	8.290.150	9.579.515	9.216.521	10.716.114	10.697.201	0,03%	0,51%
Bahia	3.394.955	3.763.532	3.402.020	3.610.767	4.175.378	4.059.622	4.671.205	4.833.572	2,38%	42,38%
Ceará	2.303.048	2.225.549	2.159.473	1.596.024	1.930.586	1.805.960	1.895.084	1.744.122	-1,84%	-24,27%
Paraíba	992.643	905.641	749.863	351.919	530.599	417.362	568.799	496.002	-4,52%	-50,03%
Rio Grande do Norte	543.449	687.507	649.819	425.938	468.690	407.564	569.458	456.017	-1,16%	-16,09%
Piauí	1.495.245	1.481.360	1.503.163	830.347	906.893	916.071	1.084.623	1.159.454	-1,68%	-22,46%
Maranhão	1.636.113	1.836.905	2.020.235	1.161.272	1.244.754	1.286.753	1.553.087	1.640.415	0,02%	0,26%
Sergipe	277.576	268.475	368.271	313.883	322.615	323.187	373.859	367.618	1,89%	32,44%
Evolução Nordeste		1,62%	-3,33%	-5,79%	6,62%	-3,79%	5,51%	-0,18%		
Evolução Trienal NE		-2,71%	-3,72%	2,81%		3,19%	2,86%		0,49%	
Sudeste ((T-cana)+P)⁽¹⁾	4.640.159	4.579.691	4.441.205	4.029.287	4.065.203	4.059.081	4.813.422	4.821.722	0,26%	3,91%
Minas Gerais	4.640.159	4.579.691	4.441.205	4.029.287	4.065.203	4.059.081	4.813.422	4.821.722	0,26%	3,91%
Evolução MG (Sudeste)		-0,59%	-1,69%	0,98%	-0,21%	-0,15%	8,18%	0,17%		
Evolução Trienal MG/SE		-1,05%	-4,86%	1,94%		0,97%	4,83%		0,37%	
Centro-Oeste ((T-cana)+P)⁽¹⁾	7.396.692	6.973.923	8.119.491	8.696.090	9.999.184	10.155.419	15.312.624	16.493.109	5,49%	123%
Mato Grosso do Sul	2.158.441	1.832.303	1.896.528	1.934.392	2.063.962	2.023.488	3.014.138	3.121.526	2,49%	45%
Mato Grosso	2.584.216	2.698.378	3.526.140	3.915.911	4.842.832	4.979.272	7.991.455	9.049.872	8,71%	250%
Goiás	2.654.035	2.443.242	2.696.823	2.845.787	3.092.390	3.152.658	4.307.031	4.321.711	3,30%	63%
Evolução Centro-Oeste		8,24%	1,97%	11,14%	5,23%	1,56%	19,15%	7,71%		
Evolução Trienal CO		-0,62%	0,60%	9,67%		6,05%	13,50%		5,84%	
Norte⁽¹⁾	386.004	353.040	341.400	327.249	338.458	350.223	614.275	758.068	4,60%	96,39%
Roraima	15.404	22.364	37.862	39.557	42.167	34.052	66.201	64.276	9,99%	317,27%
Tocantins	370.600	330.676	303.538	287.692	296.291	316.171	548.074	693.792	4,27%	87,21%
Evolução Norte		19,74%	1,80%	9,99%	-1,41%	3,48%	31,19%	23,41%		
Evolução Trienal N		-6,88%	-2,47%	9,52%		5,93%	23,37%		5,90%	

(*) T=temporárias; P=permanentes

⁽¹⁾ Somente Estados das 17 áreas selecionadas

Áreas que compartilham Região:

Med. Triênio	
A09 (NE-SE)	BA-PI-MG
A10 (NE-N)	MA-TO
A11 (N-CO)	TO-GO
A14 (NE-SE)	BA-MG
A15 (NE-SE)	BA-SE-MG

Fonte: SIDRA-IBGE (2006)

1.3.6 Terras disponíveis nas 17 Áreas Seleccionadas considerando-se a evolução das culturas

Conhecida a evolução das culturas para os próximos vinte anos, havia a necessidade de distribuir estas culturas nas áreas seleccionadas considerando-se o potencial de produtividade de cada área (Alto, Bom, Médio e Impróprio), uma vez que a localização física das culturas, dentro de uma área e municípios seleccionados, não é conhecida. Na Fase 1 do Projeto retirou-se toda a área com culturas das terras que apresentavam potencial de produtividade Alto e Bom, mas não se havia calculado a evolução das culturas para os próximos anos.

Para uma melhor distribuição, calculou-se o percentual correspondente de cada potencial dentro de cada área e distribuiu-se proporcionalmente a área ocupada com as culturas. A Tabela 1.3.6-1 apresenta, como exemplo, a Área 1, com os sete municípios seleccionados, totalizando, entre potencial Alto, Bom e Médio, 5,6 milhões de hectares, dos quais 23,5% correspondem ao potencial Bom e 76,4% ao Médio. A Área 7 não apresenta terras com Potencial Alto.

Tabela 1.3.6-1: Participação percentual da produtividade na Área 1

Municípios / ÁREA 1	UF	Potencial "Alto" (ha)	Potencial % Alto	Potencial "Bom" (ha)	Potencial % Bom	Potencial "Médio" (ha)	Potencial % Médio	Potencial "Impróprio" (ha)	Potencial % Impróprio	Σ Alto + Bom + Impróprio (TOTAL ha)	Σ Alto + Bom + Médio
7 Área 1											
1 COCALINHO	MT	0	0,0%	131.342	7,9%	1.540.000	92,1%	0	0,0%	1.671.342	1.671.342
2 CONFRESA	MT	0	0,0%	16.009	97,8%	365	2,2%	0	0,0%	16.375	16.375
3 LUCIARA	MT	0	0,0%	276.911	72,6%	104.640	27,4%	0	0,0%	381.551	381.551
4 PORTO ALEGRE DO NORTE	MT	0	0,0%	131.342	7,9%	1.540.000	92,1%	0	0,0%	1.671.342	1.671.342
5 RIBEIRAO CASCALHEIRA	MT	0	0,0%	126	0,0%	716.318	100,0%	0	0,0%	716.445	716.445
6 SANTA TEREZINHA	MT	0	0,0%	269.079	94,1%	13.627	4,8%	3.198	1,1%	285.904	282.706
7 SAO FELIX DO ARAGUAIA	MT	0	0,0%	491.116	58,1%	353.876	41,9%	0	0,0%	844.991	844.991
TOTAL	-	0	-	1.315.924	23,5%	4.268.827	76,4%	3.198	0,1%	5.587.949	5.584.752

O próximo passo é determinar a área disponível para a expansão da cana-de-açúcar depois de calculada a evolução das demais culturas temporárias e permanentes para 2015 e 2025⁶, aplicando-se os índices de evolução acima definidos, de 1,11% ao ano e 3,15% ao ano, mínimo e máximo, respectivamente.

Para exemplificar, na Área 1, localizada ao Leste de Mato Grosso, utilizou-se o índice máximo, 3,15% ao ano. Desse modo, a área ocupada com culturas, passa de 46,7 mil hectares em 2003 para 67,8 mil hectares em 2015 e 92,5 mil hectares em 2025, conforme apresentado na Tabela 1.3.6-2, abaixo.

Na mesma Tabela em contra-se a área final disponível para a expansão da cana-de-açúcar em 2015 e 2025. A Tabela 1.3.6-1 apresenta a soma tória do potencial de produtividade Alto, Bom e Médio, de 5,58 milhões de hectares. Depois de deduzidas as terras ocupadas com as demais culturas, devidamente projetadas, essa mesma área tem disponibilidade de 5,49 milhões de hectares, sozinha a área final com potencial Bom e Médio (Tabela 1.3.6-2) em 2025.

⁶ Devido ao PAM, IBGE 2004, apresentar a base de dados de 2003, projetou-se 12 anos para chegar a 2015 e 22 anos para 2025.

Tabela 1.3.6-2: Área disponível em 2015 e 2025 na Área 1

	Municípios / ÁREAS	UF	TOTAL C (P+T) (ha) 2003	TOTAL C (P+T) (ha) em 2015 (3,15% ao ano)	TOTAL C (P+T) (ha) em 2025 (3,15% ao ano)	Area Final Alto 2015 (ha)	Area Final Alto 2025 (ha)	Area Final Bom 2015 (ha)	Area Final Bom 2025 (ha)	Area Final Médio 2015 (ha)	Area Final Médio 2025 (ha)
7	Área 1										
1	COCALINHO	MT	6.487	9.412	12.834	0	0	130.602	130.333	1.531.328	1.528.174
2	CONFRESA	MT	15.522	22.521	30.709	0	0	-6.009	-14.015	-137	-320
3	LUCIARA	MT	865	1.255	1.711	0	0	276.000	275.669	104.296	104.171
4	PORTO ALEGRE DO NORTE	MT	3.502	5.081	6.929	0	0	130.942	130.797	1.535.318	1.533.616
5	RIBEIRAO CASCALHEIRA	MT	8.750	12.695	17.311	0	0	124	123	703.625	699.010
6	SANTA TEREZINHA	MT	5.417	7.859	10.717	0	0	261.682	258.992	13.253	13.117
7	SAO FELIX DO ARAGUAIA	MT	6.213	9.014	12.292	0	0	485.876	483.971	350.101	348.728
-	TOTAL	MT	46.756	67.837	92.504	0	0	1.279.218	1.265.871	4.237.784	4.226.496

Fonte: PAM 2003 (IBGE)

Com base nas terras disponíveis de cada área, pode-se calcular o total de área disponível para a produção de cana-de-açúcar nas dezessete áreas, em 2025, por estado e por área, já deduzidas as culturas e sua correspondente evolução.

A Tabela 1.3.6-3 apresenta, na primeira coluna, a área total do estado. Pode-se visualizar, na terceira coluna, as áreas selecionadas que estão incluídas em um estado, seguido pelas áreas com potencial de produtividade "Alto", "Bom" e "Médio". A penúltima coluna traz o total de área disponível em 2025 e a última coluna apresenta o percentual da área ocupada em relação ao total da área do estado (primeira coluna).

É importante notar que o total de 80,8 milhões de hectares com potenciais de produtividade Alto, Bom e Médio refere-se à **disponibilidade de terras** para expansão, e não ao uso efetivo para atingir a produção de 205 milhões de m³ de etanol. Por sua vez, os 80,8 milhões de hectares correspondem a 20,3% dos 397,9 milhões de hectares, área total dos 13 estados que compreendem as 17 áreas selecionadas.

Tabela 1.3.6-3: Total de terras disponíveis nas 17 áreas, em 2025

Área Estado (em ha)	UF	Áreas Seleccionadas	ALTO (ha)	BOM (ha)	MÉDIO (ha)	TOTAL (ha) (A+B+M) 2025	% Ocupada do Estado
	BA	9	0	5.148.341	4.613.604	9.761.945	18,1%
	BA	13	790	2.951.359	1.785.594	4.737.743	8,8%
	BA	14	0	2.347.881	1.876.393	4.224.274	7,8%
	BA	15	301.369	523.705	63.538	888.612	1,6%
	BA	16	237.317	1.320.460	1.810.389	3.368.167	6,3%
53.864.628	BA	5 Áreas				22.980.741	42,7%
	CE	8	0	838.472	505.051	1.343.523	9,5%
14.136.676	CE	1 Área				1.343.523	9,5%
	GO	4	51.964	1.592.198	1.016.656	2.660.818	8,2%
	GO	6	13.313	137.402	96.414	247.129	0,8%
	GO	11	0	777.480	1.085.227	1.862.708	5,7%
	GO	12	0	2.640.365	3.171.606	5.811.972	17,8%
32.571.039	GO	4 Áreas				10.582.627	32,5%
	MA	10	0	2.399.198	2.275.011	4.674.209	14,5%
32.230.122	MA	10				4.674.209	14,5%
	MG	7	705.226	2.090.599	1.541.256	4.337.081	7,7%
	MG	9	0	459.732	1.405.702	1.865.435	3,3%
	MG	14	0	1.756.170	973.151	2.729.321	4,8%
	MG	15	0	95.593	0	95.593	0,2%
56.578.724	MG	4 Áreas				9.027.430	16,0%
	MS	5	0	2.248.535	205.566	2.454.101	7,1%
	MS	6	502.747	3.359.936	3.236.741	7.099.425	20,5%
34.703.725	MS	2 Áreas				9.553.526	27,5%
	MT	1	0	1.265.871	4.226.496	5.492.367	6,4%
	MT	2	0	2.763.967	1.761.448	4.525.415	5,2%
	MT	3	0	701.529	1.005.103	1.706.632	2,0%
86.278.333	MT	3 Áreas				11.724.415	13,6%
	PB	8	0	359.829	245.620	605.450	11,2%
5.420.419	PB	1 Área				605.450	11,2%
	PI	9	0	627.327	1.117.472	1.744.799	6,8%
	PI	10	0	161.157	106.143	267.300	1,0%
25.600.067	PI	2 Áreas				2.012.099	7,9%
	RN	8	0	26.872	20.074	46.947	0,9%
5.131.024	RN	1 Área				46.947	0,9%
	RR	17	0	1.142.917	1.016.584	2.159.500	9,5%
22.815.700	RR	1 Área				2.159.500	9,5%
	SE	16	0	277.477	154.927	432.404	20,6%
2.096.529	SE	1 Área				432.404	20,6%
	TO	10	0	1.198.280	1.089.928	2.288.208	8,6%
	TO	11	0	1.357.847	2.016.221	3.374.068	12,7%
26.517.048	TO	2 Áreas				5.662.276	21,4%
387.944.034		17	14012.727	.570.502	88.421.916	0.805.145	20,3%
85178.661							9,5%

1.3.7 Disponibilidade de área e potencial de produção de etanol – atual

Com base nos dados da área disponível, de 80,5 milhões de hectares (Tabela 1.3.6-3, acima), passou-se a calcular o potencial de produção de etanol mantendo-se os parâmetros atuais de produção.

De acordo com as premissas para a expansão da produção de etanol da Fase 1 do Projeto, cada *cluster* ocupa uma área de 525 mil hectares, ou 15 distilarias, e produz 2,55 milhões de m³ de etanol, viabilizando, com esse volume, o investimento na área logística e de desenvolvimento local.

Com esses parâmetros, poder-se-ia obter 154 *clusters*, Tabela 1.3.7-1, totalizando uma produção de etanol de 392,5 milhões de m³, sem levar em consideração avanços tecnológicos. Como comparação, na safra 2005/2006, o país produziu 15,9 milhões de m³ de etanol.

A tabela abaixo apresenta um resumo da área disponível, em 2015 e 2025, o potencial de produção de etanol e a quantidade de *clusters* das 17 áreas selecionadas. A tabela também apresenta a divisão desse potencial de acordo com o potencial de produtividade "Alto e Bom" e "Médio".

Tabela 1.3.7-1: Potencial das 17 áreas selecionadas em 2025

Áreas (1 a 17)	Área Disponível 2015 e 2025 (ha) Participação (%) por Produtividade (A;B;M)				POTENCIAL <i>Clusters</i> e Produção de ETANOL (Atual)	
	2015 (Ano 10)	(%)	2025 (Ano 20)	(%)	1C=15 Destil. (ha)	milhões m ³
					525000	2,55
TOTAL (17 Areas)	85.075.642	100,0%	80.805.145	100,0%	153,9	392,5
Alto+Bom	45.606.954	53,6%	42.383.229	52,5%	80,8	206,1
Médio	39.468.688	46,4%	38.421.916	47,5%	73,1	186,4

É importante notar que a área disponível considera o sistema de preservação ambiental e a evolução das culturas, permanentes e temporárias, por área selecionada, até 2025, de acordo com os índices de evolução apresentados na Tabela 1.3.5-2.

O potencial de produção de cana-de-açúcar e de etanol, para o ano de 2025, com base na área disponível, por área selecionada, serão apresentados a seguir.

1.3.7.1 Comportamento da produtividade da cana-de-açúcar

Sabendo-se a disponibilidade de terras nas áreas selecionadas, passou-se a considerar o potencial de produção de cana-de-açúcar em 2025, com a devida projeção da evolução da produtividade da tonelada de cana-de-açúcar por hectare, para cada região do país.

Para projetar essa produtividade, foi feito um exercício de simulação da evolução dessa produtividade. Segundo o IBGE, a produtividade de, tomando-se por base

médias trienais, cresceu de 1990 a 2004, à taxa média de 1,27% ao ano. Porém essa produtividade cresceu a taxas diferenciadas entre as regiões.

Em São Paulo, o crescimento foi de 0,55% a.a., ao passo que no Centro-Oeste, foi de 1,1% a.a. e no Nordeste de 1,2% a.a. Ainda assim, existem substanciais diferenças de produtividade. Em São Paulo, ela é 80,7 tc/ha colhida, em 2002-2004, já no Centro-Oeste, é de 75,1 tc/ha colhida e no NE de 58,9 tc/ha colhida, ou seja, o CO tem 93% da produtividade de SP e o NE tem 72,9% da produtividade paulista, no mesmo período.

Para fazer as projeções supôs-se que haveria um aumento das taxas de crescimento das produtividades em virtude do incentivo à pesquisa agrônômica. De maneira que a produtividade cresceria de 1,03% a.a. nos próximos 20 anos em São Paulo, de 1,375% a.a. no CO e de 2% a.a. no N-NE, Tabela 1.3.7.1-1.

Tabela 1.3.7.1-1 Produtividade tc/ha

tc/ha	Produtividade CTC e IBGE			
	Área Total – Brasil			
		Atual	2015	2025
São Paulo	A	65,12	72,14	79,94
	B	58,48	64,78	71,78
	M	51,84	57,43	63,63
CO	A	60,56	69,42	79,58
	B	54,40	62,36	71,48
	M	48,24	55,26	63,35
N-NE	A	47,52	57,93	70,62
	B	42,67	52,02	63,41
	M	37,83	46,11	56,22
CO-N	A	54,04	63,68	75,10
	B	48,54	57,19	67,44
	M	43,04	50,68	59,78
SE-N-NE	A	56,32	65,04	75,28
	B	50,58	58,40	67,60
	M	44,84	51,77	59,92

Fonte: CTCn(2005) e IBGE (2005)

Conhecendo-se a disponibilidade de terras e a produtividade de tonelada de cana por hectare por região, para os anos 2015 e 2025, passou-se a projetar o potencial de produção de cana-de-açúcar por área selecionada.

A Tabela 1.3.7.1-2 apresenta o potencial de produção de cana-de-açúcar para as 17 áreas, com a produtividade projetada conforme a tabela acima, incluindo a quantidade de clusters que seria possível desenvolver, por área selecionada, assim como o potencial de etanol que poderia ser produzido com a tecnologia convencional.

Com base no aumento da produtividade e por (tc/ha) o potencial de produção de cana-de-açúcar das 17 áreas passa a ser de 5,1 bilhões de toneladas e a produção de etanol, de 434,6 milhões de m³, conforme as tabelas abaixo.

Tabela 1.3.7.1-2: Potencial de produção de cana-de-açúcar e etanol-2025

POTENCIAL: 17 Areas Seleccionadas para Expansão						
Áreas	Área Disponível (ha)		Potencial Produção		No.de Clusters (C)	Potencial Etanol
			toneladas de cana-de-açúcar		(1C=30 10 ⁶ tc)	(10 ⁶ m ³)
	2015	2025	2015	2025	2025	2025
Area 1 - MT (NE)						
Area Prod Alto	0	0	0	0		
Área Prod Bom	1.279.218	1.265.871	79.772.038	90.484.470		
Área Prod Médio	4.237.784	4.226.496	234.179.951	267.748.537		
TOTAL	5.517.002	5.492.367	313.951.989	358.233.007	11,9	30,4
Area 2 - MT (SO)						
Area Prod Alto	0	0	0	0		
Área Prod Bom	2.786.377	2.763.967	173.758.483	197.568.337		
Área Prod Médio	1.783.265	1.761.448	98.543.245	111.587.738		
TOTAL	4.569.643	4.525.415	272.301.728	309.156.075	10,3	26,3
Area 3 - MT (C)						
Area Prod Alto	0	0	0	0		
Área Prod Bom	1.471.317	701.529	91.751.313	-		
Área Prod Médio	1.415.882	1.005.103	78.241.643	63.673.306		
TOTAL	2.887.199	1.706.632	169.992.956	63.673.306	2,1	5,4
Area 4 - GO (S)						
Area Prod Alto	174.518	51.964	12.115.056	4.135.277		
Área Prod Bom	2.368.838	1.592.198	147.720.747	113.810.304		
Área Prod Médio	1.173.306	1.016.656	64.836.876	64.405.167		
TOTAL	3.716.662	2.660.818	224.672.678	168.562.807	5,6	14,3
Area 5 - MS (S)						
Area Prod Alto	0	0	0	0		
Área Prod Bom	3.107.233	2.248.535	193.767.020	160.725.288		
Área Prod Médio	253.712	205.566	14.020.117	13.022.600		
TOTAL	3.360.944	2.454.101	207.787.137	173.747.888	5,8	14,8
Area 6 - MS (E)						
Area Prod Alto	544.225	516.060	37.780.123	41.068.093		
Área Prod Bom	3.593.571	3.497.338	224.095.073	249.989.743		
Área Prod Médio	3.376.918	3.333.156	186.608.481	211.155.412		
TOTAL	7.514.714	7.346.554	261.875.195	502.213.248	16,7	42,7
Area 7 - MG (SO)						
Area Prod Alto	730.517	705.226	52.702.396	56.372.942		
Área Prod Bom	2.159.204	2.090.599	139.881.867	150.071.564		
Área Prod Médio	1.587.302	1.541.256	91.161.917	98.073.183		
TOTAL	4.477.022	4.337.081	283.746.181	304.517.689	10,2	25,9
Area 8 - CE+PB+RN						
Area Prod Alto	0	0	0	0		
Área Prod Bom	1.249.027	1.225.174	64.969.382	77.685.836		
Área Prod Médio	784.678	770.745	36.183.088	43.328.216		
TOTAL	2.033.705	1.995.919	101.152.471	121.014.052	4,0	10,3
Total (1)	34.076.892	30.518.888	1.835.480.336	2.001.118.073	66,7	170,1

Continuação da Tabela 1.3.7.1-2

POTENCIAL:17 Areas Seleccionadas para Expansão						
Áreas (cont.)	Área Disponível (ha)		Potencial Produção toneladas de cana-de-açúcar		No.de Clusters (C) (1C=30 10 ⁶ tc)	Potencial Etanol (10 ⁶ m ³)
	2015	2025	2015	2025	2025	2025
Area 9 - BA+PI+MG						
Area Prod Alto	0	0	0	0		
Área Prod Bom	6.330.055	6.235.401	329.289.444	395.386.775		
Área Prod Médio	7.180.853	7.136.777	331.109.147	401.229.625		
TOTAL	13.510.908	13.372.178	660.398.591	796.616.399	26,6	67,7
Area 10-MA(S)+TO(N)						
Area Prod Alto	0	0	0	0		
Área Prod Bom	3.824.282	3.758.635	198.923.857	238.327.506		
Área Prod Médio	3.540.620	3.471.082	163.265.047	195.130.335		
TOTAL	7.364.902	7.229.716	362.188.904	433.457.842	14,4	36,8
Area 11 - TO+GO						
Area Prod Alto	0	0	0	0		
Área Prod Bom	2.160.265	2.135.327	123.545.561	144.014.996		
Área Prod Médio	3.137.230	3.101.449	158.994.806	185.417.007		
TOTAL	5.297.495	5.236.776	282.540.367	329.432.003	11,0	28,0
Area 12 - GO (C)						
Area Prod Alto	0	0	0	0		
Área Prod Bom	2.741.924	2.640.365	170.986.369	188.733.324		
Área Prod Médio	3.235.547	3.171.606	178.796.342	200.921.254		
Total	5.977.471	5.811.972	349.782.711	389.654.579	13,0	33,1
Área 13 - BA (C)						
Area Prod Alto	791	790	45.814	55.806		
Área Prod Bom	2.990.045	2.951.359	155.542.144	187.145.662		
Área Prod Médio	1.806.159	1.785.594	83.281.982	100.386.091		
TOTAL	4.796.995	4.737.743	238.869.940	287.587.560	9,6	24,4
Área 14 - BA-MG						
Area Prod Alto	0	0	0	0		
Área Prod Bom	4.134.524	4.104.051	241.456.174	277.417.451		
Área Prod Médio	2.868.401	2.849.544	148.502.851	170.756.082		
TOTAL	7.002.924	6.953.595	389.959.025	448.173.533	14,9	38,1
Área 15 -BA-MG(SE)						
Area Prod Alto	308.597	301.369	20.069.928	22.685.884		
Área Prod Bom	625.332	619.298	36.519.418	41.862.095		
Área Prod Médio	64.505	63.538	3.339.562	3.807.424		
TOTAL	998.435	984.205	59.928.909	68.355.402	2,3	5,8
Área 16 - BA (SE)						
Area Prod Alto	243.315	237.317	14.095.249	16.759.328		
Área Prod Bom	1.632.816	1.597.937	84.939.069	101.325.213		
Área Prod Médio	1.998.161	1.965.316	92.135.216	110.490.075		
TOTAL	3.874.292	3.800.571	191.169.534	228.574.616	7,6	19,4
Área 17 - RR						
Area Prod Alto	0	0	0	0		
Área Prod Bom	1.150.964	1.142.917	59.873.154	72.472.341		
Área Prod Médio	1.024.364	1.016.584	47.233.442	57.152.329		
TOTAL	2.175.329	2.159.500	107.106.596	129.624.670	4,3	11,0
TOTAL (2)	50.998.750	50.286.257	2.641.944.577	3.111.476.604	103,7	264,5
TOTAL (1+2)	85.075.642	80.805.145	4.477.424.912	5.112.594.677	170,4	434,6
Alto+Bom	45.606.954	42.383.229	2.615.494.048	2.985.066.378	99,5	253,7
Médio	39.468.688	38.421.916	1.861.930.864	2.127.528.299	70,9	180,8

Como comparação, apresenta-se, na tabela 1.3.7.1-3, o potencial de produção de etanol atual, sem considerar a evolução da produtividade (tc/ha) conforme a Tabela 1.3.7.1-1 e o mesmo potencial com a produtividade refletida na produção de cana-de-açúcar, na mesma área disponível, em 2025.

Tabela 1.3.7.1-3: Potencial de Produção das 17 Áreas - Atual e 2025

POTENCIAL: 17 Áreas Seleccionadas para Expansão				
Áreas	Área disponível	Potencial	Potencial Produção	Potencial
	(em hectares)	Produção Etanol	de cana-de-açúcar	Produção Etanol
	2025	(10 ⁶ m ³) Atual	2025	(10 ⁶ m ³) 2025
Area 1 - MT	5.492.367	26,7	358.233.007	30,4
Area 2 - MT	4.525.415	22,0	309.156.075	26,3
Area 3 - MT	1.706.632	8,3	63.673.306	5,4
Area 4 - GO	2.660.818	12,9	168.562.807	14,3
Area 5 - MS	2.454.101	11,9	173.747.888	14,8
Area 6 - MS	7.346.554	35,7	502.213.248	42,7
Area 7 - MG	4.337.081	21,1	304.517.689	25,9
Area 8 - CE+PB+RN	1.995.919	9,7	121.014.052	10,3
Area 9 - BA+PI+MG	13.372.178	65,0	796.616.399	67,7
Area 10-MA+TO	7.229.716	35,1	433.457.842	36,8
Area 11 - TO+GO	5.236.776	25,4	329.432.003	28,0
Area 12 - GO	5.811.972	28,2	389.654.579	33,1
Área 13 - BA	4.737.743	23,0	287.587.560	24,4
Área 14 - BA-MG	6.953.595	33,8	448.173.533	38,1
Área 15 -BA-MG	984.205	4,8	68.355.402	5,8
Área 16 - BA	3.800.571	18,5	228.574.616	19,4
Área 17 - RR	2.159.500	10,5	129.624.670	11,0
TOTAL 80.	805.145	392,5	5.116.757.259	434,6
Alto+Bom	42.383.229	206,1	2.989.228.960	253,7
Médio	38.421.916	186,4	1.861.930.864	180,8

Pode-se observar que, com a mesma produtividade utilizada na área agrícola, a produtividade de toneladas de cana-moída por hectare, a produção de etanol apresenta um aumento de 10,8 %, passando dos 392,5 milhões de m³ para 434,6 milhões de m³ de etanol.

No que diz respeito ao uso da terra, mantendo-se os parâmetros atuais, para produzir os 205 milhões de m³ de etanol, objetivo da Fase 2, seriam necessários cerca de 40 milhões de hectares. No entanto, com a introdução de cenários incluindo diferentes etapas de avanço tecnológico nas áreas agrícola e industrial,

em 2025, a necessidade de terras, certamente, será reduzida, o que poderia levar à utilização somente das áreas com potencial Alto e Bom, que somam 42,4 milhões de hectares.

É importante notar que, do total da área estimada para a expansão da produção de etanol, 20% referem-se à área de preservação ambiental. Assim, se considerarmos os 40,0 milhões de hectares, uma reserva ambiental de 8,0 milhões de hectares estaria sendo desenvolvida no país. Essa área é significativa, pois representa mais do que o dobro da área da Mata Atlântica, nos dias atuais, e cerca de 60% da área do Pantanal.

1.4 Outras matérias-primas para a produção de etanol

1.4.1 Introdução

O etanol pode ser obtido de diferentes matérias-primas, que contenham açúcares ou polímeros de açúcares, como cereais, frutas, tubérculos, gramíneas como a cana-de-açúcar, sorgo sacarino, etc.

Estas matérias-primas podem ser divididas quanto ao insumo básico que elas contêm em três tipos:

- Açúcares: cana-de-açúcar, melão, sorgo sacarino, frutas, beterraba, tupinambú, etc. Os açúcares são convertidos diretamente em etanol via fermentação, após o processo de extração;
- Amidos: grãos (milho, trigo, cevada, arroz, etc) e tubérculos (mandioca, batata, batata doce, etc). Os amidos são convertidos em açúcares via hidrólise (sacarificação) e estes açúcares são posteriormente fermentados;
- Lignocelulósicos: resíduos agroflorestais, lixo urbano, gramíneas (switchgrass, capim elefante, etc), fração orgânica do lixo urbano, florestas plantadas, etc. A celulose e a hemicelulose precisam ser convertidas em açúcares via hidrólise, em um processo bem mais complicado que no caso dos amidos. Após a hidrólise, o caldo hidrolítico precisa ser detoxificado para depois ser fermentado. A fermentação dos açúcares de cinco carbonos (pentoses, principalmente xerose) é complicada e ainda não atingiu a maturidade comercial.

Apesar da grande variedade de matérias-primas em uso comercial, para a produção de etanol combustível e industrial, as matérias-primas mais utilizadas comercialmente são:

- Açúcares: cana-de-açúcar, melão, beterraba.
- Amidos: milho, trigo.
- Lignocelulósicos: a tecnologia para este tipo de matéria-prima ainda está em desenvolvimento e será discutida em outra parte deste relatório.

Dessas matérias-primas a cana-de-açúcar e o milho dominam a produção de etanol no mundo, com cerca de 95% do total (CAREN SA, 2006). Todavia, existem algumas matérias-primas que são frequentemente consideradas, mas ainda não atingiram um nível de uso comercial significativo; algumas dessas matérias-primas

serão discutidas a seguir, pois poderão se tornar importante quando a expansão da produção de etanol atingir a magnitude que venha justificar o uso de terras e climas não apropriados para a produção de cana-de-açúcar ou milho. A conveniência de se estender a produção de álcool, para além dos limites da safra da cana-de-açúcar, poderá justificar o uso de matérias-primas complementares.

1.4.2 Matérias-primas importantes

Algumas características das matérias-primas são importantes na avaliação de alternativas: produtividade, balanço energético total (campo e fábrica), custo de produção, requisitos de qualidade de solo e clima, a adequação à agricultura familiar ou à agricultura extensiva, resíduos com valor energético, sazonalidade, usos alternativos, nível de difusão da cultura e nível tecnológico, impactos ambientais. A seguir, algumas das culturas mais promissoras para produção de etanol serão discutidas.

- **Cana-de-açúcar**

A cana-de-açúcar é, e continuará sendo, a mais importante matéria-prima para a produção de etanol pela extensão de seu cultivo no mundo (cultivada em mais de 100 países), pela alta produtividade em relação à área cultivada, por seu balanço energético muito positivo e por seus baixos custos de produção. A cana-de-açúcar é tratada em detalhes em várias partes deste relatório e, portanto, não será mais abordada neste capítulo.

- **Milho**

O milho é hoje a matéria-prima mais utilizada na produção de etanol. Doson (Doson, 2001) compara este cereal com várias outras alternativas de matéria-prima para produzir etanol, nas condições dos EUA, e os principais índices estão mostrados na Tabela 1.4.2-1 abaixo.

Tabela 1.4.2-1: Rendimentos em etanol de várias matérias-primas

Matéria prima	Material Fermentescível %	Rendimento Etanol (l/t)
Trigo 58,6		356
Milho 57,8		348
Beterraba 16,0		92
Cana-de-açúcar 11,0		63
Batata doce	23,3	129
Batata 15,6		94
Tupinambu 15,2		82
Açúcar puro	100	577

Fonte: Doson, 2001 com adaptação do autor

Estes valores parecem um pouco subestimados, como será visto mais adiante, porém são interessantes em termo de comparação.

Quanto à composição típica do milho, valores médios estão mostrados na Tabela 1.4.2-2, a seguir.

Tabela 1.4.2-2: Composição típica do milho

Constituinte	Teor (% m/m)
Umidade 10,9	3
Proteína 9,88	
Matéria graxa	4,17
Carboidratos 71,95	
Fibras 1,71	
Cinzas 1,36	

Da tabela acima, pode ser visto que os teores de proteína, matéria graxa e carboidratos conferem ao milho um alto valor nutritivo, tanto para seres humanos como animais. O teor de carboidratos acima de 70% facilita e barateia o transporte e a estocagem do milho, permitindo seu processamento para etanol durante o ano inteiro.

O milho é um dos cereais mais cultivados no mundo, utilizando uma área próxima de 150 milhões ha, ou seja, cerca de 10% da área cultivada total no planeta. Os maiores produtores são os Estados Unidos, China, Brasil, Índia, México e Argentina. É uma commodity com um forte mercado internacional onde os Estados Unidos, Brasil e Argentina se destacam como exportadores.

O etanol de milho ganha projeção, já se igualando em volume ao da cana-de-açúcar, mas sua expansão não parece ser sustentável pelo balanço energético pouco atraente, produtividade apenas mediana e custos de produção mais elevados. Além de exigir subsídios para o milho e para a produção industrial, o etanol de milho depende ainda da venda de seus subprodutos (DDGS no caso de dry milling, óleo, farelo, germe, HFCS no caso de wet milling) para ser economicamente viável. O mercado para estes subprodutos é finito e o ponto de saturação não parece estar longe de ser atingido.

Do ponto de vista de requisito de área, o milho não parece ser uma boa opção. Só os Estados Unidos e a Argentina têm produtividades que poderiam justificar o uso do milho para produção de etanol, como mostra a Tabela 1.4.2-3. O valor de 400 l/t milho foi utilizado nesta tabela por ser um valor mais atualizado que o apresentado na Tabela 1.4.2-1 acima.

Tabela 1.4.2-3: Produção de milho em alguns países

PAÍS	ÁREA (1000 ha)	PRODUÇÃO (1000 t)	PRODUTIVIDADE (kg/ha)	l/ha
EUA	30.350	282.360	9.286	3.700
Brasil	11.400	34.860	3.039	1.200
Índia	7.468	14.500	1.959	780
México	6.606	18.012	2.726	1.100
Argentina	2.783	20.482	7.358	2.900

Da tabela acima, pode-se observar que apenas os EUA e Argentina têm produtividades compatíveis com a produção de etanol, mas bem abaixo do caso da cana-de-açúcar.

A tecnologia de converter o milho em etanol está muito bem desenvolvida nos Estados Unidos, que são hoje o maior produtor mundial de etanol. Dois processos são utilizados com vantagens relativas: wet milling e dry milling.

A tecnologia de "dry milling" é a mais antiga e tradicional para produzir etanol de milho. Ela é constituída de etapas bem caracterizadas: moagem, cozimento, sacarificação (hidrólise), fermentação e destilação. Várias instalações utilizam o processo de sacarificação e fermentação simultâneas (SSF), reduzindo os custos de investimento e facilitando a operação.

A moagem é realizada em moinhos mecânicos chegando-se a uma granulometria adequada para a sacarificação. A etapa de cozimento tem a finalidade de gelatinizar o amido para permitir a hidrólise por enzimas, convertendo-o em açúcar. O farelo de milho que sai dos moinhos é misturado com água e vinhaça até uma concentração de sólidos de 35% antes de ser enviado ao pré-cozedor, que opera a 60°C e com agitação mecânica; o tempo máximo de pré-cozimento é de 5 minutos. Em seguida, a massa úmida é levada ao cozedor contínuo que opera na pressão de 11 bar e temperatura de 180 °C, onde permanece por cerca de 2 minutos. A goma cozida é descarregada, por pressão, no sacificador, onde parte da água evapora (flashing), trazendo a temperatura para um valor em torno de 60°C; sofrendo a ação da enzima do tipo alfa 1,4-D- glucan hidrolase, numa dosagem de 0,025 a 0,050% em relação ao amido, base seca. O pH deverá ser mantido entre 3,0 a 5,0 e a temperatura no intervalo de 30° a 65°C.

Os processos de fermentação e destilação são semelhantes ao caso da cana-de-açúcar, discutidos em outras partes deste relatório, exceto no processo SSF. Neste caso, o processo total se realiza em torno de 40 horas. O principal sub-produto do processo de "dry milling" é o chamado Distillers Dried Grain with Solubles (DDGS), que é utilizado para ração de gado.

O processo de "wet milling" é mais recente, tendo sido introduzido em larga escala no final dos anos 70's, com o crescimento acelerado da produção de etanol de milho nos EUA. Ele foi originalmente desenvolvido para produzir amido puro, usado na fabricação de detergente de cozinha e xarope de frutose de milho (HFCS- high fructose corn syrup); seu uso na produção de etanol foi popularizado pela Archer Daniels Midland (ADM), a maior produtora de etanol dos EUA.

A maior vantagem desta tecnologia é a produção de um grande número de co-produtos (HFCS, óleo de milho, germe de milho, dextrose, glúten e outros tipos de produtos alimentícios e de ração animal) que contribui para melhorar a economicidade do etanol.

Antes da moagem do milho, este é colocado de molho (steeping) para remover as frações solúveis e se recuperar o germe, a fibra e o glúten. Após este processo o milho é moído, sa-carificado, fermentado e o álcool destilado de forma muito semelhante ao processo de "dry milling".

- **Melaço**

O melaço ou mel final pode ser definido como o efluente final obtido na produção do açúcar bruto (PATURAU, 1969). Atualmente, o processo de cristalização da sacarose é de forma contínua e o rendimento na obtenção dos cristais diminui até chegar a um ponto em que a sacarose não pode se cristalizar, através dos métodos convencionais e a uma determinada temperatura. Nesse estágio o melaço também é chamado de mel de exaustão. O melaço parece como sub-produto somente depois que o cristal da sacarose é buscado como produto (OTERO, 2006).

A pureza do melaço ou mel de exaustão depende principalmente do seu conteúdo de água e da natureza e conteúdo dos constituintes não-sacarídeos, que têm sua origem na cana. Embora todos estes constituintes exerçam influência, somente aqueles presentes em grandes quantidades têm maior efeito, como é no caso dos açúcares redutores e as cinzas. A pureza aparente (Q) do melaço e de qualquer outro mel pode ser calculada a partir da seguinte equação:

$$Q = (Pol / Brix) \times 100 \quad (1.1)$$

onde:

Pol = teor de sacarose

Brix = quantidade dos sólidos presentes

Composição do melaço

A composição do melaço pode variar também entre limites amplos e isto dificulta falar de valores absolutos, já que está influenciada por vários fatores como o tipo de solo, aplicação de fertilizantes, métodos de colheita e as particularidades do processo aplicado em cada usina. Portanto, os dados apresentados na Tabela 1.4.2-4 podem ser considerados como alguns valores indicativos frequentemente obtidos em muitos países produtores da cana-de-açúcar.

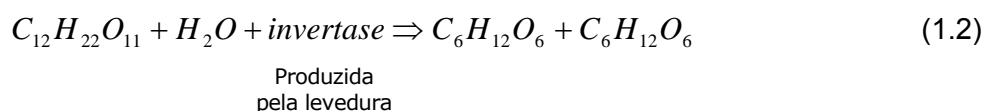
Tabela 1.4.2-4: Composição típica do melaço

Critério	Bom	Moderado	Baixo
Brix	87,6	85,4	84,2
Sacarose (% m/m)	38,0	34,6	31,3
Açúcares Redutores Livres ARL (%)	19,6	20,0	13,5
Açúcares Totais ATR (%)	58,0	52,9	49,9
Cinzas (% m/m)	7,3	9,4	11,6
Nitrogênio (% m/m)	1,1	0,5	0,5
Água (%)	-	15 - 25	-

Fonte: Chemistry and processing of sugarbeet and sugarcane

Os açúcares no melaço

Dos carboidratos presentes no melaço, a sacarose é que representa a maior parte, os açúcares invertidos (glicose e frutose) também estão presentes em quantidades importantes. Encontram-se também, em menores quantidades, oligo e polissacarídeos. Os açúcares invertidos também são produzidos durante o processo de fabricação do etanol e do açúcar de viduo à hidrólise da sacarose. A intensidade desta hidrólise aumenta em função do aumento da temperatura e a diminuição do pH (acidez do melaço).



Não-açúcares no melaço

Nestes compostos se incluem todos os constituintes do melaço com exceção da sacarose e dos açúcares invertidos; estes podem ser classificados como orgânicos e inorgânicos. Os não-açúcares inorgânicos são quantificados pelo teor das cinzas e sua composição relativa e quantidade dependem das condições climáticas, do tipo de solo e da fertilização. O valor médio de cinzas achado no melaço ao longo do tempo é 10%.

Usos diretos do melaço

O melaço é um produto de alto valor pela ampla possibilidade de utilização que possui. Estas aplicações vão desde seu emprego na indústria fermentativa até seu uso na alimentação animal. Dada sua condição de produto viscoso, a sua manipulação é problemática; a alta viscosidade pode afetar durante a centrifugação das massas cozidas. Nas indústrias microbiológicas ou na alimentação animal esta propriedade cria problemas no esvaziamento dos tanques.

As elevadas concentrações de sólidos, especialmente as gomas, são as causas principais das altas viscosidades. (Olbrich, 1969)

A composição do melão tem diferentes níveis de interesse. Para o fabricante de alimento para gado e a alimentação direta, a composição em detalhe tem um papel secundário, mas na indústria fermentativa há especial interesse na quantidade dos açúcares fermentáveis e probióticos, assim como o conteúdo dos sólidos pela proteção que aporta durante seu armazenamento. O melão é principalmente utilizado como alimento animal e na indústria de alimentação em geral; a seguir são listados alguns dos usos diretos do melão:

Melão de Exportação

Fertilizante

Alimento Animal

Enriquecimento com Nitrogênio

Misturas de Bagaço e Melão

Melão Desidratado

Usos através da transformação bioquímica dos açúcares do melão

A Tabela 1.4.2-5 oferece uma listagem dos produtos que podem ser obtidos do melão, através de transformações microbianas dos açúcares presentes. De todos esses produtos, os de maior aplicação na indústria são a produção de etanol e de levedura de panificação. Também estão implementadas comercialmente em vários países as produções de lisina e ácido cítrico.

Tabela 1.4.2-5: Processos microbianos no uso do melão e os produtos obtidos

Microorganismo	Produto Principal
Leveduras	Etanol
Glicero	I
Saporizantes	
Proteína	na unicelular
Bactérias	Acetona-butanol-etanol
Etanol	
Ac.	Láctico
Ac.	Acético
Aminoácidos	
Fungos	Biomassa comestível
Antibióticos	
Ac.	Cítrico

Fonte: ICIDCA

Produção do etanol a partir do meloço e dos méis intermediários

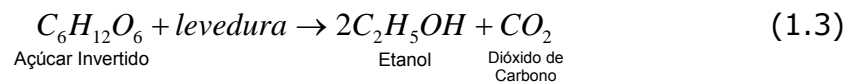
Um dos usos mais comuns do meloço é a produção de etanol. Este foi introduzido na indústria alcooleira há quase 300 anos. A fermentação alcoólica do meloço foi por muito tempo a sua única utilização prática.

A produção convencional do etanol emprega o meloço em altas concentrações de açúcar (25% do total de sacarose produzida) e é feito em condições anaeróbicas (ausência de O_2 , para induzir a fermentação alcoólica nas leveduras). Os rendimentos teóricos de álcool etílico (etanol) são, se as condições de operação forem favoráveis, de 65 litros de etanol para cada 100 kg de açúcares (OTERO M; 2001).

Conversão do meloço em etanol

O primeiro passo é o preparo do substrato, onde o meloço é diluído em água, o pH é ajustado com ácido sulfúrico, adicionando-lhe nitrogênio e fósforo em forma de sais solúveis.

A fermentação dos açúcares presentes no meloço é feita pela levedura; o processo de conversão começa com a inversão da sacarose, onde é obtida a hexose⁷ de forma direta pela ação da enzima invertase (produzida pela própria levedura durante o processo). Depois a levedura converte os açúcares invertidos em etanol, pela seguinte reação:



O etanol obtido desta reação é separado do mel fermentado através da destilação. Na Figura 1.4.2 - 1 são mostrados, de forma simples, os passos no processo de produção do etanol, a partir do meloço e do mel A e B.

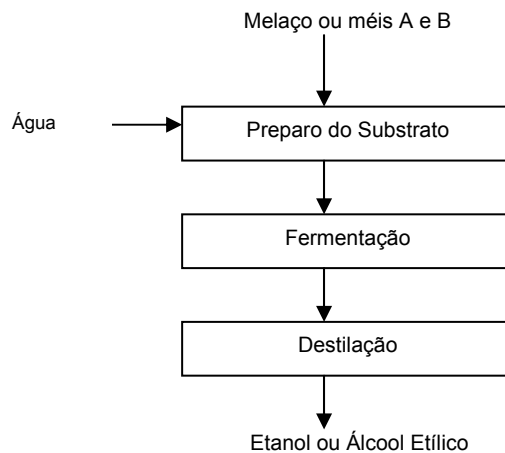


Figura 1.4.2-1: Produção do Etanol

Rendimento do etanol a partir dos méis da cana

O etanol que pode ser obtido na fermentação dos açúcares presentes nos méis da cana depende do valor teórico da conversão alcoólica dos açúcares (E_t), o teor dos açúcares fermentescíveis (A_f) e das eficiências nos processos de fermentação e destilação (ICIDCA, 1999). Também é considerado o fator para transformar o volume do etanol hidratado em etanol anidro (CTC, 1999).

Considerando tudo isto, a fórmula empregada para calcular o etanol anidro que poderia ser produzido pelos méis da cana para cada um dos países pesquisados foi a seguinte:

$$E = E_t \times A_f \times F_n \times D_n \times 0,95821 \quad (1.4)$$

onde:

E = Etanol produzido

E_t = Etanol teórico produzido

A_f = Açúcares fermentescíveis

F_n = Eficiência na fermentação

D_n = Eficiência na destilação

0,95821 é o fator de conversão para álcool anidro

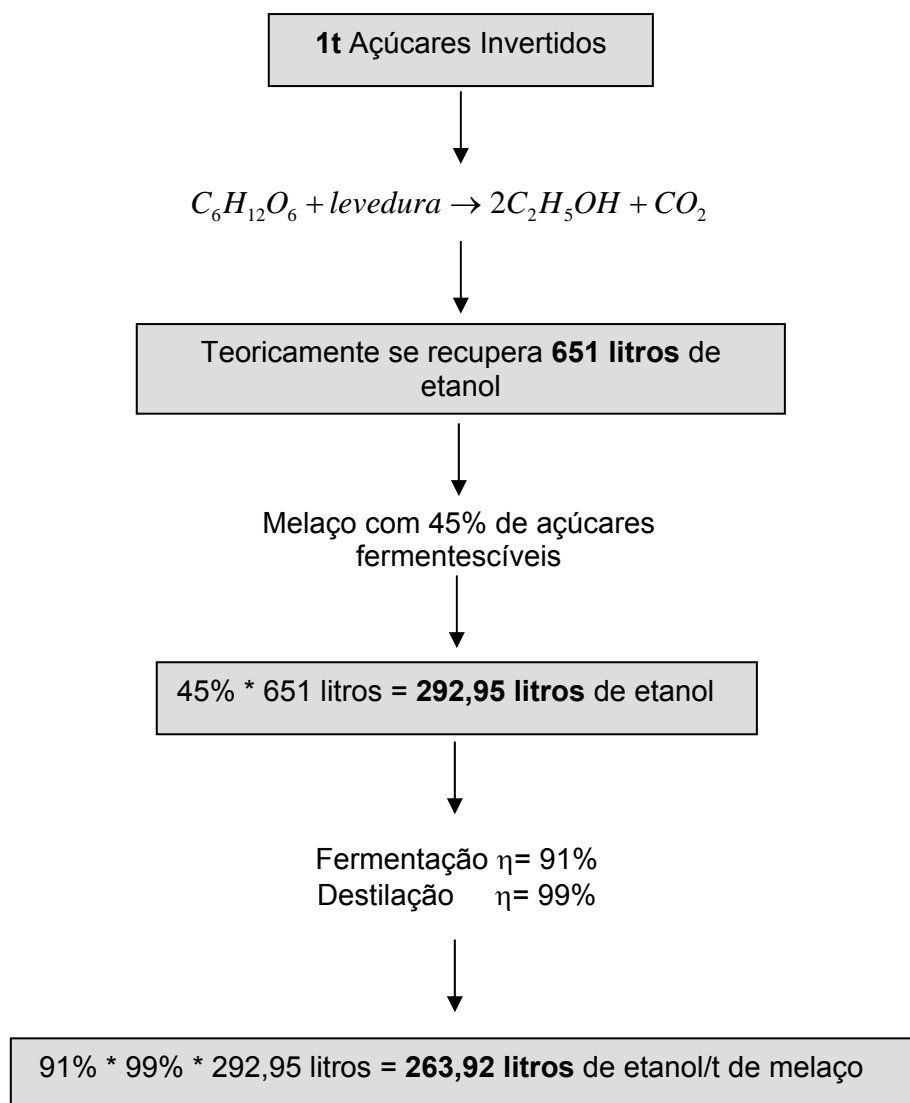
Por exemplo, assumindo o valor de 45% dos açúcares fermentescíveis no melaço (CNIAA/México)⁸, a eficiência de fermentação seja de 91% (valor em contradição no Brasil hoje) e 99% de eficiência para o processo de destilação (SRI/Austrália)⁹, a produção de etanol seria de 0,264 litros por quilograma de melaço. Este processo é esquematizado na Figura 1.4.2-2.

⁷ As fontes de hexose mais empregadas na produção de etanol são: caldo e méis da cana, amido de milho, outros grãos e tubérculos de diferentes tipos de frutas.

⁸ CNIAA: Cámara Nacional de Industrias Azucarera e Alcoholera / Ing. Manuel E. Poy (pesquisador), 2006

⁹ SRI: Sugar Research Institute Austrália /B.P. Lavarack and R. Broadfoot (researchers), 2000

Figura 1.4.2-2. Produção de Etanol a partir do Melaço da Cana-de-Açúcar



- **Mandioca**

A mandioca é uma *Euphorbiacea* (*Manihot sculenta grantz*) produzida em mais de 100 países no mundo, normalmente como uma cultura de subsistência em países em desenvolvimento; a sua popularidade advém de sua resistência a secas, adaptação a solos menos férteis, e adequação à agricultura familiar. Em 2004, a produção mundial foi de 204 milhões de toneladas, colhidas em 18,4 milhões de hectares (FAO, 2006). A produção mundial concentrou-se na África (53%), Ásia (30%) e América do Sul (16%). Os principais produtores estão mostrados na Tabela 1.4.2-6.

Tabela 1.4.2-6: Principais produtores de mandioca

País	Área (1000 ha)	Produção (1000 t)	Produtividade (kg/ha)	l/ha
Brasil	1.933	26.645	13.783	2.750
Nigéria	3.782	41.565	10.990	2.200
Indonésia	1.224	19.459	15.902	3.200
Tailândia	985	16.938	17.180	3.400

Fonte: FAO, 2006

Como pode ser visto, o Brasil ocupa hoje uma posição de destaque como o segundo produtor mundial de mandioca, atrás da Nigéria. A Tailândia so bressai-se pe la produtividade média mais alta do mundo; cerca de 80 % da produção deste país é exportada na forma de fécula ou amido e há informação de que cultivos experimentais visando a produção de etanol estão atingindo produtividade entre 30 e 36 t/ha.

Como planta, a mandioca é um arbusto de crescimento vertical atingindo alturas entre 1,50 e 2,50 m. Pela forma como se desenvolveu seu cultivo no Brasil, desde tempos imemoriais, com intenso intercâmbio de mudas sem controle nem registro, torna sua caracterização varietal muito difícil; isto também resultou em valores econômicos variados, dependendo de produtividade, teor de amido e toxidez. O caule e as folhas também possuem valor energético; mas dados consistentes não foram encontrados sobre este ponto.

A toxidez da mandioca vem do ácido cianídrico, encontrado em doses significativas em algumas variedades. A variedade de maior toxidez, a mandioca brava, é utilizada sem problemas na produção de farinha, cujo processo de preparação causa a evaporação do ácido cianídrico.

No Brasil, o cultivo da mandioca se dá principalmente em pequenas propriedades (<50ha), sendo o Nordeste a região maior produtora com 37% do total, seguida da Região Norte com 27%. Considerando a área cultivada, o Nordeste contribui com 57% e o Norte com 17% (IBGE, 2006). A produção total do Brasil, conforme a tabela 1.4.2-6, foi de 26,6 milhões de toneladas cultivadas em 1,9 milhões de hectares; esta produção é razoavelmente bem distribuída entre os estados, sendo a Bahia o maior produtor com 17%, seguido do Pará (12%), Piauí (9%), Paraná (9%) e Maranhão (7%). As produtividades variam entre regiões, tendo o IBGE registrado valores, em 1995, de 10,9 t/ha para o Nordeste e 14,4 t/ha para o Norte; a maior produtividade regional ficou com o Sudeste com 18,6 t/ha. É preciso ter em mente que a maioria das plantações de mandioca no Brasil são de baixa tecnologia, sem controle de variedades ou mudas selecionadas, tratamentos rudimentares e colheita manual; com variedades selecionadas, mudas de qualidade e tratamentos adequados, é de se esperar uma melhoria significativa de produtividade, mesmo no semi-árido nordestino. Assim, o uso de valores médios de produtividade pode ser enganoso pois eles levam em conta a produtividade de culturas de baixa tecnologia.

Existem centenas de variedades de mandioca que precisariam ser ordenadas e direcionadas para fins específicos (alimentação humana, ração animal, produção de farinha, fécula, etc.) e em solos e climas variados. Apesar da rusticidade desta planta que pode resistir às secas e tolerar solos pobres e salinizados, ela responde

bem à irrigação, à correção de solo e à adubação adequada. Serra e Campos (Serra e Campos, 1975) fizeram testes de campo com variedades de mandioca e várias alternativas de irrigação e comparou com um caso de referência sem irrigação. Mesmo sendo uma região com precipitação pluviométrica anual média da ordem de 1.200 mm, a produção de raízes frescas ficou em torno de 28 t/ha para os casos irrigados e 19,5 t para a referência sem irrigação; a produtividade da rama também foi cerca de 9 t/ha a mais para os casos irrigados. Uma análise simplificada das variedades testadas foi a seguinte (base úmida).

Umidade	e %	61,3	-	66,2
Amido	%	26,2	-	33,4
Fibra	%	0,92	-	1,83
HCN	mg/100g	20	-	28

Os pesos de raízes e ramos frescos foram aproximadamente iguais, fato este também observado em outras referências consultadas.

Outros pesquisadores (Conceição e Sampaio, 1975) realizaram testes de competição com 355 clones durante três anos e selecionaram quatro variedades para ensaios adicionais. Duas variedades do IAC, IAC-24-2 e IAC-7-127, apresentaram produtividade de 25 a 34 t/ha em 1 ciclo vegetativo e 37 a 47 t/ha em 2 ciclos; a variedade Llanera, coletada pelo IAC na Colômbia, chegou a produzir até 100 t/ha em ciclo de 11 meses.

A EMBRAPA realizou um programa de capacitação de agricultores familiares na Bahia e a produtividade média da mandioca por eles cultivada passou de 8 t/ha para 26 t/ha, atingindo picos de produtividade acima de 50t/ha (média da Bahia 13 t/ha). No seu campo experimental da Fazenda Novo Horizonte – Campo Demonstrativo de Tecnologia para o Cultivo da Mandioca, variedades eram selecionadas para resistência à pragas, tecnologia de controle de erva daninha, consorciamento com banana e manejo da biomassa. Em resumo, para que a mandioca venha se tornar uma matéria-prima para a produção comercial de etanol, é necessário um razoável esforço de desenvolvimento tecnológico, principalmente nas áreas de:

- Melhoramento genético (aumento dos teores de amido e produtividade e, resistência a doenças e pragas, resistência ao estresse hídrico, etc);
- Melhorias nas técnicas de cultivo (adubação, controle de ervas daninhas, controle fito-sanitário);
- Mecanização da colheita com recolhimento dos resíduos;
- Otimização do uso dos resíduos agrícolas;
- Adaptação e aprimoramento do processamento das raízes para produção de etanol.

• **Batata Doce**

A batata doce é uma hortaliça, sendo a quarta mais consumida no Brasil. Como tal, alguns aspectos como tamanho, forma, cor, aparência e sabor após o cozimento, são mais importantes que o teor de carboidratos fermentescíveis, produtividade e outros índices importantes para a produção de etanol. É uma cultura tipicamente tropical e sub-tropical, rústica, de fácil manutenção, com boa resistência contra a seca e a adaptação (EMBRAPA, 2007). A produtividade brasileira é baixa, média de 8,7 t/ha, devido à falta de cultivares selecionadas, tecnologias de

produção inadequadas, doenças e pragas. Ela é cultivada praticamente no mundo todo com produtividades variadas, como mostra a Tabela 1.4.2-7.

Tabela 1.4.2-7: Produção de batata doce no mundo

País	Área (1000 ha)	Produção (1000 t)	Produtividade (kg/ha)	l/ha
Brasil	48	538	11.219	1.770
Indonésia	177	1.840	10.405	1.650
Nigéria	989	3.205	3.240	510
Uganda	590	2.478	4.200	660

Fonte: FAO, 2006

Desde 1979, a EMBRAPA Hortaliças-CNPq, no Distrito Federal, vem tentando resolver estes problemas; de uma ampla coleção de cultivares, selecionou quatro com boas características agrônomicas e comerciais, indicadas para o cultivo na região do DF: Coquinho, Brazalândia Roxa, Brazalândia Branca e Brazalândia Rosada. Estas cultivares estão sendo testadas em outros lugares a partir de ramais e tubérculos fornecidos pela CNPq, que também fornece a tecnologia para implantação e cultivo de viveiros de mudas.

As características principais destas cultivares são (EMBRAPA, 2007):

- Brazalândia Branca: ciclo médio, muito produtiva, podendo ser colhida após 120 a 150 dias; no ciclo de 5 meses produziu 37 t/ha no CNPq.
- Brazalândia Rosada: ciclo médio, colheita de 120 a 150 dias após plantio, pode ser plantada o ano todo e com produtividade de 33 t/ha no CNPq em ciclo de 5 meses; média de 39,75% de matéria seca onde 81,8% são amidos e açúcares sendo, portanto, adequada para a produção de etanol;
- Brazalândia Roxa: é uma cultivar tardia, colhida após 150 dias, resistente a pragas de solo, com produtividade de 25 t/ha em ciclo de 5 meses no CNPq, com irrigação;
- Coquinho: originária da Paraíba, é uma cultivar precoce com produtividade de 28 t/ha em ciclo de 4 meses.

Pimentel (2003) relata um experimento da companhia baiana View Biotecnologia e Consultoria que pesquisou 102 variedades de batata doce selecionando três delas, com altos teores de amido e açúcares, para mais testes de campo, visando a produção de etanol. Nas condições do teste a produção de etanol foi de 158 l/t de batata doce; representantes das empresas estimaram que em condições de plantio comercial este número cairia para a faixa de 130-140 l/t e que seria possível realizar-se até quatro colheitas por ano. Esta última afirmação não está coerente com os ciclos de 120 a 150 dias sugeridos pela EMBRAPA.

Uma pesquisa na Internet permitiu levantar alguns dados esparsos sobre produtividade e composição da batata doce (ver Tabela 1.4.2-8).

Tabela 1.4.2-8: Composição da batata doce

Componente	Teor (% m/m)
Carboidratos 28,6	
Massa seca total	34,63
Umidade 65,3	7
Fibras	3,23

Com estes dados e uma produtividade de 25 t/ha é possível se estimar uma produção de etanol em torno de 3.700 l/ha.ano, que é um valor razoável frente a outras alternativas.

A fécula da batata doce em questão (Tabela 1.4.2-8) apresentou um grau de gelatinização de 72,64%, umidade de 7,88%, 82,50% de amido, 9,33% de fibras dietéticas totais, 4,9% de proteína, 1,1% de lipídios e 2,08% de cinzas. Assim como a mandioca, a batata doce vai precisar de muita pesquisa e desenvolvimento antes de se tornar uma opção real de matéria prima para a produção de etanol.

- **Sorgo sacarino**

Esta gramínea tem recebido muita atenção no mundo todo como uma matéria-prima de grande potencial para a produção de etanol, freqüentemente comparada à cana-de-açúcar. As vantagens apontadas são, principalmente, a alta resistência a secas, adaptabilidade a solos menos férteis (alcalinizados e salinizados), ciclo produtivo não definido (permite plantios em várias épocas do ano, podendo proporcionar duas safras ou se consorciar com outras culturas) e ser mais tolerante a variações de temperatura, desde que não ocorra congelamento. No lado das desvantagens, foram observados os seguintes pontos: deterioração rápida após a colheita, dificuldade de transporte, maior dificuldade de cristalização do açúcar, baixa pureza do caldo e teor de açúcares menor que a cana.

Pela menor exigência de qualidade de solo e clima, o sorgo tem sido avaliado recentemente para produção de etanol em algumas regiões da África, China, Índia e mesmo na Europa (Itália, Grécia e Romênia). Um grande projeto foi montado pela ETA Florence da Itália (ETA Florence, 2002), com recursos da Comissão Europeia, para avaliar a viabilidade técnico-econômica de se produzir etanol a partir do sorgo sacarino em grandes complexos agro-industriais; três localidades foram pré-selecionadas: uma no sul da Itália (Região Basilicata) e duas na China (regiões de Dongying, Província de Shandong, e Huhhot, Província da Mongólia Interior), sendo todas elas de climas mais frios, baixa precipitação pluviométrica e com possibilidade de irrigação.

As práticas agrícolas foram estabelecidas para os testes de campo, que de um modo geral são independentes do clima local.

- Plantio: por sementes, logo após a colheita anterior; permite uma soqueira e recomenda a consorciação com trigo, ou outro cereal, em ciclo de dois anos.

- Existem fornecedores Europeus, Chineses e Americanos de sementes selecionadas a um preço que varia de US\$6 -10/kg;
- Densidade: linhas com espaçamento de 70 cm e densidade máxima de 10 plantas/ m² para evitar o tombamento das plantas;
 - Variedades: foram selecionadas várias cultivares de boa produtividade, dos tipos precoce, normal e tardia;
 - Fertilizantes: apesar de não ser exigente quanto à fertilidade do solo, o sorgo sacarino responde bem à adubação, sendo recomendado de 90 a 120 kg N/ha;
 - Herbicidas: usar de preferência antes da emergência e selecionar bem os tipos se for aplicar após a brotação;
 - Fitossanidade: é importante tratar as sementes antes do plantio e se utilizar variedades resistentes às pragas e doenças.
 - Safra: o período de safra é selecionado entre um compromisso com a máxima produtividade e a duração da colheita (2 a 4 meses); com um planejamento adequado até duas colheitas por ano são possíveis de se obter;
 - Demanda de energia: é fortemente dependente do local e da quantidade de água de irrigação; no projeto da Itália a estimativa foi de 21 MJ/ha enquanto que no projeto de Huhhut (China) o valor estimado ficou em 0,38 MJ/ha, refletindo o menor nível de mecanização e não uso de irrigação.

Os complexos energéticos estudados consideraram 7.000 ha na Itália, 19.000 ha em Dongying e 20.000 ha em Huhhut. As produtividades em etanol foram estimadas em 6.000 l/ha.ano para a Itália e Dongying e 5.000 l/ha.ano para Huhhut, utilizando-se tanto os colmos como os grãos como matérias-primas. A colheita é mecanizada com a separação dos grãos, palha e colmos (picados) na operação da colhedora.

Os custos de produção foram estimados em cerca de US\$ 250/m³, levando-se em conta a venda de excedentes de energia elétrica e bagaço peletizado.

O balanço energético deu resultados estimados entre 0,52 kWh/l etanol (Itália) e 0,39 kWh/l etanol (Dongying).

A empresa indiana Praj Industries Ltd (Praj, 2005) selecionou 14 variedades para um período de três anos de testes (2001-2003) no oeste da Índia. No processo, também desenvolveu as práticas agrícolas, incluída irrigação controlada e medida; foram analisadas amostras periodicamente para medição do teor de açúcares, fibra, biomassa das folhas, pureza do caldo. Em termos do nível de adubação ficou em torno de 150 N-100 P-100 K kg/ha e a irrigação foi da ordem de 175 m³/ha.ano.

Os principais resultados foram: açúcares fermentescíveis totais (AFT) entre 10,5% e 11%, 42 a 50 t/ha.ciclo, ciclo de 105 a 115 dias. Foram avaliadas as principais doenças e pragas e sugeridas medidas fitossanitárias adequadas.

Sachs (SACHS, 1980) há várias décadas atrás analisou alternativas de matéria-prima para produção de etanol na Califórnia; para o sorgo sacarino ele baseou-se em experimentos no Texas e Luisiana onde cerca de 4.700 l etanol/ha foram obtidos, em ciclos de cultivo de 110 a 130 dias, mostrando-se, neste aspecto, uma opção melhor que o milho. Além do etanol, 13 toneladas de fibra (base seca) foram obtidas por hectare.

No Brasil, o sorgo sacarino foi bastante estudado desde o início do Proálcool. Ainda na década de 70 o INT (Araújo et alii, 1977) avaliou detalhadamente o sorgo sacarino para a produção de etanol. Três variedades foram fornecidas pelo Centro

Nacional de Pesquisa do Milho e do Sorgo, da EMBRAPA, localizado em Sete Lagoas-MG, com dois ciclos de maturação diferentes: 90 e 105 dias. Tanto o colmo como os grãos foram analisados visando a produção de etanol, sendo conduzidos testes de sacarificação, fermentação e caracterização da vinhaça. Os resultados são mostrados nesta referência. Vale notar que o Brix dos caldos ficou entre 14,67% e 17,87%, na média das variedades, bem semelhante aos valores obtidos para a cana. Os testes de fermentação ocorreram sem problemas e mostrando boa eficiência nas condições de laboratório.

Um outro estudo do sorgo sacarino foi realizado pela ESALQ (Tokeshi, 1982) numa tentativa de consorciar o cultivo do sorgo sacarino com a cana-de-açúcar, visando estender a operação da usina para o ano todo. O sorgo seria plantado na área de renovação do canavial e foram apontadas várias características necessárias para que o sorgo fosse adequado a esta prática, valendo destacar entre elas: ter ciclo curto, ser estéril (não produtor de sementes no campo), bom teor de açúcares no período, ter resistência às principais doenças e pragas da cana e do sorgo. Em uma análise das variedades de sorgo sacarino disponibilizadas pelo CNPMS da EMBRAPA, o autor identifica uma série de problemas que dificultariam o consórcio de cana e sorgo com o pretendido, principalmente devido às interações negativas entre as duas culturas do ponto de vista de controle de pragas e doenças. Foi alerta também para os problemas decorrentes da compactação do solo pela colheita do sorgo nos meses de janeiro a março, quando as chuvas são mais intensas no Centro-Sul.

De um modo geral, pode-se dizer que ainda falta experiência comercial do uso do sorgo sacarino como matéria-prima para a produção de etanol, tanto na área agrícola como na destilaria, que poderia dar confiança aos produtores de etanol em tentar esta alternativa.

- **Tupinambur**

O tupinambur (*Helianthus tuberosus L.*), conhecido nos países desenvolvidos como Jerusalem Artichoke, é uma planta da família da chicória com tubérculos que são fontes de inulina, oligosacarídeos e frutose. A hidrólise enzimática da inulina produz frutooligosacarídeos (FOS) de baixo peso molecular, com grau de polimerização de 1 a 10, além de frutose e glicose. Tem uma enorme gama de aplicações na indústria de alimentos e pode ser utilizado como substrato para a fermentação de etanol.

É uma cultura de países tropicais, bastante cultivada na Europa, Canadá, EUA e América Latina (Brasil e Peru). Atinge a maturidade em torno de 130 dias, com a parte aérea chegando a 1,50-2,10 m; parece ser resistente às doenças e pragas e suporta bem a seca.

Os aspectos agronômicos do cultivo de tupinambur foram extensivamente estudados por Paula e Carioca (Paula e Carioca, 2000), motivados por trabalhos realizados no Canadá, Espanha, França e Alemanha visando a obtenção de inulina e frutose.

Na França foram testadas 37 variedades que apresentaram um teor de carboidratos na faixa de 55% a 75% da massa seca. Na Alemanha, os ensaios de campo mostraram valores de matéria seca da ordem de 11,5 a 14,0 t/ha.

No Brasil, 27 variedades de tucumã foram testadas no NE por Paula e Carioca(2000), com resultados agrônômicos muito animadores. A produtividade de matéria seca variou de 4,6 a 19,7 t/ha, sendo a inulina entre 70% e 85% da massa seca. As duas variedades mais produtivas, a MFW e Columbia, produziram entre 19 e 20 t/ha de matéria seca, estas mesmas variedades também produziram acima de 6 t/ha de biomassa verde (parte aérea) e mais de 1 t/ha de proteína. Considerando que duas ou três colheitas são possíveis em um ano, estes valores ficam muito significativos quando se pensa na produção de etanol.

A fermentação pode ser realizada com a inulina diretamente, utilizando-se microrganismos como a *Kluyveromyces fragilis*, ou após hidrólise da inulina para a frutose e glicose, podendo aí se utilizar a *Saccharomyces cerevisiae*.

No estudo de Sachs (Sachs, 1980), o tucumã irrigado na Califórnia produziu 30 t/ha, em média, em ciclo de 110 dias, e observou que a polpa pode chegar a conter até 15% de proteínas, o que lhe confere um alto valor nutritivo.

- **Beterraba açucareira**

A beterraba açucareira é cultivada principalmente em países de clima temperado para produção de açúcar, correspondendo a quase um quarto da produção mundial deste produto. Ela é pouco produzida fora da Europa e EUA, porém, existem algumas exceções, conforme mostra a Tabela 1.4.2-9.

Tabela 1.4.2-9: Produção de beterraba açucareira no mundo

País	Área (1000 ha)	Produção (1000 t)	Produtividade (t/ha)	l/ha
França	380	31.242	82.322	7.700
Alemanha	420	25.284	60.187	5.600
EUA	501	25.087	50.037	4.700
Turquia	336	13.800	41.071	3.800
Irã	180	4.900	27.222	2.500
Marrocos	59	4.560	77.288	7.200

Não está mostrado na tabela acima, mas vale a pena salientar que a produtividade da beterraba no Chile foi de 92 t/ha neste mesmo ano(2005).

É fácil concluir que a beterraba, em termos de produtividade em litros de etanol por unidade de área, é uma boa opção para vários países. De fato, com a mudança no regime europeu do açúcar, uma boa parte da beterraba que não vai ser mais usada na produção de açúcar está sendo direcionada para a produção de etanol, dividindo com o trigo a preferência para este uso.

Em 1979-1980 foram testadas 12 variedades de beterraba açucareira na Universidade de Passo Fundo, RS (FILGUEIRAS, 1981). No primeiro teste a semeadura se deu em 14/07/79 e a colheita em 06/12/79 a apresentou uma produtividade variando de 5 t/ha a 28,3 t/ha, entre as variedades (755 a 2.873 kg açúcar/ha); no segundo experimento a semeadura foi em 28/07/79 e a colheita em 04/01/80, com a produtividade variando de 7,9 a 36,5t/ha e a produção de açúcar de 1.033 a 4.526 kg/ha. Apenas com as variedades mais produtivas, haveria justificativa para se continuar os testes.

Recentemente a Syngenta Seeds (Chatin et alli, 2004) concluiu um projeto de sete anos para desenvolver variedades de beterraba açucareira adaptada a climas mais quentes, com a finalidade de competir com a cana-de-açúcar em países tropicais. As vantagens apontadas seriam: ciclo de cultivo de 6 meses, adaptabilidade a solos alcalinos e salinizados e menor exigência de irrigação; a Syngenta afirma que produtividades entre 60 e 80 t/ha com teor de sacarose de 14% a 19% são obtidos com uma irrigação de apenas 10.000 m³/ha. Uma usina de açúcar usando esta matéria prima esta programada para entrar em operação em 2004 na Índia e outra em 2005 na Colômbia. Ainda a mesma referência avalia que cerca da metade da instalação industrial é a mesma tanto no caso de cana como de beterraba; apenas a parte frontal do processo precisa ser modificada: lavagem dos tubérculos, fatiamento, difusão, secagem e peletização da polpa.

Mais informações sobre o uso comercial desta matéria-prima para produção de açúcar e etanol são necessárias, antes que se possa formar uma opinião quanto a seu uso no Brasil. Todavia, o potencial de produtividade é um ponto que desperta interesse por ela. Alternativa a ser investigada é o possível consórcio da beterraba com a cana, para estender a safra; existem quatro usinas no Paquistão e uma no Egito operando com as duas matérias-primas.

1.4.3 Comentários finais

São muitas e variadas as opções de matérias-primas para a produção de etanol, mas poucas atingiram proporções significativas na área comercial. Estima-se que em torno de 90% da produção mundial de etanol seja a partir de cana-de-açúcar ou milho. Porém, com o aumento da produção mundial e a entrada de novos países na produção, outras matérias-primas começam a entrar em cena: beterraba, trigo, mandioca.

É interessante observar que os países produtores, até hoje, sempre buscaram uma alternativa entre as culturas amplamente dominadas por eles, como foi o caso do Brasil com a cana, os EUA e China com o milho, a Europa com o trigo e a beterraba, Colômbia com a cana e assim por diante. Isto é explicável pela disponibilidade imediata para se iniciar a produção de etanol, avanço tecnológico da cultura em questão (menor custo e risco) e aspectos culturais de se trabalhar com um produto agrícola que já se conhece. Desta forma, várias opções de matérias-primas promissoras, como é o caso da mandioca, sorgo sacarino e tupinambur. A

falta de interesse leva à falta de investimentos em desenvolvimento destas culturas, que por sua vez ficam fora da cadeia produtiva do etanol, e o ciclo vicioso se perpetua. A Tabela 1.4.3-1 abaixo mostra alguns destes pontos.

Tabela 1.4.3-1: Matérias primas para produção de etanol

Matéria prima	Produção Brasileira (Mt)		Produtividade (t/ha/ano)		Rendimento em etanol(l/ha/ano)	
	1980	2005	1980	2005	1980	2005
Cana-de-açúcar	120	410	45	72	3.015	6.000
Mandioca	26	27	12	13,8	2.160	2.750
Sorgo sacarino	-	-	35	50(1)	1.925	6.000(2)
Batata doce	1,6	0,54	10	11,2	1.250	1.770
Milho	16	34,9	1,5	3,0	580	1.200

Fonte: Menezes, 1980; (1) Praj, 2005; (2) ETA Florence, 2002

Pode ser visto que as culturas que mais evoluíram em termos de produção, a cana e o milho, tiveram ganhos significativos ao longo dos 25 anos, ao passo que a mandioca e a batata-doce ficaram estacionadas em termos de produção e produtividade. A mandioca parece merecer mais atenção pela importância da cultura no país e o potencial de melhoria da produtividade se forem dedicados mais esforços no melhoramento genético e modernização das práticas agrícolas; a batata-doce parece ter potencial, mas seus altos custos de produção a deixam em segundo plano. O sorgo sacarino e o tucupinambur merecem mais atenção, mas teriam ainda um longo caminho a trilhar até merecer a confiança dos agricultores e investidores; estes dois e a mandioca podem vir a ser importantes opções para áreas não aptas para cana-de-açúcar, mas tem outras características positivas para a produção de biocombustíveis, quer seja pela situação geográfica privilegiada para exportação como por razões sociais.

2. QUANTIFICAÇÃO DOS IMPACTOS DAS NOVAS TECNOLOGIAS DE PRODUÇÃO DE ETANOL E DE MATÉRIAS-PRIMAS ALTERNATIVAS E/OU COMPLEMENTARES

Este capítulo apresenta os impactos das novas tecnologias de produção de etanol a partir da cana-de-açúcar e o potencial das matérias-primas alternativas (ou complementares) no aumento da produção de etanol. As novas tecnologias são apresentadas de acordo com o processo produtivo e considerando as etapas realizadas tanto na área agrícola como na área industrial. Procurou-se oferecer uma visão geral do processo no estágio atual e, para cada etapa, quais as inovações que possam ser feitas para aumentar a produtividade. Ênfase foi dada aos processos que mais contribuem para esse aumento: a hidrólise, a recuperação da palha e, de forma complementar, a gaseificação. Consideraram-se, também, as alternativas para tratamento do vinhoto. Como forma de visualizar o processo com as novas tecnologias, a seqüência de operações é apresentada através de uma usina modelo, com seus impactos na produção de etanol. Para complementar este estudo, foi realizada uma primeira análise do setor de bens de capital para avaliar se o mesmo tem condições de atender a demanda proposta. Uma avaliação dos resíduos agroindustriais existentes no Brasil buscou identificar o potencial do mesmo para produção de etanol e de energia, com o alternativa ou complemento à cana-de-açúcar. O tema abordou as partes mais relevantes, desenvolvidas em função das competências disponíveis. Com isso, o tema não se esgota. Pela própria multidisciplinaridade do setor, há espaço para análise de outras tendências tecnológicas. Tais estudos devem contemplar os núcleos de ciência e tecnologia relevantes ao setor sucroalcooleiro.

2.1 Identificação das barreiras tecnológicas, inclusive das deficiências do setor de bens de capital

As principais tecnologias com potencial de contribuição para a produtividade e sustentabilidade da cana-de-açúcar estão associadas com o melhoramento genético, a tecnologia da informação, as técnicas de plantio, os tratamentos culturais e a colheita. Estas tecnologias são apresentadas neste relatório juntamente com seu potencial de contribuição para o melhoramento dos índices técnicos agrícolas e uma previsão de seus cronogramas de inserção no sistema produtor.

Diante da crescente necessidade de maximizar a produtividade, o melhoramento genético, reconhecido historicamente como imprescindível para a sustentabilidade da cana-de-açúcar, fortalece seu potencial de contribuição ao agronegócio canavieiro com o auxílio da transgenia. Cabe destacar que a seleção das novas variedades não está a priori aumentando o aumento da eficiência fotossintética para produção de biomassa, e sim realizado em função do potencial de adaptação dessas variedades às condições edafoclimáticas das novas regiões de expansão da cana-de-açúcar. Almeja-se com isso atingir mais rapidamente os níveis de produtividade das regiões mais produtivas.

De maneira geral, a produtividade agrícola da cana-de-açúcar apresenta uma acentuada variabilidade ao longo dos canaviais, que ocorre em função de diversos fatores, como é o caso das características da variedade plantada, da composição e quantidade do adubo aplicado, das propriedades físico-químicas do solo, do manejo

das pragas e plantas invasoras, da disponibilidade hídrica e das técnicas de plantio, tratamentos culturais e colheita adequada. A complexidade dos fenômenos biológicos e físicos que participam da interação entre a planta, o solo e o ambiente fazem com que o gerenciamento dos referidos fatores exija recursos para a captação e análise de uma elevada quantidade de dados. Deste modo, com a utilização da tecnologia da informação, auxiliada pela agricultura de precisão na geração dos bancos de dados, será possível extrapolar às extensas áreas de expansão da cana-de-açúcar o "know how" de experientes profissionais do setor sucroalcooleiro, que ao longo de anos de observação e análise conseguiram obter excelentes resultados.

Aliado a este panorama, o plantio direto encontra-se entre as tecnologias, já testadas em outras culturas, com excelente potencial de contribuição para a redução dos custos de produção, aumento da produtividade e da sustentabilidade da cultura canavieira. Entretanto, a implantação deste sistema de plantio está em confronto com o conjunto de técnicas agrícolas praticadas atualmente, baseadas em tratamentos de bitola estreita e grande e piso teio nas operações de colheita e transporte interno da produção. O conjunto de técnicas agrícolas baseado em um sistema de controle de tráfego, a ser abordado neste relatório, viabilizará o sistema de plantio direto com as vantagens a ele inerentes, juntamente com vantagens próprias em termos de redução de investimentos e custos operacionais.

As barreiras tecnológicas e os correspondentes recursos disponíveis para o aprimoramento da produção agrícola estão sintetizados na Tabela 2.1-1.

Tabela 2.1-1: Barreiras e recursos tecnológicos para o aprimoramento da produção da cana-de-açúcar

Barreira	Recurso tecnológico
Variedades de cana-de-açúcar	Melhoramento transgênico
Água no solo	PD
Adubação	AP + BDA + TI + PD
Condição física do solo	PD + ETC
Manejo de pragas	AP + BDA + TI

PD: Plantio direto;
 AP: Agricultura de precisão;
 BDA: Banco de dados agrônomo;
 TI: Tecnologia da informação;
 ETC: Estrutura de tráfego controlado.

2.1.1 Colheita

O sistema australiano de colheita de cana picada, atualmente em fase de implantação no Brasil, apresenta sérias restrições para ser considerado como a tecnologia do futuro no horizonte atual de grande expansão do setor canavieiro. As duas restrições principais desse sistema de colheita são suas incompatibilidades com o plantio direto e sua incapacidade de colher eficientemente a palha, com qualidade e custos atrativos para sua integração ao processo de produção de álcool. Uma terceira restrição importante está associada à incapacidade das colhedoras de uma linha operar em terrenos com inclinação superior a 12%. Aceita-se, atualmente, que a expansão da cana-de-açúcar de va acontecer em áreas planas.

Este conceito, já bastante consolidado, foi imposto pelos equipamentos de colheita. Fatores positivos como solo fértil, curta distância à indústria, proximidade de rodovias asfaltadas e a presença de fornecedores naturalmente adaptados à produção da cana, deixam frequentemente de ser aproveitados em função do fator declividade do terreno. A engenharia de veículos fora de estrada dispõe, atualmente, de recursos como tração e direção em quatro rodas, adequados para garantir, com custos competitivos, a mobilidade das colhedoras em áreas com inclinações muito superiores ao limite de 12% aceito.

A colheita de cana picada apresenta outras limitações que justificam sua reformulação, tais como: perdas elevadas de matéria-prima, baixa qualidade da matéria-prima (palha e terra), elevado investimento, baixa estabilidade direcional e ao tombamento, danos às soqueiras e danos ao solo.

O sistema de cana picada, mesmo sendo uma tecnologia ainda muito "jovem", tende a se consolidar como o processo padrão para a colheita da cana-de-açúcar no mundo. Atualmente, pode-se relacionar várias vantagens desse sistema de colheita, tais como: permitir a colheita da cana crua, e dessa forma, viabilizar a produção perante a legislação ambiental vigente; apresentar custos de colheita competitivos e ser a única opção disponível no mercado com oferta de peças e serviços suficientes para viabilizar as operações. Mesmo assim, olhando para o futuro promissor da agroindústria cana vieira, cabe uma análise mais crítica da colheita que promova caminhos tecnológicos alternativos.

A colheita da cana envolve cinco operações muito simples, que são o corte dos colmos na base e no ponteiro, a alimentação dos colmos para o interior da colhedora, a retirada das folhas e a picagem (opcional). No entanto, ainda hoje existe uma carência preocupante de processos para efetuar essas operações eficientemente. O corte de base, se realizado manualmente, envolve problemas ergonômicos que afastam a mão-de-obra dos canaviais e continua a gerar tensões entre produtores e as gremiações de cortadores. O corte de base mecanizado está associado a perdas importantes e contaminação da matéria-prima com terra, além de demandar potência em níveis 30 a 40 vezes superiores aos necessários para o corte dos colmos propriamente ditos. O corte dos ponteiros frequentemente não é realizado; no caso da colheita mecânica por deficiência dos mecanismos responsáveis por essa função, e no corte manual porque prejudica a produtividade do cortador.

O despalhamento foi historicamente resolvido através da queima, mas na medida em que a legislação impede essa prática, verifica-se um aumento dos custos pelo baixo rendimento no corte manual e pela baixa eficiência e altas perdas no corte mecânico. Deve-se considerar que, dependendo das condições do canavial e das opções feitas para operar as colhedoras, com relação ao nível de impurezas, qualidade do corte de base e velocidade de deslocamento, a soma das perdas visíveis e invisíveis estará, na maioria dos casos, na faixa de 5% a 10%. Considerando os custos já incorridos na produção da cana até o momento da colheita assim como o impacto dessas perdas na demanda de áreas para plantio, pode-se considerar como inaceitável esse nível de perdas.

O tráfego intenso dos equipamentos de colheita e transporte nas entrelinhas de plantio representa, também, uma restrição importante deste sistema de colheita. Já de longa data os especialistas em solos orientam no sentido de conservar a estrutura do solo para conseguir manter níveis de produtividade elevados. A

colheita mecânica praticada atualmente não está alinhada com essa recomendação. Produzir com um mínimo de interação com o meio é o grande desafio da sustentabilidade.

Embora a condição de pisoteio intenso, praticado atualmente na colheita mecânica, não possa ser eliminada em curto prazo, é necessário ponderar sistemas alternativos, envolvendo, por exemplo, técnicas de controle de tráfego, cujo desenvolvimento e implantação não dependem dos resultados da pesquisa de fronteira e que estão ao alcance dos recursos da engenharia e da capacidade de investimento do setor canavieiro.

Um primeiro passo de evolução tecnológica pode-se antecipar para o cenário de 2015, que contempla o desenvolvimento das colhedoras-2L com corte simultâneo de duas linhas, de forma a reduzir o pisoteio a 50% do valor atual e elevar a restrição topográfica de 12% para 22%, aproximadamente.

Um segundo passo de evolução de tecnologia pode-se antecipar para o cenário de 2025, que contempla a introdução das estruturas de tráfego controlado (ETC's) com bitola extra larga, de 20 a 30 m, com restrição topográfica da ordem de 40% e que viabilizam a introdução da técnica de plantio direto.

A Tabela 2.1.1-1 apresenta uma relação dos principais equipamentos agrícolas utilizados atualmente no processo de produção da cana-de-açúcar. A tabela apresenta o perfil da tecnologia atual e uma previsão de como deve se modificar em um horizonte de 10 anos, com mudanças mais radicais para um horizonte de 20 anos. O modelo de mecanização atual envolve um esquema de preparo do solo convencional que utiliza operações pesadas de subsolagem, gradagens médias e pesadas ou aração.

Tabela 2.1.1-1: Relação dos principais equipamentos utilizados na produção da cana-de-açúcar no cenário atual e previsão de sua inserção para 2015 e 2025

Atividade	2007	2015	2025
Preparo do solo	- Calagem - Subsolagem - Gradagem - Adubação	- Subsolagem	- Nulo
Plantio	- Sulcação, adubação e cobertura mecânica - Distribuição manual de mudas	- Plantio mecanizado 2L	- ETC com módulo de plantio direto 4L
Tratos Culturais	- Cultivo triplice operação 2L	- Cultivo triplice operação 3L - Pulverizador autopropelido 24 m	- ETC com módulo de cultivo 4L
Colheita	- Manual (70%) - Mecânica picada 1L	- Mecânica picada 2L	- ETC com módulo de colheita 2L
Transporte	- Treminhão	- Rodotrem	- Rodotrem

L: Linhas de plantio, trato cultural ou colheita sendo processada em cada passada do equipamento.

2.1.2 Tecnologias de tratamento de vinhoto

Um novo modelo de destilaria para ampliar a produção de etanol e estender a mesma a outras regiões do Brasil requer uma reavaliação dos procedimentos de tratamento e aplicação de vinhoto. Esta reavaliação envolve ambas as áreas, agrícola e industrial, e leva em consideração fatores tais como:

- Custo da fertirrigação;
- Impacto negativo de alguns componentes do vinhoto no solo;
- Reivindicações crescentes das agências de controle ambiental.

É importante destacar que no novo cenário da expansão da produção de etanol que estuda este projeto, não se terão mais disponíveis para fertirrigação do vinhoto as áreas de plantio de cana para produção de açúcar. Como exemplo, tem-se que uma usina com destilaria anexa utiliza 50% das áreas de cultivo para produção de açúcar e os restantes para etanol, empregando cerca de 30% da área total para fertirrigação do vinhoto. No novo cenário a área dedicada à produção de etanol será 100% obrigando a duplicar a área de aplicação de vinhoto.

Um dos impactos negativos que vem levantando maior atenção é o relacionado aos efeitos do anion sulfato no solo. A presença de sulfato em destilarias de álcool de cana-de-açúcar é resultante do emprego de ácido sulfúrico na fermentação. Uma consulta ao Programa de Controle Mútuo do Centro de Tecnologia Canavieira (CTC) indica uma média de 7,81 kg de ácido sulfúrico (98%) por m³ de etanol produzido, em usinas de açúcar com destilaria anexa e aproximadamente 60% da cana desviada para a fabricação de açúcar. Para o caso de uma destilaria autônoma este valor deverá estar mais próximo dos 5 kg de ácido sulfúrico (98%) por m³ de etanol, valor este que ainda sinaliza que dosagens comparativamente elevadas de sulfato estão sendo aplicadas no solo.

O ácido sulfúrico é adicionado na produção de etanol, no processo de fermentação, sendo empregado no processo de batelada alimentada com reciclo de fermento, assim como na fermentação contínua com reciclo de fermento. Este ácido é dosado no estágio de reativação do fermento, no preparo do pé de cuba, para desagregar e manter o fermento dispersado e para abaixar o pH do pé de cuba e do vinho e reduzir a atividade biológica de bactérias contaminantes.

Não existe no curto prazo uma alternativa para a eliminação ou substituição deste ácido por outro. Uma melhor condução da fermentação poderá reduzir o consumo abaixo de 5 kg por m³ de etanol atuais, porém, o teor de sulfato no vinhoto continuará sendo elevado. Este teor de sulfato além de provocar um efeito negativo no solo dificulta (podendo chegar a inviabilizar) os processos de concentração térmica do vinhoto devido à rápida formação de incrustações nos evaporadores. O vinhoto concentrado a elevado teor de sólidos solúveis (acima de 55%) apresenta-se instável com tendência à cristalização espontânea dos sais de cálcio e do sulfato de potássio, incrustando superfícies de aquecimento, depósitos, tubulações e sistemas de aplicação.

Tecnologias de remoção do sulfato do vinhoto: remoção biológica do sulfato

A remoção do sulfato presente na vinhaça é uma alternativa que deve ser considerada. Diversos estudos propõem processos de dessulfurização biológica que poderiam ser aplicados ao vinhoto. Estes processos se fundamentam no emprego de microrganismos redutores do sulfato, empregando linhagens específicas e operando em biorreatores anaeróbicos na faixa termofílica (55-70°C) ou termofílica extrema (70-80°C). Estes microrganismos são bactérias tais como o *Desulfobacter halotolerans* capaz de reduzir o sulfato a gás sulfídrico em metabolismo anaeróbio termofílico ou termofílico extremo e o *Thiobacillus denitrificans* capaz de oxidar o gás sulfídrico a enxofre elementar extracelular.

Estão disponíveis estudos que demonstram a viabilidade técnica destes processos (LETINGA, VALLERO E FORESTI, VAN GROENESTIJN) para tratamento de efluentes com elevada concentração de sulfatos.

Os estudos relacionados à biodigestão de vinhoto resultante da produção de etanol foram realizados na década dos 80, atingindo o nível de unidades de demonstração comercial. Fundamentalmente estes estudos objetivavam a produção de biogás e o aumento da eficiência energética da destilaria. Citamos por exemplo a tecnologia Metax da Codistil (Grupo Dedini), os estudos realizados pelo CTC e os realizados na Usina São Martinho.

Todos eles foram baseados na tecnologia de reatores UASB (biodigestor de fluxo ascendente com leito de lodo biológico) na faixa mesofílica e apresentaram como dificuldade a inibição pelo gás sulfídrico resultante da elevada presença de sulfato no vinhoto. Ainda apresentaram baixas taxas de conversão da matéria orgânica. As unidades foram desativadas pela falta de atratividade do investimento, quando a tecnologia de tratamento aeróbico nas faixas termofílica e termofílica extrema ainda não estava desenvolvida.

A retomada do desenvolvimento da biodigestão, agora com esta nova tecnologia e não apenas objetivando a produção de energia, e sim visando atender às necessidades de remoção do sulfato da vinhaça, redução da carga de matéria orgânica e da elevação do pH deste efluente, deverão ser estudadas como uma alternativa para redução dos impactos negativos do vinhoto.

Estão disponíveis estudos relacionados à biodigestão termofílica, visando redução da matéria orgânica em presença de concentração elevada de sulfato. Van GROENESTIJN desenvolveu um processo anaeróbio termofílico através do qual *Thiobacillus denitrificans*, um anaeróbio facultativo, oxida o gás sulfídrico a enxofre metálico. Este procedimento permitiria remover o sulfato originalmente contido no vinhoto, recuperando o mesmo como enxofre metálico e reciclando o mesmo à produção de ácido sulfúrico (sulfito no caso específico de usinas com destilaria anexa).

A aplicação destes processos na remoção do enxofre do vinhoto deverá ser avaliada como uma possível alternativa para redução do teor de sulfato no vinho to e recuperação e reciclagem do enxofre, redução matéria orgânica no vinhoto, neutralização do pH do mesmo e integração com os processos de redução do volume de vinhoto através de concentração térmica (eventualmente outros).

Ainda e não menos importante, a retomada do estudo de processos de biodigestão deve ser considerada levando em conta a oferta de energia adicional decorrente do biogás gerado.

Tecnologias de remoção do sulfato do vinhoto: concentração de vinhoto e cristalização do sulfato de potássio

A concentração térmica do vinhoto apresenta-se como uma das tecnologias comercialmente disponíveis para redução do volume do vinhoto. A apresentação da mesma foi na Fase 1 deste projeto, por isso, omitimos aqui a mesma.

Enquanto que a concentração térmica através de evaporadores de múltiplos efeitos está amplamente difundida na produção de álcool a partir de milho e outros cereais, ela não é realizada no Brasil. O motivo principal deste fato deve-se a que o vinhoto efluente da produção de etanol de milho apresenta alto valor nutricional, que levou a um processo de recuperação da matéria orgânica presente através de separações físicas, concentração térmica e secagem final dos sólidos contidos no vinhoto. O produto final tem valor comercial, trata-se de uma *commodity* agrícola e contribui com créditos na formação do custo de produção do etanol de milho.

Já as vinhaças originadas na produção de etanol de cana ou beterraba (caso específico de Europa) não possuem este valor nutricional sendo que a única utilidade está relacionada com a fertirrigação e fundamentalmente a riqueza em potássio destes efluentes.

A redução do volume de vinhoto de cana por concentração atende a necessidade de redução do custo de aplicação e a exigências ambientais. Dispõe-se de processos comerciais para concentração de vinhoto, com exemplos de implantação e destilarias de álcool de beterraba na Europa; no Brasil não existem unidades comerciais.

A tecnologia para concentração é oferecida por Vogelbusch/Dedini, Messo/GEA e Alfa Laval entre outros. Todos estes processos sofrem problemas relacionados à rápida incrustação dos evaporadores e cristalização espontânea à medida que o teor de sólidos aumenta.

O consumo energético nestes processos também é outro entrave, pois uma quantidade adicional de vapor é requerida para efetuar esta concentração. Os fornecedores destes equipamentos oferecem diversas soluções para otimizar o consumo energético.

A cristalização de sais de cálcio, magnésio e preferentemente de potássio se apresenta com o usual problema para reduzir os problemas de incrustação e cristalização espontânea. A introdução de cristalização é uma alternativa interessante do ponto de vista de recuperação do potássio para atender às necessidades deste nutriente na cultura de cana.

Considerando os processos para a Destilaria padrão que envolve um aumento de escala e expressivo, a introdução da cristalização de sais combinada com a concentração térmica em evaporadores mostra-se mais atrativa e este processo deverá ser examinado.

A Messo/GEA oferece um processo de recuperação de sais de potássio da vinhaça, baseado na evaporação e cristalização combinadas.

A concentração térmica e a recuperação de sais têm de ser considerada também do ponto de vista de redução da captação e uso de água pela destilaria. As águas condensadas da concentração do vinhoto (por extensão os condensados da pré-concentração do caldo) devem ser recicladas ao processo, por exemplo, embebição, reposição nos circuitos de resfriamento e vaporativo e no processo de fermentação (nestes depois da remoção dos inibidores voláteis arrastados com os condensados).

Tecnologias de remoção do sulfato do vinhoto: remoção de potássio através de eletro-diálise

A separação do potássio através de eletro-diálise é alternativa que está em estágio de desenvolvimento, em escala laboratorial.

O processo de eletro-diálise consiste na remoção de eletrólitos solúveis através de uma membrana seletiva aplicando uma tensão de corrente contínua. Começou a ser estudado na França com vinhoto de beterraba com o propósito de evitar a precipitação de sais de potássio durante a concentração de vinhoto. Os resultados preliminares obtidos em laboratório se mostraram atrativos. A eletro-diálise não requereu um tratamento preliminar de clarificação da vinhaça com membranas de micro-filtração. Foi atingida uma redução do teor de potássio na vinhaça de 10 kg/m³ para 2,5 kg/m³ e uma taxa de remoção de 0,2 kg/h.m², empregando membranas seletivas e uma tensão entre eletrodos de 17 volts. Comparativamente a redução dos sais de cálcio e magnésio é muito menor, favorecendo o enriquecimento do potássio.

Necessariamente estes estudos deverão ser continuados numa escala mais representativa, para validar estas conclusões preliminares. Considerando o rápido desenvolvimento das membranas, no que diz respeito ao aprimoramento da performance e redução do custo unitário, a eletro-diálise deve ser considerada como uma alternativa futura para tratamento do vinhoto.

2.1.3 Perfil da agroindústria sucroalcooleira

Uma outra vertente do projeto é entender o setor comprador (cliente), ou seja, a agroindústria sucroalcooleira. Para tal, foram realizadas entrevistas, através de questionário e visitas técnicas, aos proprietários e diretores das usinas e respectivas áreas cultivadas com cana-de-açúcar. A amostragem é pouco significativa para expressar o comportamento dessa agroindústria. O que foi observado, até o presente momento, é que o setor vem se consolidando em grandes grupos. Para estudos futuros, propõe-se a seguinte divisão do setor em 1) grupos de usinas, 2) usinas com moagem acima de 12.000 toneladas por dia, 3) usinas com moagem de 7.000 a 12.000 toneladas por dia. 4) Demais usinas.

Os dados obtidos até o momento e o estudo do histórico do setor têm mostrado que o mesmo vive um momento de várias mudanças: a mudança da gestão da agroindústria do patrono para seus herdeiros ou para administradores; a abertura de capital; a compra de usinas por grupos nacionais e estrangeiros; a automação, mecanização, os sistemas de gestão integrada, a qualidade e certificação sendo prioridades básicas; a transformação da usina, indústria de alimentos, em indústria de energia; a absorção, em breve, de novas tecnologias, tais como a hidrólise do bagaço, a recuperação da palha e cana transgênica e o momento de modernização e ampliação das áreas produtivas e de produção, a expansão do setor para atender uma demanda mundial e exigente.

A colocação feita por todos os entrevistados é com relação à escassez e não a qualificação da mão-de-obra disponível no mercado de trabalho. Este gargalo atinge todos os setores e níveis profissionais da usina. A alternativa que os empresários encontraram é investir em formação, principalmente dos profissionais de nível técnico. Porém, eles colocam, que mesmo com este investimento, a rotatividade é grande e sempre ficam vagas em aberto. Eles também lembram que, com o aumento da mecanização no campo e com a ampliação da automação na indústria, este problema tende a agravar.

O entendimento destas mudanças, realizado através de informações e estatísticas, deve fornecer um panorama de como este novo setor está se organizando e fornecer subsídios necessários para a criação de um plano de desenvolvimento para o mesmo. Os dados coletados de vendas, investimentos, além das informações quantificáveis, tais como o faturamento, produção, investimento em novas tecnologias, empregos oferecidos etc, as informações de caráter subjetivo, sendo elas: a cultura da agroindústria; a gestão organizacional; a visão do setor em relação à P&D e a utilização de novas tecnologias; as perspectivas de crescimento, de aumento da oferta e da inserção de novos produtos, inclusive da geração de energia elétrica. Este levantamento fica como proposta para um futuro estudo.

2.1.4 Perfil do setor fornecedor de máquinas e equipamentos

Para detalhamento do estudo do setor fornecedor de equipamentos o mesmo foi dividido em: A) fornecedores de máquinas e implementos agrícolas e B) fornecedores de máquinas e equipamentos industriais. Esta divisão foi necessária, pois as respectivas empresas apresentam características diferentes, tanto em relação à gestão empresarial como em relação ao desenvolvimento de novas tecnologias.

O estudo prevê o mapeamento da cadeia produtiva de bens de capital que atende a agroindústria sucroalcooleira visando a avaliar o potencial de desenvolvimento empresarial e tecnológico para acompanhar o crescimento da demanda de etanol e demais produtos oriundos da cana-de-açúcar que vierem a apresentar demandas significativas.

Foram realizados contatos com empresas do setor, independentemente de priorização, através de contatos telefônicos, troca de e-mails e contatos pessoais realizados no SIMTEC¹, na FENASUCRO² e em visitas técnicas. No total foram contatadas 76 empresas, sendo 16 que atendem a parte agrícola, 48 que atendem a parte industrial e 08 empresas que prestam serviços ao setor, mas não fazem parte da cadeia de bens de capital. Além destas empresas foram realizados contatos com 06 grupos de usinas, sendo 04 no estado de São Paulo e 02 no Nordeste, com o CTC e com a ABIMAQ.

Também foi realizado um evento, em parceria com a ABIMAQ, cujo objetivo era criar uma relação mais próxima com o setor de bens de capital. A apresentação do projeto, junto com a apresentação dos órgãos que o apoiam, permite que o empresariado do setor sintam-se participativo nas tomadas de decisões. Esta proximidade facilita os contatos nas empresas, facilita agendar as visitas técnicas e permite a troca de informações, com um número maior de empresas, em um

¹ SIMTEC – Simpósio Internacional e Mostra de Tecnologia da Agroindústria Sucroalcooleira, evento realizado de 18 a 21 de julho, em Piracicaba - SP

² FENASUCRO – Feira Internacional da Indústria Sucroalcooleira, evento realizado de 19 a 22 de setembro, em Sertãozinho - SP

tempo significativamente menor, apresentando resultados mais exatos. O evento realizado foi um evento piloto, realizado em Ribeirão Preto. De forma a propiciar uma participação mais intensiva, o evento foi direcionado apenas para alguns fabricantes de equipamentos. Das 26 empresas que eram esperadas, 18 compareceram no evento. Na avaliação dos participantes, o evento poderia ter caráter mais técnico e solicitaram convite para os próximos que vierem a serem realizados.

Com relação à aplicação de questionário, os resultados obtidos foram poucos significativos. Das 22 empresas que receberam o questionário, apenas 05 empresas responderam. Vale citar o exemplo dos fabricantes de caldeiras que quando questionados sobre a possibilidade de acompanhar o crescimento do setor sucroalcooleiro, eles respondem que estão preparados e que conseguem atender a demanda projetada. Porém, nas visitas realizadas na empresa, o que é colocado é que não há prazo para atender a demanda atual, que já está superior a o esperado, que o chão de fábrica precisa de modernização, pois a grande parte do processo de fabricação ainda é semi-industrial, que os investimentos para melhoria e ampliação só serão realizados com a garantia da demanda e que, devido a demanda atual e apesar de haver interesse, não há muito espaço para o desenvolvimento de novas tecnologias.

Perfil do setor fornecedor de máquinas e implementos agrícolas

As empresas fornecedoras de equipamentos agrícolas localizam-se nas regiões sul, sudeste e nordeste, enquanto que as fornecedoras de equipamentos industriais estão concentradas nas regiões sul e sudeste. Os grandes pólos são as regiões de Piracicaba e Ribeirão Preto no Estado de São Paulo. Também marcamos a presença no setor sucroalcooleiro as empresas de equipamentos localizadas em Joinville, no Estado de Santa Catarina e as de Caxias do Sul, no Rio Grande do Sul.

Nota-se que as empresas fornecedoras de máquinas e implementos agrícolas apresentam, no seu conjunto, características muito semelhantes entre si: a maioria possui um mix de produtos para a produção da cana-de-açúcar e demonstram um grande interesse em desenvolver novos produtos e/ou melhorar a tecnologia existente nos seus, porém elas não possuem uma área ou departamento específico destinado à pesquisa e desenvolvimento.

As demandas da agricultura canavieira para o setor de bens de capital envolvem um conjunto de equipamentos necessários para o plantio, os tratamentos culturais, a colheita e o transporte da cana, dos insumos e dos resíduos. Com o intuito de analisar a capacidade de atendimento da demanda do setor canavieiro agrícola por parte dos fornecedores de equipamentos agrícolas são apresentadas na Tabela 2.1.4-1 quantidades estimadas de equipamentos que estariam em operação nos cenários atual, de 2015 e de 2025. As estimativas foram feitas com base em dados de eficiências já conhecidas de operações convencionais atualmente em uso, que levam em consideração os tempos de manobra, manutenção, a jornada de trabalho e os tempos perdidos em função da logística, clima e movimentação entre áreas. As larguras de trabalho dos equipamentos previstos para 2025, acopláveis às ETC's, foram adotadas seguindo critérios de projeto de máquinas compatíveis com a operação e o porte do equipamento.

Tabela 2.1.4-1: Quantidade estimada dos principais equipamentos em operação na produção da cana-de-açúcar nos cenários atual, 2015 e 2025

Equipamento	2007	2015	2025
Subsolador 558		886	0
Grade 16x32	400	886	0
Sulcador 2L	908	1801	0
Plantadora 2L	<50	1.286	0
Módulo plantio ETC-4L	0	0	2.447
Cultivador Tríplex 2L	1.907	0	0
Cultivador Tríplex 3L	<100	3.632	0
Módulo cultivo ETC-4L	0	0	2.980
Colhedora 1L	1.390	0	0
Colhedora 2L	0	2.205	0
Módulo colheita ETC-2L	0	0	9.055
ETC 0		0	12.035
Empilhadoras (15 t)	0	0	4.527
Containers 15 t	0	0	106.000
Transbordo 2.384		6.252	0
Tratores transbordo	1.190	3.126	0
Tratores Cultivo	1.907	3.632	0
Tratores preparo do solo	958	1772	0
Caminhões 3.700		9.280	18.565
Carrocerias 30 t	7.360	23.360	0
Unidades de limpeza a seco	< 2	155	940

As considerações que seguem dizem respeito à capacidade de produção dos fabricantes de tratores, com teileres, módulos de colheita, cultivo e plantio assim como das estruturas de tráfego controlado e componentes da linha automotiva.

A produção brasileira de tratores de pneus e esteira variou entre 20.000 e 100.000 unidades no período 1970-2003. Considerando que, no cenário de 2015, se faça uma reposição de 10% das 8.530 tratores utilizados em operações de transbordo, cultivo e preparo do solo, verifica-se que existiria uma demanda anual de aproximadamente 853 tratores, muito inferior aos níveis de produção registrados historicamente e condizentes com a condição de ociosidade declarada pela Anfavea com relação a esse setor industrial.

Pode-se ter uma ordem de magnitude da capacidade de produção dos fabricantes de implementos e máquinas agrícolas analisando alguns itens da Tabela 2.1.4-1 comparativamente à Tabela 2.1.4-2. A Tabela 2.1.4-2 inclui dados de produção praticados por duas empresas especializadas no setor canavieiro da região de Ribeirão Preto. As carretas de transbordo representam um bom exemplo da capacidade de adaptação do setor a uma demanda rapidamente crescente. Pode-se observar que a empresa 2 chegou a produzir 730 unidades em 2006 e considera que teria capacidade para atender uma demanda de 1300 unidades; essa quantidade corresponde a 41% da população de transbordos estimada para o ano 2015. Uma análise similar pode-se fazer com relação a plantadoras no horizonte de 2015.

Com relação à previsão de 106.000 contêineres em operação em 2025 pode-se considerar que essas estruturas seriam fabricadas no período 2015-2025. Atualmente existem mais de 20 empresas produzindo, ou aptas a produzir equipamentos similares, como carretas diversas, transbordos e carrocerias. Esses fabricantes passariam a ter uma demanda de 44 contêineres/mês-empresa. Essa produção é compatível com as quantidades produzidas pelas empresas da Tabela 2.1.4-2, na qual verifica-se que existe uma capacidade potencial de produção de 1356 t transbordos/ano ou 56 unidades/mês-empresa. Os contêineres estariam substituindo os transbordos na configuração de mecanização baseada em ETC's proposta para 2025.

A Tabela 2.1.4-1 apresenta também, no cenário de 2025, uma população de 15.705 equipamentos em operação entre módulos de colheita, cultivo e plantio, o que gera uma demanda adicional de 6,5 equipamentos/mês-empresa, a serem produzidos no período 2015-2025, ou, após 2025, essa produção estaria atendendo uma taxa de reposição de 10% da referida população de máquinas. Os níveis de produção descritos são compatíveis com os praticados pelas empresas da Tabela 2.1.4-2 no período 2002-2006, principalmente se são consideradas as expansões de capacidade de produção que elas mesmas estão implementando em 2007. Considerações similares podem ser feitas com relação às 12.035 estruturas de controle de tráfego que geram uma demanda de 5 equipamentos/mês-empresa.

Tabela 2.1.4-2: Produção praticada anualmente e potencial de produção de empresas de máquinas e implementos agrícolas da região de Ribeirão Preto-SP

Produto	Empresa 1						Empresa 2					
	Praticada					Potencial	Praticada					Potencial
	2002	2003	2004	2005	2006		2002	2003	2004	2005	2006	
Subsoladores	53	55	56	59	52	65	0	0	0	0	0	0
Sulcadores	160	221	133	182	296	350	nd	nd	nd	nd	260	800
Cobridores	121	228	127	213	485	600	nd	nd	nd	nd	260	800
Plantadoras	22	19	35	8	44	72	nd	nd	nd	25	40	100
Carregadoras	0	0	0	0	0	0	nd	nd	nd	nd	90	240
Transbordos	10	40	38	56	16	56	nd	nd	nd	730		1300
Cultivadores	393	587	441	468	941	1150	nd	nd	nd	nd	250	450

No caso das ETC's deve-se ressaltar que existe a necessidade de componentes hidráulicos, motores de combustão interna, pneus, componentes eletrônicos de controle e redutores de engrenagens e em quantidades correspondentes a 1.203 ETC's/ano. Esses componentes serão fornecidos em sua maior parte pelos mesmos fornecedores de componentes utilizados no setor de veículos de transporte de cargas, que atualmente produz mais de 100.000 unidades/ano, ou seja, com capacidade muito acima da demanda do setor canavieiro, mesmo no cenário de 2025.

Considerando a ociosidade atual do setor de bens de capital, o horizonte bastante longo de desenvolvimento e implantação das tecnologias, a natureza construtiva dos equipamentos que envolvem grande participação de fabricação em caldeiraria, pode-se antecipar que haverá uma adequação do setor à demanda, ou, no mínimo, tempo suficiente para incentivar setores deficitários.

Os recursos de P&D dos fabricantes de equipamentos agrícolas são deficitários para efetuar o desenvolvimento de vários dos novos produtos propostos neste relatório, mesmo que os mesmos sejam de baixa complexidade. Os desenvolvimentos realizados pelas empresas nos últimos 30 anos resultaram de um processo de observação e aprimoramento intuitivo e gradativo ou, no caso de projetos mais inovadores existiu a participação de equipes de engenharia mais estruturadas como as do CTC e alguns centros de pesquisa oficiais. As equipes de engenharia dessas empresas estão formadas predominantemente por técnicos de nível médio atuando em desenho computadorizado e documentação de engenharia para fabricação. Atividades como dinamometria, simulação estrutural e de mecanismos, análise de falhas e de materiais são normalmente terceirizadas.

Os desenvolvimentos contidos nos cenários deste relatório demandariam inicialmente a constituição de parcerias das empresas com entidades nas áreas mais especializadas do projeto, tais como eletrônica em bancada, otimização estrutural, simulação dinâmica, mecânica de veículos fora de estrada, fabricação e controle de qualidade e agricultura de precisão. Numa segunda fase, após a obtenção dos protótipos, surge novamente a necessidade de parcerias envolvendo equipes de produção das estilarias assim como equipes especializadas em solos, melhoramento, adubação e pragas para efetuar um acompanhamento em campo com horizonte superior a 5 anos.

Perfil do setor fornecedor de máquinas e equipamentos industriais

Os fornecedores de equipamento que atendem a área industrial podem ser divididos em 04 grupos distintos: 1) os que fornecem todo o complexo industrial, produzindo parte dos equipamentos e contratando os demais; 2) os que fornecem os equipamentos de maior porte e valor, 3) os fornecedores de equipamentos complementares para que a área finalmente funcione, por exemplo, os fornecedores de esteiras, redutores, bombas, válvulas e 4) os fornecedores de equipamentos de apoio: tubulações, cabos, ferramentas.

A quantidade de empresas pertencentes aos 04 grupos cresce de forma exponencial indo do grupo 01 para o grupo 04, podendo ser visualizados em forma de pirâmide, com as empresas do grupo 01 no topo e do grupo 04 na base. Porém, os processos gerencial, produtivo e de inovação do grupo 04 são mais desenvolvidos, salvo às exceções. As empresas pertencentes aos grupos 03 e 04 apresentam um histórico contínuo de investimentos em P&D, e de adaptação às transformações organizacionais.

O principal resultado obtido e que ainda será mais bem avaliado, coloca que as empresas dos grupos 01 e 02 já estão com sua capacidade produtiva no limite, não tendo muito espaço para investir em pesquisa e desenvolvimento; a preocupação está em como atender a demanda imediata e crescente. As empresas que fornecem moendas, caldeira, turbinas, destilarias têm hoje um prazo de entrega de 24 meses na média. Está sendo analisada a proporcão de venda destes equipamentos entre as empresas nacionais e as estrangeiras.

Já os grupos 03 e, principalmente o grupo 04, que atendem a vários outros setores industriais, apresentam-se preparados para acompanhar o crescimento do setor e disposição para realizar projetos não só de P&D&I, mas também de mudança e melhoria organizacional.

As empresas que apresentam, no seu histórico, investimentos contínuos em P&D&I, sendo em suas próprias instalações ou em parcerias com institutos de pesquisa e universidades correspondem, até o presente, com menos de 15% das 76 empresas de bens de capital pesquisadas.

A grande deficiência encontrada no setor está, principalmente, na cultura das empresas em não realizar projetos de P&D&I, sendo justificado pelas mesmas como não sendo considerado necessário ou por não ter condições em investir e ainda pela falta de conhecimento em como realizar projetos de pesquisa em cooperação com universidades e institutos de pesquisas obtendo o apoio financeiro para tal. Outro fato, este citado pelas empresas, é que o setor está com uma demanda elevada não possuindo, assim, nem recursos e nem profissionais disponíveis para atuar em P&D&I. (Os recursos estão sendo alocados para ampliação da área produtiva.).

Considerações

Os resultados foram obtidos, a partir do contato direto com 29 empresas: 05 fabricantes de colunas de destilação, 02 fabricantes de turbinas, 05 fabricantes de caldeiras, 03 fabricantes de redutores, 02 fabricantes "chave-na-mão", 05 fabricantes de moendas, 02 fabricantes de balanças rodoviárias, 02 fabricantes de geradores, 03 fabricantes de dornas de fermentação.

Uma proposta para continuidade deste estudo seria a criação de um banco de dados incluindo informações detalhadas sobre as empresas, contemplando o histórico de P&D&I e a evolução do desenvolvimento dos produtos. O entendimento das empresas permitirá gerar um balanço da situação atual das mesmas e suas respectivas oportunidades de crescimento. Além do banco de dados, ter-se-á mapeada e especificada toda a cadeia de bens de capital, com suas respectivas especificações e potencial de inovação, ou seja, os seus gargalos tecnológicos. Este mapa fornecerá um de senho da tecnologia atual e um de senho de uma agroindústria de referência, os dois casos referindo-se a máquinas e equipamentos.

Um resultado complementar deste poderia vir a ser a busca dos institutos de pesquisa e universidades e seus respectivos projetos que são ou que possam vir a ser criados para atender o setor. Esse resultado, comparado com as necessidades do setor, poderá direcionar os investimentos em pesquisa e desenvolvimento.

O estudo dos fornecedores das empresas de bens de capital, ou seja, as demais cadeias produtivas que transpassam a cadeia fornecedora de equipamentos para fabricação de açúcar, álcool e energia, poderão vir a ser objetos de estudo para a próxima fase ou um próximo projeto.

2.2 Quantificação mais confiável dos índices técnicos das tecnologias emergentes, e da evolução destes índices

Alguns índices que representam uma previsão quantitativa do impacto das novas tecnologias no desempenho dos sistemas agrícolas podem ser apreciados na Tabela 2.2-1. Os referidos índices estão relacionados principalmente à qualidade da matéria-prima, colmos e palha, e à demanda de combustíveis fósseis para a produção da cana-de-açúcar. A tendência favorável do valor dos índices 5 a 16, no horizonte de 20 anos, é conseqüência da implementação das tecnologias contidas nos índices de 1 a 4.

Tabela 2.2-1: Evolução dos índices técnicos com a adoção de novas tecnologias

Índice	Atual	2015	2025
1- Uso de ETC's [%]	0	0	100
2- Uso de plantio direto [%]	< 5	10	100
3- Uso de mapas de produtividade georeferenciados [%]	0 10		100
4- Uso de agricultura de precisão [%]	0	10	100
5- Perdas totais na colheita [%] (visíveis + invisíveis)	5	4	2
6- Colheita de Cana Crua [%]	20	40	100
7- Teor de terra na cana [kg/tc]	5	4	1
8- Teor de terra na palha [kg/t]	50	5	3
9- Recuperação da palha [%]	0	10	60
10- Custo da recuperação da palha [R\$/t]	40	20	10
11- Consumo de diesel no preparo do solo e plantio [l/tc]	0,35 0,32		0,04
12- Consumo de diesel na colheita mecânica [l/tc]	0,9	0,8	0,38
13- Consumo de diesel no transporte de 25 km [l/tc]	0,98	0,95	0,88
14- Consumo agrícola de diesel [l/tc]	3,5	2,5	1,7
15- Longevidade do Canavial [anos]	5	6	10
16- Produtividade Agrícola (colhida) [t/ha]	71,0	79	85

tc: tonelada de colmo

Merecem destaque os índices 6 e 9, que dizem respeito à produção de palha em função de sua importância para os objetivos do projeto. O aumento da porcentagem de cana crua de 20% para 100% é conseqüência de três fatores: a colheita migra para o sistema mecanizado, a tecnologia de colheita é aprimorada no sentido de processar a cana crua sem desvantagens significativas em termos de rendimento e custos, e a legislação atinge os níveis máximos de restrição à queima.

No índice 9, a recuperação da palha evolui de 0 para 60 % em função do surgimento da demanda para aproveitamento energético, e em função da evolução da qualidade da palha e seu custo de recuperação dados pelos índices 8 e 10, respectivamente, que contribuem para viabilizar a queima em caldeiras. A evolução positiva dos índices 5 e 7 está associada à evolução da tecnologia de colheita mediante a qual as máquinas de uma linha passam para duas linhas de corte com aprimoramentos no sistema de alimentação e no processo de recuperação da palha. Os índices 10, 11 e 14, relativos à demanda de combustíveis fósseis, evoluem positivamente como consequência da inserção do plantio direto e das estruturas de tráfego controlado (ETC's).

O índice 13, relativo a consumo de diesel no transporte, sofre pequena alteração em função da tecnologia de transporte estar já bastante otimizada; a pequena redução de 0,98 para 0,88 l/t surge do uso dos rodotrens com aumento da capacidade de carga dos caminhões que passa de 45 para 60 t. Cabe destacar que como resultado da tendência atual do preço do óleo diesel, é provável que sejam, novamente, adotados os motores a álcool para o transporte de cana, aproveitando os resultados das experiências bem sucedidas da década de 80 em que os motores ciclo diesel eram alimentados com álcool aditivado ou, os motores ciclo diesel com injeção piloto, eram alimentados com álcool e diesel.

O índice 16 relativo à produtividade agrícola experimenta um acréscimo de 20 % no horizonte de 20 anos do estudo; isto como consequência das contribuições da engenharia genética na adaptação das variedades às condições regionais específicas e também como consequência da adoção do plantio direto, que mostrou aumentos significativos de produtividade em outras culturas, podendo-se esperar comportamento similar no caso da cana-de-açúcar.

2.3 Avaliação de impactos das tecnologias transversais versus tecnologias disruptivas, nos próximos 20 anos, na produção de etanol

Uma relação qualitativa dos impactos provocados pelas tecnologias em estudo está contida na Tabela 2.3-1.

Tabela 2.3-1: Impactos das tecnologias no desempenho agrícola

Tecnologia	Impacto
Melhoramento	Aumento da produtividade média Maior resistência ao "stress" hídrico Maior resistência a pragas (manejo possível) Melhor qualidade (pol; fibra)
Plantio direto	Redução de custos Maior longevidade do canavial Melhor aproveitamento da água de chuva Estruturação do solo Menor uso de herbicidas Redução das perdas de fertilizantes Redução das perdas de solo Aumento da matéria orgânica no solo Aumento da relação energia renovável/energia fóssil
Agricultura de precisão	Menor gasto com agro-químicos Menor gasto com fertilizantes Alimentação do banco de dados agronômicos
Tecnologia da informação	Aumento da produtividade média Menor gasto com agro-químicos Menor gasto com fertilizantes Melhor gerenciamento da manutenção da frota Melhor gerenciamento logístico da frota de transporte
Controle de tráfego	Viabiliza o plantio direto Reduz a compactação Menor investimento e menor custo da mecanização Aumento do número de dias úteis de safra (pontualidade)

Melhoramento genético

O melhoramento genético tradicional realiza o cruzamento entre variedades da mesma planta, envolvendo centenas de genes, sendo que muitos deles não possuem as características desejadas. É um processo demorado que, no caso da cana-de-açúcar, pode levar de 12 a 15 anos desde a seleção das sementes que irão gerar os "seedlings" até a liberação da variedade. A biotecnologia amplia consideravelmente a variabilidade disponível, pois permite a utilização da variabilidade existente em todos os seres vivos. Assim, quando uma característica desejável não é encontrada no genoma da espécie de interesse, mas o gene responsável por essa característica é identificado em outra espécie, tal gene pode ser transferido para a espécie a ser melhorada.

No período de 1995 a 2006 foram lançados, no Brasil, 82 cultivares de cana-de-açúcar (IAC = 16 variedades; Ridesa = 31 variedades; Copersucar = 26

variedades; CTC = 9 variedades), proporcionando um ganho de produtividade agrícola de quase 1% ao ano. Este ganho está associado à disponibilidade de variedades que permitem um manejo varietal eficiente, o qual procura alocar diferentes variedades com características a um determinado ambiente de forma a proporcionar um melhor desempenho agrícola. Deste modo, com prova-se a importância do desenvolvimento de uma variedade específica para cada região, que pode ser caracterizada por vários fatores bióticos (pragas, doenças, nematóides, ervas daninhas) e abióticos (regime climático, temperatura, luz, pH do solo, umidade, solo, oxigênio e outros gases).

O projeto Genoma Cana, iniciado em 1988, teve como objetivo mapear os genes envolvidos com o desenvolvimento e o teor de sacarose da planta, assim como sua resistência a doenças e às condições adversas de clima e solo. Até o final do ano 2000 já haviam sido identificados 50 mil genes da cana-de-açúcar. O prognóstico é que com a cana transgênica associada ao manejo varietal, haverá um aumento, até 2025, de 30% no valor de TPH (tonelada de pol por hectare), que associa a produtividade agrícola (TCH) com a qualidade da cana (percentual de pol da cana).

Essa previsão parece otimista considerando, que deve ocorrer uma forte expansão de áreas, na maioria das vezes para condições de solo e clima menos conhecidos ou com restrições e, em alguns casos, administradas por empresas menos experientes ou com tecnologias inadequadas. No entanto, as novas tecnologias de agricultura de precisão, com controle de tráfego, plantio direto e tecnologia da informação serão responsáveis por contribuições positivas não contempladas nas previsões de aumento de produtividade/qualidade feitas pelos melhoristas.

Tabela 2.3-2: Uma previsão de melhoristas da cana-de-açúcar com relação à produtividade e qualidade para os cenários de 2015 e 2025

Região	t/ha		Pol%cana/ha		ATR/ha	
	2015	2025	2015	2025	2015	2025
N-NE 68		72	12	13	118	120
Centro Sul	83	86	15	16	139	142
Brasil 82		84	14	15	136	140

Fonte: CanaVialis

Apesar dos avanços conseguidos e previstos na área da biotecnologia da cana-de-açúcar, ainda existe a necessidade de investimentos para o desenvolvimento de equipamentos que auxiliem na coleta de dados e que viabilizem a identificação dos genes, incentivando o prosseguimento dos estudos básicos voltados para uma compreensão mais aprofundada dos mecanismos biológicos e a criação de um banco de germoplasma nacional para a cana-de-açúcar.

Tecnologia da Informação

Ao analisar o sistema de produção utilizado atualmente na cultura da cana-de-açúcar, nota-se que existe um grande volume de informações associadas à planta, ao solo, ao clima e ao meio físico de produção. Esses fatores influenciam a produtividade, os custos operacionais, os investimentos e os impactos ambientais. Os efeitos e as interações entre essas variáveis são complexos e demandam o

auxílio da tecnologia da informação para viabilizar o armazenamento, a análise e o diagnóstico na gestão agrícola.

Os resultados bem sucedidos, obtidos por um número limitado de equipes experientes que conduzem atualmente com eficiência lavouras da cana-de-açúcar, podem ser multiplicados e potencializados com o auxílio da tecnologia da informação associada à agricultura de precisão. A captação, armazenamento e análise de grande volume de informação tornam-se possíveis, atualmente, mesmo no ambiente agrícola, viabilizando o diagnóstico de efeitos e interações entre fatores de produção. Os recursos da agricultura de precisão se adaptam muito bem ao quadro de manejo do canavial acima descrito e não apenas à racionalização da utilização de insumos como frequentemente considerado. A precisão atingida pelo sistema de posicionamento global permite referenciar geograficamente com detalhe o terreno.

Mesmo com o desenvolvimento e disponibilidade comercial do Sistema de Posicionamento Global (GPS), os sensores necessários para a quantificação dos fatores de produção, tais como produtividade, adubação aplicada, infestação de plantas invasoras e propriedades do solo estão ainda em graus primários de desenvolvimento. Os mapas de produtividade empregados no canavial demandam o uso de uma balança para pesagem dinâmica da massa de cana colhida pelas colhedoras; esta balança, em desenvolvimento pela AGRIC EF-FEAGRI-ENALTA, encontra-se em estágio de comercialização e ainda em fase de aprimoramento no que diz respeito aos níveis de erro do sinal gerado.

Os equipamentos de aplicação com taxa variável podem ser semeadoras, adubadoras, pulverizadores de pesticidas e espalhadores de corretivos (calcaredoras). Estes equipamentos, combinados com recursos de agricultura de precisão, requerem ainda aprimoramento, mesmo que já existam algumas opções disponíveis comercialmente. As propriedades e a composição granular heterogênea dos adubos sólidos não permitem uma precisão de aplicação satisfatória quando se faz necessária uma resposta instantânea nos aplicadores de taxa variável existentes comercialmente.

Para a geração de mapas de propriedades de solo existem protótipos de veículos experimentais georeferenciados para extração de amostras de solo não deformadas. Estas unidades não atingiram ainda o estágio comercial, por falta de demanda, e, conseqüentemente, não possuem ainda o grau de confiabilidade e automação desejado. O ciclo virtuoso de desenvolvimento-oferta-demanda-aprimoramento ainda não está em ação.

Atualmente, existem projetos baseados na tecnologia da informação na área agrônômica, denominados controle técnico agrônômico (CTA), e projetos para análise e diagnóstico da manutenção da frota, assim como sistemas para o gerenciamento logístico da frota de transporte, visando reduzir seu tamanho e seus custos, sempre mantendo a garantia de fornecimento de matéria-prima na esteira da indústria. Contudo, esses produtos necessitam de um aprimoramento juntamente com a disponibilidade de soluções para o gerenciamento de outros processos como a adubação, controle de pragas ou planejamento do corte visando adequar as características da matéria-prima a ser entregue na balança, em termos de sacarose e fibra, levando em consideração as curvas de maturação da cana e a demanda de álcool, energia elétrica e açúcar. A seguir são colocados alguns exemplos das aplicações de um banco de dados corporativo agrícola.

Monitoramento e gerenciamento da frota de caminhões e máquinas agrícolas em tempo real: uma das soluções para otimizar os gastos relacionados ao corte, carregamento e transporte de cana-de-açúcar está no monitoramento e gerenciamento da frota de caminhões e colhedoras em tempo real para reduzir os tempos de fila ou espera, mantendo a garantia de fornecimento de matéria-prima. Frotas superdimensionadas provocam filas e correspondentes aumentos de custos; frotas enxutas necessitam de um gerenciamento eficiente para evitar falta de matéria-prima na esteira da usina. O monitoramento da frota utilizando uma combinação de mecânica, eletrônica e sistemas de informação tem demonstrado seu potencial, principalmente nos últimos anos, devido à redução dos custos dos equipamentos eletrônicos, a liberação do sinal de posicionamento global (GPS), a comunicação entre máquinas com rádio frequência e a possibilidade de transmissão de dados em tempo real via banda de celular (GPRS) e Wi-Max a um custo reduzido. Acrescentadas estas tecnologias, houve avanços nas ferramentas de geoprocessamento com novos Sistemas de Informação Geográfica mais precisos e específicos para cada atividade (urbanismo, meio-ambiente, agricultura e transportes), sendo estes passíveis de integração às bases de dados corporativos, facilitando consultas espaciais/temporais com inclusão de modelos matemáticos para geração de informações relacionais complexas.

A disponibilidade do controle e da informação pode estar limitada a uma comunicação interna na máquina, para melhorar o seu desempenho, ou reduzir a demanda de trabalho ao operador, ou ainda, incluir a comunicação entre máquinas e a conexão com a central de processamento, permitindo o gerenciamento mais eficiente de todo o sistema.

Manejo de adubação: com a contínua introdução de novas variedades de cana-de-açúcar e com a disponibilidade de bancos de dados mais completos, que permitem um melhor entendimento do "ambiente de produção", torna-se necessário pesquisar novas opções de nutrição associadas à fertilidade do solo. Esta fase de diagnóstico complementa-se com a possibilidade de aplicação de insumos com taxa variável, suprimindo com maior precisão as necessidades da planta, de acordo com seu potencial e dependendo das necessidades do solo em cada ponto da área de produção.

Manejo integrado de pragas: O Manejo Integrado de Pragas (MIP), que engloba o constante mapeamento das pragas existentes na lavoura (nematóide, cupim e cigarrinha-da-raiz) e a escolha adequada das estratégias de controle, somente a partir de determinado nível de infestação, poderá ser realizado a partir da maior compreensão da estrutura e do funcionamento do sistema de produção em relação ao comportamento das doenças e pragas no campo e a otimização de seu controle. No sistema atual de produção da cana-de-açúcar, o manejo das plantas invasoras vem sendo quase exclusivamente realizado com controle químico. Os equipamentos utilizados para a aplicação dos agro-químicos apresentam uma baixa eficiência da quantidade de produto que atinge o alvo em relação à quantidade total aplicada. As tecnologias de agricultura de precisão, aliadas ao banco de dados corporativo, permitirão o emprego de pesticidas apenas nos pontos onde ocorre a doença ou a planta invasora, e não em toda a área, reduzindo sensivelmente o uso de pesticidas.

Plantio direto

No plantio direto o palhicho (folhas, colmos, ponteiros, restos vegetais) é deixado sobre a superfície do solo. A matéria orgânica condiciona o solo e reduz o uso de agroquímicos. Não existe preparo do solo com grades ou arados além da mobilização necessária para a abertura do sulco onde se depositam as mudas e o fertilizante. Trata-se de um manejo diferente da lavoura, que envolve o manejo de culturas, manejo integrado de pragas e também deve contar com o auxílio de herbicidas, principalmente para a eliminação da soqueira durante a renovação do canavial.

O custo de produção no plantio direto é de 6% a 14% menor que nos sistemas convencionais. O custo das máquinas é um dos fatores que mais contribuem para essa redução. Com a eliminação das operações de aração e gradagem, a potência requerida para os tratores é 30% a 60% menor e o consumo de diesel chega a ser 70% menor.

Embora a redução de custos tenha sido o principal fator considerado pelos produtores para adotar a técnica de plantio direto, não são menos importantes suas contribuições positivas no médio e longo prazo, como a redução das perdas de solo e nutrientes e o ganho de produtividade; este último associado principalmente ao aumento da água armazenada e conservada no solo. A retenção de água é maior pelo aumento da infiltração no solo e pela redução de sua evaporação.

O solo menos movimentado torna-se gradativamente mais estruturado, e com o auxílio da cobertura de palha torna-se muito eficiente no controle da erosão hídrica, assim como na conservação da água de chuva e o controle da temperatura do solo. As perdas de nutrientes são proporcionais às perdas de solo e água. O plantio direto reduz em até 90% as perdas de solo e em até 70% as enxurradas. As culturas anuais ocupam atualmente por volta de 2,5 milhões de hectares no estado de São Paulo. Sob sistemas convencionais de cultivo, essa área perderia, anualmente, 24 milhões de toneladas de solo e 4 bilhões de m³ de água na forma de enxurrada. Com essa área em plantio direto, as perdas anuais seriam de 5 milhões de toneladas de solo e 2 bilhões de m³ de água.

A adoção da prática de plantio direto, no caso da cana-de-açúcar no Brasil, enfrenta a restrição imposta pela mecanização praticada, que envolve tráfego intenso na colheita e no transporte interno ao talhão. Essa prática está fundamentada no uso de tratores e streitos, com bitola inferior a 2 m, ilustrada na Figura 2.3-1(a). A mecanização baseada em estruturas de tráfego controlado, descritas a seguir, viabiliza o uso do plantio direto e paralelamente soma vantagens econômicas de redução de custos nos processos de colheita e na retirada da cana dos talhões.

Tráfego controlado

Juntamente com as contribuições positivas da mecanização agrícola surgiram algumas negativas, com o comprometimento do solo resultante do tráfego, que prejudica a sustentabilidade da agricultura cana-vieira em termos de custo de produção e conservação do solo. Com a modernização da agricultura, o peso dos equipamentos e a intensidade de uso do solo aumentaram drasticamente, com alteração das propriedades físicas do solo, tais como aumento da densidade e da resistência à penetração.

As condições ideais de solo para o tráfego das máquinas são antagônicas com as necessárias para o desenvolvimento das plantas. Os pneus ou esteiras de máquinas ou veículos de transporte requerem superfícies secas e duras para conseguir máxima eficiência de tração, e dessa forma reduzir os requerimentos de peso, investimento e combustível; no entanto, na mecanização praticada atualmente, o tráfego acontece em áreas de cultivo onde o solo está solto e úmido.

O combustível gasto para deslocar equipamentos e veículos sobre solos soltos acaba em sua maior parte sendo utilizado para deformar o solo, ou seja, para gerar compactação, a qual ciclicamente manda no vamente peso, investimento e combustível para descompactação nas operações posteriores de cultivo de soqueira ou preparo para o plantio. Uma análise bastante simples desse ciclo vicioso de energias gastas em sucessivas operações de compactação e descompactação leva ao conceito de tráfego controlado; este consiste na separação das áreas usadas para o desenvolvimento das plantas daquelas usadas para o tráfego dos equipamentos.

A pontualidade (Timeliness) é também um fator afetado positivamente pelo conceito de tráfego controlado. O tempo disponível, na região Centro-Sul, para o uso de equipamentos no início da safra, março-abril, e no fim da mesma, novembro-dezembro, é limitado em função do período de chuvas. No sistema de tráfego controlado as rodas trafegam sobre terreno elevado e compactado e, dessa forma, sofrem menos restrição em períodos de chuva. Além dos pontos já descritos, o conceito de tráfego controlado tem potencial para conseguir redução de investimentos e custos operacionais de produção.

O tráfego controlado utiliza unidades de potência portadoras de implementos, que denominaremos de estruturas de tráfego controlado ou ETC's. Estas estruturas utilizam bitola larga, tais como a desenvolvida pelo National Soil Dynamics Laboratory de Auburn, Alabama, ilustrada na Figura 2.3-1(b). As ETC's utilizam linhas de tráfego permanentes, bem compactadas, com alta eficiência de tração e sem interferência com a área plantada, localizada entre as linhas de tráfego. Para o caso de uma ETC com bitola de 30 m, existe uma área de apenas 4 % dedicada ao tráfego e o resto dedicado exclusivamente ao desenvolvimento da planta. A mecanização atual utiliza tráfego intenso em aproximadamente 30 % da área, com baixa eficiência de tração e plantas se desenvolvendo em solo fisicamente danificado.



a) Mecanização convencional



b) Estrutura de tráfego controlado

Figura 2.3-1: Mecanização convencional vs estrutura de tráfego controlado (ETC)

O conceito de tráfego controlado, utilizando ETC's, foi testado experimentalmente em diversos países, tais como EUA, Holanda, Canadá e Israel, como ilustra a Figura 2.3-2, sem que tenha atingido um estágio comercial extensivo. A razão para isso se encontra no fato das fazendas familiares nesses países não terem área suficiente para viabilizar um equipamento de esse porte e o número reduzido de grandes produtores não constitui mercado suficientemente atrativo para os fabricantes tradicionais de equipamentos agrícolas que estão estabelecidos e consolidados mundialmente para produzir, vender e dar assistência técnica para a configuração atual de mecanização baseada em tratores de bitola estreita.



Figura 2.3-2: ETC desenvolvida pelas Indústrias Militares de Israel (IMI)

No caso da cana-de-açúcar no Brasil, os produtores são, em sua maioria, grandes, plantando e colhendo áreas com mais de 10.000 ha. Estes produtores podem se beneficiar das vantagens das ETC's. No caso de um módulo de 30.000 ha seria necessária 8 unidades das ETC com capacidade para colher 152 ha/dia durante os meses de abril a novembro, e quatro dos mesmos equipamentos, com implementos apropriados, efetuariam o plantio nos meses de janeiro a março.

As ETC's podem ser produzidas por fabricantes de implementos de porte médio. Trata-se de grandes estruturas, mas máquinas simples, compostas de peças estruturais de aço e elementos de máquinas tais como motores de combustão interna, pneus, componentes hidráulicos, elétricos e eletrônicos disponíveis em fornecedores nacionais já consolidados no mercado. No entanto, a quebra do paradigma da mecanização convencional requer um atrativo de curto prazo, com impacto imediato sobre o desempenho econômico da empresa. A Tabela 2.3-3 apresenta os resultados de simulações realizadas comparativamente entre os custos da mecanização convencional e a mecanização fundamentada nas ETC's. No caso da cana-planta, a mecanização com ETC e plantio direto apresenta um custo 56% inferior à mecanização convencional; esta redução pode ser justificada, em parte, pela eliminação das operações de subsolagem, aração e gradagem, e mais significativamente pela substituição da operação atual de transbordo com carretas autobasculantes e tratores por empilhadoras que transferem "containers" das ETC's para os caminhões de estrada.

Na colheita também existe uma redução importante de custo, principalmente pelo fato de estar incorporando um acessório colhedor com capacidade para colher duas linhas, em contra posição à colhedora de cana picada existente atualmente que colhe apenas uma linha. Essa redução de custos parece também na cana-soca, com idêntica justificativa, e embora com maior valor absoluto e em função do maior número de ciclos da cana-soca.

Tabela 2.3-3: Custos estimados da mecanização convencional e com ETC's

Operação	Convencional (5 cortes)	ETC (5 cortes)	ETC (10 cortes)
	Cana Planta		
Subsolagem 88,3		0,0	0,0
Aração 79,6		0,0	0,0
Nivelamento 34,0		0,0	0,0
Plantio 243,7		214,8	214,8
Colheita 451,0		270,1	270,1
Transbordo ou empilhadora	282,6 39,8		39,8
100%		44%	44%
Cana Soca			
Colheita 1807,6		1.080,5	2.431,2
Transbordo ou empilhadora	1.130,3 159,3		358,4
100%		72%	65%
Total [R\$/ha]	4117,1	1764,5	3314,3
Total [R\$/tc]	21,2	15,3	13,8

A longevidade do canavial está ligada à produtividade e tem impacto direto nos custos de produção. Ambos os fatores participam da otimização do número de cortes. Umidade e compactação do solo são fatores fortemente ligados à longevidade do canavial. As tecnologias de controle de tráfego e plantio direto atacam especificamente os referidos parâmetros de produção; o plantio direto através da conservação de umidade associada com a cobertura morta; o controle de tráfego elimina a componente de compactação promovida pela mecanização e com isso promove a estruturação do solo, aumentando sua capacidade de armazenamento de umidade e facilitando a propagação do sistema radicular da soqueira para explorar um maior volume de solo. Pode-se, portanto, aumentar longevidade dos canaviais com a adoção do plantio direto.

Pelos fatores apontados, o plantio direto pode contribuir significativamente com a sustentabilidade da agricultura canavieira. Ignorar certos impactos ambientais pode, no longo prazo, comprometer os resultados das empresas, se surgirem no mercado concorrentes ambientalmente melhor estruturados.

2.4 Comparação das tecnologias avançadas em desenvolvimento no Brasil com outras semelhantes em desenvolvimento no exterior: hidrólise de bagaço para obtenção de etanol

Na fase 1 do projeto CGEE (relatórios parcial e final, 2005) assim como no relatório parcial de esta fase 2, foram abordados aspectos relacionados às tecnologias de hidrólise, ao estado de desenvolvimento das mesmas, ao potencial de produção de etanol e as barreiras fundamentalmente tecnológicas que impedem a entrada em operação industrial destes processos.

Dedicou-se também especial atenção às matérias-primas de origem ligno-celulósica com maior potencial para operar um processo de hidrólise no Brasil que são: o bagaço excedente da produção de etanol (o excedente atual e o potencial) e os resíduos da colheita (folhas verdes e secas, ponteiros e toletes deixados no corte mecanizado), fração esta aqui chamada como palha e ainda não aproveitada.

Fez-se uma avaliação da tecnologia DHR: Processo de hidrólise ácida diluída de matérias ligno-celulósicas (bagaço e palha de cana-de-açúcar) em solvente aquo-orgânico para obtenção final de etanol combustível, por se tratar esta de uma opção tecnológica desenvolvida aqui no Brasil, e especificamente para bagaço e integrada às destilarias de etanol e por estar num estágio de desenvolvimento e experimentação em escala de demonstração.

Neste relatório serão abordados:

- O potencial do bagaço e a palha como matérias-primas agora de forma resumida;
- As bases da tecnologia DHR e os impactos positivos da mesma, assim como o estágio atual da mesma;
- Serão discutidas as alternativas de pré-tratamento, hidrólise enzimática, fermentação do licor de hidrólise e produção de etanol.

A tecnologia de hidrólise enzimática IOGEN será aqui discutida com maior detalhe por se tratar do único processo enzimático em estudo, que se encontra em estágio de demonstração e que tem publicada embora parcialmente, parte dos resultados obtidos até a data deste documento. O processo IOGEN aborda não apenas os fundamentos da conversão dos materiais celulósicos em açúcares fermentescíveis senão que apresenta um processo integral de transformação de um resíduo ligno-celulósico em bioetanol.

A inserção da hidrólise no contexto do setor sucroalcooleiro, isto quer dizer a integração entre a destilaria padrão proposta neste projeto e a implantação de uma unidade anexa à mesma para produção de etanol será apresentada neste estudo. Um modelo para implantar a hidrólise, em estágios (2015 e 2025), será proposto considerando entre outros:

- As tecnologias disponíveis e o grau de maturidade das mesmas, nos marcos considerados (2015 e 2025);
- O potencial de geração de excedentes de bagaço e palha para hidrólise e produção de energia;

- O atendimento das necessidades de vapor e energia elétrica para operar a destilaria convencional de etanol e a hidrólise, bem como a geração de energia elétrica excedente para comercialização;
- A operação combinada dos processos de forma que a destilaria, provida de facilidades adicionais realize a conversão dos licorosos de hidrólise e metanol associados aos processos de produção de etanol dos açúcares extraídos da cana;
- A operação de ambos os processos de forma sustentável, gerando o mínimo de efluentes, tratando os mesmos a fim de evitar impactos ambientais negativos e racionalizando o uso de água entre outros.

2.4.1 Características da matéria-prima: bagaço e resíduos da colheita

As matérias-primas de natureza ligno-celulósica remanescentes após corte, colheita e processamento de cana para obtenção de açúcar e etanol, apresentam grande potencial para seu emprego na obtenção de etanol (futuramente outros produtos) através da hidrólise das mesmas a uma mistura de açúcares redutores e posterior fermentação e recuperação do etanol por destilação.

O advento da cultura de cana para produção de etanol a partir dos açúcares extraíveis da cana vem gerando grandes excedentes de bagaço, com potencial de serem transformados em etanol e aumentar significativamente a oferta deste combustível sem exigir um aumento proporcional das áreas de plantio. Nesta nova condição, o aproveitamento da cana será integral.

Uma análise das características das fontes de matéria ligno-celulósica remanescente do processamento da cana o bagaço e os resíduos da colheita é primordial para atingir uma tecnologia de hidrólise específica para o setor sucroalcooleiro. No estágio atual as usinas de açúcar e destilarias não recuperam os resíduos da colheita que são em parte queimados no procedimento de despalha a fogo da cana, empregados como cobertura do terreno e incinerado o excesso no campo. Esta situação irá se modificar gradativamente em função da mudança nas práticas de corte e colheita, nas quais será eliminada a despalha a fogo em atenção a cronogramas de redução do impacto ambiental das queimadas.

Bagaço de cana-de-açúcar

O bagaço de cana-de-açúcar é a fração de biomassa resultante após os procedimentos de limpeza, preparo (redução através de jogos de facas rotativas niveladoras e desfibramento através de jogos de martelos oscilantes) e extração do caldo de cana (através de ternos de moagem ou de difusores).

O bagaço não é uma biomassa homogênea, apresentando variações em sua composição, assim como na sua estrutura morfológica e em função dos procedimentos de corte e de processamento industrial.

No que diz respeito a sua composição influem significativamente fatores tais como:

- A realização ou não da despalha a fogo (*queima do canavial*) prévio ao corte;

- Os procedimentos de colheita e carregamento com maior ou menor arraste de terra, areia e resíduo vegetal, tais como corte manual, mecânico, cana picada, corte incluindo o ponteiro etc.;
- O tipo de solo onde a cana é cultivada (latossolos, solos arenosos, outros);
- Os diferentes procedimentos de limpeza da cana: a seco por revolvimento em mesas, limpeza com arrasto por corrente de água, limpeza pneumática. Influem também a geometria e outros detalhes construtivos das mesas de revolvimento, assim como a relação de volume e de água aplicada por tonelada.

A Tabela 2.4.1-1 reproduz os resultados característicos segundo estudos conduzidos pelo ICIDCA.

Tabela 2.4.1-1: Composição do bagaço e da palha de cana-de-açúcar

Composição % (base seca)	Bagaço	Fibra	Medula	Palha
Celulose 46,6		47,7	41,2	45,1
Pentosanos 25,2		25,0	26,0	25,6
Lignina 20,7		19,5	21,7	14,1
Organosolúveis	2 - 3			3,5
Aquosolúveis	2 - 3			
Cinzas	2 - 3			8
Umidade 48	-52			9,7

Fonte: ICIDCA

A fração de matéria mineral é, em sua maior parte, resultante de impurezas minerais arrastadas na cana (terra e areia), o restante pode ser composto pelas cinzas constitutivas da planta e metais ferrosos e pesados de correntes do desgaste dos equipamentos de preparo e extração. A matéria mineral no bagaço pode oscilar entre 1,6 e 5,0 %.

Na composição da biomassa de cana existe um predomínio da holocelulose, seguido pela lignina.

Empregando os dados típicos apresentados por diversos autores é possível formular um **bagaço padrão** descrito na Tabela 2.4.1-2, com uma composição química que permite quantificar o potencial de aproveitamento do bagaço na hidrólise.

Tabela 2.4.1-2: Bagaço Padrão (composição calculada)

Componentes	%
Glicose 19,50	
Xilose 10,50	
Arabinose 1,50	
Galactose 0,55	
Lignina 9,91	
Organosolúveis 2,70	
Açúcares redutores	1,85
Ácidos urónicos	1,91
Cinzas 1,60	
Umidade 50,00	
Hexoses totais	20,04
Pentoses totais	12,00

Características das partículas presentes no bagaço e impacto das mesmas nos processos de sacarificação

O bagaço não apresenta morfologia e tamanho de partículas uniformes, distinguindo-se uma fração esponjosa e outra de fibras com elevada relação de esbeltez, existindo diferenças significativas na densidade aparente apresentada por estas frações. Estudos mais recentes distinguem três frações características no bagaço: casca, fibra e medula.

A medula é formada por partículas esponjosas que apresentam uma forma relativamente regular e um fator comprimento/largura próximo a um, podendo ser aproximadas a esferas.

A fração correspondente à casca é de tamanho bem maior apresentando-se como lâminas grosseiramente retangulares.

As fibras podem ser representadas como cilindros com um fator de esbeltez próximo a 50, sendo assemelhadas a cilindros de comprimento infinito.

O bagaço assim como suas frações apresentam baixas densidades aparentes.

Para a medula indica-se uma densidade aparente de 220 kg/m^3 , enquanto que para as fibras 520 kg/m^3 e para a casca 550 kg/m^3 . A densidade verdadeira do bagaço chega a um valor de 1470 kg/m^3 . Estes resultados vêm a confirmar as seguintes afirmações:

- A porosidade dos componentes do bagaço é considerável e deve ser levada em conta em qualquer estudo de pré-tratamento e sacarificação de bagaço independente da natureza do mesmo, considerando que as reações são heterogêneas envolvendo a interface sólido-fluido.

- A fração de medula apresenta uma densidade aparente de aproximadamente metade do valor da fibra. Isto influi levando a um aumento da relação massa de meio fluido para a massa de matéria ligno-celulósica durante pré-tratamentos e hidrólise, para manter o meio de reação fortemente agitado, que leva a um o licor final mais diluído.
- Influirá significativamente no desempenho das reações químicas envolvidas na hidrólise seja esta por catálise enzimática ou ácida, devido aos fenômenos de difusão de massa através da estrutura porosa. Também irá influir desfavoravelmente na separação das partículas mais finas não reagidas durante a hidrólise, que serão mais difíceis de separar através de diferenças de densidade.
- Atribui-se muita importância à morfologia das partículas de bagaço a efeitos de otimizar a hidrólise.
- Examinando a Tabela 2.4.1-1 pode-se comprovar que a fibra e a medula apresentam diferenças na sua composição química, sendo a primeira mais rica em celulose que é o polímero preferencial na conversão hidrolítica. A medula apresenta proporções maiores de hemicelulose e lignina. Estas diferenças de composição apontam uma vantagem comparativa para a fibra em relação aos rendimentos da hidrólise.

Palha de cana

Os resíduos da colheita constituídos pelas folhas verdes, folhas secas e o ponteiro da cana constituem também uma fonte de matéria prima ligno-celulósica.

Atualmente esta fonte não é aproveitada, porém, esta situação irá ser revertida em médio prazo, levando em conta que a legislação ambiental prevê a extinção gradativa da prática de despalha a fogo.

A composição aproximada deste resíduo para outras regiões cana vieiras e está descrita na bibliografia, porém não se dispõe de valores típicos característicos para Brasil, que poderão diferir dos apresentados na Tabela 2.4.1-1, que provém de determinações realizadas em Cuba.

A composição da palha apresenta certa semelhança com o bagaço no que diz respeito à celulose e hemicelulose. Difere no conteúdo menor de lignina que é aproximadamente 30% menor que o do bagaço ou as frações que o compõem e num maior teor de cinzas.

Não estão disponíveis dados de forma e tamanho da palha, porém, um exame visual da mesma mostra grande heterogeneidade, explicável pelo fato da mesma provir de várias frações da planta e não ter sido submetida a um preparo.

Quanto ao potencial de palha disponível, seguindo estudos feitos pelo CTC, dependendo dos procedimentos de colheita é possível recuperar um teor de biomassa seca equivalente a 14% da massa de cana (caules colhidos) entregue à Usina.

O potencial da palha como fonte para aumentar a oferta de biomassa ligno-celulósica, seja para processos hidrolíticos ou como fonte de energia primária

justifica um estudo aprofundado para conhecer composição e propriedades físicas e químicas da palha.

Disponibilidade de bagaço e palha para os processos hidrolíticos

A disponibilidade de bagaço está atrelada à eficiência energética da Usina. Atualmente o excedente de bagaço disponível para hidrólise ou outros usos, situa-se em 7 a 10% do bagaço total que é de aproximadamente 280 kg/tc. O restante do bagaço obtido no processamento da cana é empregado como combustível primário na geração de vapor e energia elétrica. Esta condição se dá em Usinas com destilaria anexa e que operam ciclos de geração de vapor e energia com níveis de pressão de 21 bar.

Em destilarias autônomas que são a base de produção considerada neste estudo, excedentes de bagaço da ordem de 50% do bagaço total (280 kg por tonelada de cana) podem ser atingidos através de otimização do sistema de produção de vapor e energia, operando com geração de vapor na pressão de 65-90 bar e empregando turbinas e geradores de alta eficiência.

Soma-se a isto uma estimativa obtida dos estudos realizados sobre recuperação de palha que estimam uma adicional recuperável de biomassa ligno-celulósica estimada em 140 kg por tonelada de cana e expresso em *bagaco equivalente*.

Potencial de transformação do bagaço em açúcares redutores e etanol

A transformação estequiométrica do bagaço para drão, e seu potencial máximo de produção de etanol são apresentados na figura 9, onde são considerados unicamente os açúcares redutores potencialmente recuperáveis das hemicelulose e a celulose.

Para quantificar o potencial do bagaço para produção de etanol em função do avanço da tecnologia de hidrólise e estabelecemos seis cenários que incorporam gradativamente aumentos da eficiência de conversão de hexoses e pentoses para hidrólise catalisada por ácidos diluídos e por enzimas e a fermentação das pentoses a etanol.

Para traçar estes cenários empregamos os dados de performance das tecnologias de hidrólise publicados.

Os cenários propostos são:

- [1] Pré-tratamento e hidrólise ácida diluída com aproveitamento das hexoses, no estágio tecnológico atual.
- [2] Pré-tratamento e hidrólise ácida diluída com aproveitamento das hexoses e otimização da reação de hidrólise aos melhores valores atingidos, reportados na literatura.
- [3] Pré-tratamento e hidrólise ácida diluída com aproveitamento das hexoses e pentoses, otimização da reação de hidrólise aos melhores valores atingidos, reportados na literatura.
- [4] Pré-tratamento e hidrólise enzimática com aproveitamento das hexoses, no estágio atual da tecnologia.

[5] Pré-tratamento e hidrólise enzimática com aproveitamento das hexoses e pentoses, com a tecnologia otimizada.

Tabela 2.4.1-3: Potencial de transformação do bagaço em etanol (litros/tonelada de bagaço)

Cenário	Conversões previstas	Etanol Hexoses	Etanol Pentoses	Etanol Total
[1]	Hexoses: 60% - fermentação: 89% Pentoses: 70% - fermentação: 0% Destilação: 99,5%	69,10		69,1
[2]	Hexoses: 80% - fermentação: 91% Pentoses: 78,5% - fermentação: 0% Destilação: 99,75%	94,20		94,2
[3]	Hexoses: 80% - fermentação: 91% Pentoses: 85% - fermentação: 50% Destilação: 99,75%	94,237,2		132,2
[4]	Hexoses: 85% - fermentação: 89% Pentoses: 70% - fermentação: 0% Destilação: 99,5%	970		97
[5]	Hexoses: 95% - fermentação: 91% Pentoses: 85% - fermentação: 50% Destilação: 99,75%	111,437,9		149,3

Tomando como referência uma tonelada de bagaço *in natura*, o impacto da introdução dos processos hidrolíticos se faz evidente. Inicialmente com uma tecnologia medianamente otimizada se consegue uma produção de etanol de 69,1 litros.

Através de otimização dos processos de sacarificação irá se atingir de 94,2 a 97 litros. Venida a batida da fermentação alcoólica das pentoses será possível atingir de 132,2 a 149,3 litros por tonelada de bagaço.

2.4.2 Processo DHR - Processo de hidrólise ácida diluída de matérias ligno-celulósicas (bagaço e palha de cana-de-açúcar) em solvente aquo-orgânico para obtenção final de etanol combustível.

Este processo em desenvolvimento pela Dedini Indústrias de Base e outros, para realizar a transformação do material ligno-celulósico e em seus carboidratos monômeros se baseia na dissolução da lignina e em solvente aquo-orgânico para rompimento do arranjo fortemente cristalino da celulose, combinada com a hidrólise química de hemi-celulose e celulose catalisada por ácido diluído.

Este processo *organosolv* pode ser combinado a ambos os processos de hidrólise: aqueles catalisados por ácidos ou por enzimas. A Dedini prioriza a hidrólise ácida, por se tratar de uma tecnologia já testada industrialmente, embora em outras condições mais desfavoráveis que levam a baixos rendimentos e elevado consumo energético. A flexibilidade deste processo permite integrá-lo a outras tecnologias:

- Pré-tratamento e hidrólise por ácidos simultânea (tecnologia em teste);
- Pré-tratamento seguido de um estágio de hidrólise ácida;
- Pré-tratamento seguido de um estágio de hidrólise enzimática

Para demonstrar este processo foi instalada uma unidade de desenvolvimento de processos — UDP, com capacidade de processar 2000 kg/hora de bagaço.

O processo se caracteriza pelo emprego de um solvente aquo-orgânico que dissolve eficientemente a lignina, expondo a celulose a um ataque mais efetivo pelo ácido.

Numa combinação adequada de altas temperaturas e curto tempo de reação consegue-se que a sacarificação ocorra rapidamente. Vários solventes foram testados, porém o baixo custo e a disponibilidade de etanol levaram à escolha de uma mistura de aproximadamente 75 % de etanol e 25% de água, que apresenta bom desempenho de dissolução. O processo foi testado inicialmente numa unidade de bancada (20 kg/h de bagaço) obtendo-se resultados animadores (Tabela 2.4.2-1).

Tabela 2.4.2-1: Desempenho do processo DHR em escala piloto

Rendimento global máximo, em ART (açúcar redutor Total)	54%
Rendimento após a estabilização em ART	59%
Rendimento máximo de fermentação	89%
ART máximo, não hidrolisado	80 g/l

Em decorrência disto desenvolveu-se o projeto conceitual de uma instalação industrial, anexa a uma usina de açúcar e álcool, e uma avaliação econômica, que se revelou viável, com amplo mercado, baixo risco comercial, embora ainda sujeito a elevados riscos tecnológicos. Por causa destes riscos, decidiu-se implantar a Unidade de Desenvolvimento de Processo (U.D.P.).

É importante destacar que nesses estudos usaram-se bases conservadoras, utilizando os rendimentos de **sacarificação** obtidos na piloto somente com as **hexoses**, ou seja, considerando extrair apenas **100 litros de álcool por tonelada de bagaço**.

Basicamente, os três parâmetros com maior influência no custo de produção são:

- Preço do bagaço;
- Rendimento álcool/bagaço;
- Custo do solvente.

Etapas do Processo DHR

A Figura 2.4.2-1 esquematiza a versão instalada do processo DHR, cujas etapas são descritas em seqüência:

O bagaço requer operações físicas para remoção de matéria mineral inerte: terra, areia, partículas magnéticas, material estranho. Requer também a separação de frações por tamanho para melhor eficiência no pré-tratamento e na hidrólise.

O pré-tratamento do material e a hidrólise são realizados simultaneamente num reator contínuo.

O resfriamento rápido do licor *organosolúvel* permite controlar as reações secundárias de decomposição das pentoses a furfural e das hexoses a 5-hidroximetilfurfural etc.

Uma destilação separa o etanol no topo, e este retorna ao processo. A lignina precipita à medida que a fase orgânica vai diminuindo seu teor em etanol, sendo recolhidos no fundo um licor de hidrólise com os açúcares e a lignina. A matéria em suspensão (predominância lignina) é removida do licor para não interferir na fermentação.

Nesta primeira versão do processo DHR o licor de hidrólise é fermentado junto com o mosto de caldo, xarope e mel da Usina, dispensando tratamentos de remoção de produtos secundários da hidrólise que inibem a fermentação.

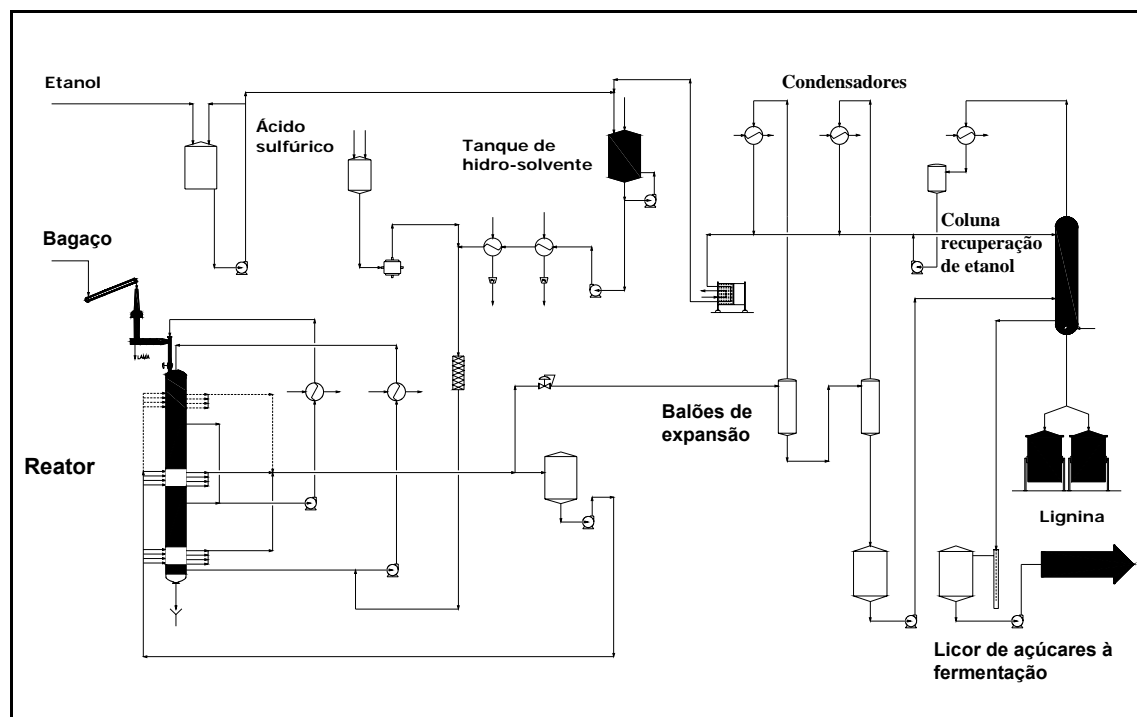


Figura 2.4.2-1: Fluxograma simplificado do processo DHR

Dados Operacionais

- Operação contínua por períodos acima de 24 horas.

- Alimentação de bagaço (umidade 50%): 850-2000 kg/h
- Vazão de solvente *organosolv* (60% etanol; 40% água (m/m): 5 m³/h)
- Pressão de operação no reator: 20 bar
- Temperatura de reação: 180°C
- Tempo de reação: 10-12 min
- ART (hexoses, pentoses e outros redutores) segundo SOMOGI E NELSON: 1,5-2,5%.
- Rendimentos atingidos (até 2006): 55-60% (descontada a fração de bagaço não retida no reator)

Resultados parciais atingidos na UDP

O projeto, implantação e operação da unidade têm permitido atingir resultados animadores no que diz respeito à expectativa de atingir uma tecnologia comercial.

Foi atingida nesta primeira fase a demonstração de operação do processo através do qual se consegue a hidrólise do material lignocelulósico em tempos relativamente muito mais curtos (maiores produtividades) comparados com os outros processos que já operaram ou aquelas que estão em estágio de desenvolvimento.

A UDP operou de forma contínua, estável e em sintonia entre os diversos módulos que compõem o processo.

Metas a atingir na operação futura

- Otimização da reação de hidrólise *organosolv* para atingir rendimentos de conversão de ART acima de 65% e otimização energética;
- Otimização da configuração de reator de hidrólise para máxima retenção de sólidos em suspensão, conversão de hexoses e minimização das reações de destruição das pentoses e hexoses geradas. Adequação dos equipamentos periféricos e dos processos envolvidos na UDP;
- Levantamento dos dados de processo para projeto de uma unidade industrial pioneira de 60.000 litros/dia;
- Desenvolvimento dos materiais de construção e soluções de projeto mecânico para os equipamentos, componentes, tubulações e acessórios da unidade, a fim de resolver problemas associados à corrosão, abrasão e operação com sólidos em suspensão e solvente hidroalcolico a elevadas temperaturas e pressões;
- Estabelecer as condições operacionais para efetuar a fermentação alcoólica da fração de hexoses contida no licor hidrolítico misturada com mostos de cana de açúcar no curto prazo e fermentação de licor hidrolítico com o única fonte de carbono em médio prazo.

Processo IOGEN

IOGEN Corporation, Ottawa, Canadá instalou a primeira unidade de demonstração de um processo de hidrólise catalisada por enzimas, com capacidade para produzir até 7600 litros por dia de etanol.

A projeção é de ampliar este processo para uma unidade comercial de 45 bilhões de litros por ano, assim que a tecnologia for demonstrada.

As bases do processo são mostradas na Figura 2.4.2-2.

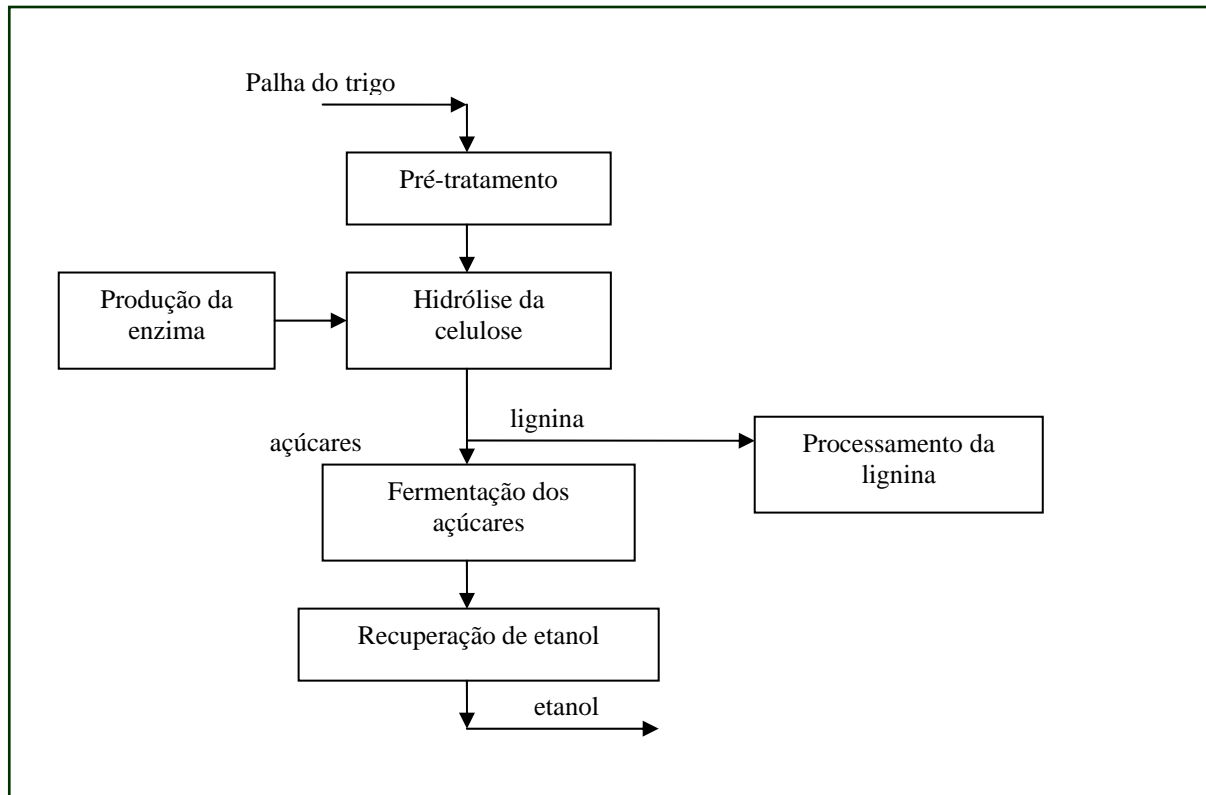


Figura 2.4.2-2: Processo IOGEN

A matéria-prima de partida é a palha de trigo, que é um resíduo remanescente dessa cultura. Este material, ligno-celulósico, passa por um processo de pré-tratamento para abrir a estrutura ligno-celulósica, lignificar o material, hidrolisar as pentoses e atingir uma catálise enzimática mais eficiente.

IOGEN emprega a explosão com vapor (craqueamento), realizada a alta pressão, temperatura de 180-200°C e com adição de 0,5-2% de ácido sulfúrico (referido à biomassa seca). O tempo de tratamento varia entre 0,5 e 2 minutos dependendo do material ligno-celulósico a processar.

O estágio de hidrólise da celulose é realizado empregando celulase produzida na própria IOGEN.

A biomassa pré-tratada que se apresenta com consistência de pasta é suspensa em água até um teor de 5-15% de sólidos totais. O pH é ajustado a 5,0 e a temperatura a 50°C. O reator de hidrólise (processo em batelada) tem uma

capacidade útil de 750 m³. Como agente catalisador empregam-se 100 litros de preparado de celulose bruto por tonelada de celulose a sacarificar.

A batelada é agitada nas condições de reação durante 120-170 horas, durante as quais a suspensão vai diminuindo sua consistência, atingindo-se de 90 a 98% de conversão da celulose e ficando praticamente apenas a lignina em suspensão.

O licor remanescente no fim da reação contém glicose, galactose, xilose, arabinose e outros compostos solúveis.

O resíduo insolúvel contém a lignina (predominante) e a fração de celulose sem reagir. O resíduo é removido do licor mediante operações físicas de filtração e lavagem.

O licor é submetido em uma fermentação alcoólica, feita em dornas agitadas. IOGEN optou por empregar *Saccharomyces cerevisiae* como agente de fermentação, por se tratar este de um organismo reconhecidamente eficiente para fermentação industrial de açúcares reductores (hexoses) a etanol. Segundo a IOGEN, as pentoses também serão fermentadas em uma etapa, empregando uma linhagem geneticamente modificada de *Saccharomyces cerevisiae* desenvolvida na Universidade de Purdue, capaz de metabolizar as mesmas a etanol.

O processo rende aproximadamente 283,5 litros de etanol por tonelada de palha de trigo (base seca).

A enzima celulase é produzida diretamente na IOGEN, que já tem tecnologia e equipamentos apropriados por ser um fabricante tradicional de enzimas industriais (principalmente amilases para sacarificação de grãos de cereais).

O processo de fabricação da celulase é por fermentação aeróbica, submersa empregando uma linhagem do fungo *Trichoderma* que quando cultivado em presença de uma fonte de carbono, nitrogênio e fósforo, fatores de crescimento complexos como água de maceração do milho e saís, excreta um complexo de enzimas que constitui a celulase. Com o fonte de carbono para multiplicação do microorganismo se emprega a glicose e para induzir a produção de enzimas, uma vez esgotada se adicionam celobiose, lactose ou oligômeros de glicose.

O processo é realizado em fermentadores com agitação e aeração, em condições assépticas a 30°C e pH 4-5. A fermentação se completa em aproximadamente 170 horas. O vinho final desta fermentação depois de retirada a biomassa e sem outros tratamentos (apenas adição quando necessário de benzoato de sódio com o preservativo para estocagem) é empregado na hidrólise do material ligno-celulósico.

Informações complementares do Processo IOGEN, obtidas em entrevista com técnicos da IOGEN

Complementando as informações publicadas sobre este processo obtivemos algumas outras, relacionadas com o desempenho, o estado da arte e o grau de maturidade do processo IOGEN, desde o ponto de vista de chegar a se tornar uma tecnologia comercial. As mesmas foram obtidas durante uma visita técnica realizada à sede da IOGEN (VALENÇA, G.P, ABRIL, 2006).

Inicialmente estava prevista uma visita à unidade piloto, que não se realizou, pois foi argumentado que a unidade estava parada para manutenção, ficando apenas reduzida a uma apresentação por parte da IOGEN e posterior discussão.

Pré-tratamento

O pré-tratamento adotado é a explosão com vapor, porém não como inicialmente descrito (processo IOTECH). IOGEN utiliza impregnação com ácido sulfúrico diluído.

Isto vem confirmar as conclusões já obtidas por outros, segundo as quais a explosão com vapor é de baixa eficiência e o material resultante é atacado apenas parcialmente pelas enzimas, não se obtendo os rendimentos esperados e sendo as taxas de conversão do material celulósico em açúcares redutores muito baixas.

Em princípio, embora a quantidade de ácido provavelmente seja menor daquela que os processos catalisados por ácidos em pregam, vem a enfraquecer o argumento de que a hidrólise ácida libera sulfatos e resíduos sólidos de gesso, em comparação com os processos enzimáticos que se posicionam como menos agressivos ao meio ambiente.

Sacarificação Enzimática

A reação é feita a pH 5,0 e 50°C, sendo que o tempo de sacarificação é de 96 horas, para atingir rendimentos segundo eles de 99% de conversão.

Com essa produtividade tão baixa os volumes de reator são muito elevados, a quantidade de enzima a empregar é relativamente elevada e não pode ser reciclada ao processo.

Estes números são indicativos de que o processo não é viável no estágio atual da tecnologia.

Também é importante levar em conta que a operação a pH 5,0 e 50°C irá levar a necessidade de reatores em aço inox 304.

Fermentação destilação

A IOGEN informou que obtém um vinho final de 6°GL. Isto é indicativo da presença de inibidores semelhantes aos que se formam nos processos catalisados por ácidos (não podemos afirmar se quantitativamente maiores ou menores quantidades) e que estão empregando o recurso de diluir o licor hidrolítico com mostos de outras matérias-primas, a fim de reduzir o impacto negativo dos inibidores.

É muito provável que eles estejam fermentando o licor combinado com mosto de ART da fermentação de matérias-primas de cereais. E que, no momento, estejam descartando a fermentação das pentoses, pois não possuem ainda um microrganismo capaz de fazer a transformação em nível de operação piloto.

Conclusões

Por enquanto a IOGEN não tem um processo comercial para sacarificação enzimática e produção de etanol de resíduos ligno-celulósicos.

A produtividade das enzimas é um dos pontos críticos que limitam a aplicabilidade desta tecnologia.

Quanto a custos de produção, investimentos e participação das matérias-primas no custo não disponibilizaram informações.

IOPEN vem trabalhando ativamente no desenvolvimento deste processo, não apenas no desenvolvimento da enzima celulase, senão que de uma forma integrada, envolvendo pré-tratamento da matéria prima, sacarificação, fermentação e recuperação de etanol, integração com uma destilaria de produção de álcool de cereais, melhoramento da eficiência da celulase e desenvolvimento de uma rota fermentativa para transformação das pentoses em etanol.

Atualmente a IOPEN conta com uma forte participação da PetroCanada e da Shell.

Comentários sobre o estágio tecnológico dos processos avaliados

O desenvolvimento do processo DHR vem registrando avanços desde o ponto de vista de desenvolvimento de uma instalação industrial para sacarificar bagaço no que diz respeito a:

- Pré-tratamentos do bagaço;
- Alimentação forçada de bagaço
- Materiais de construção
- Abrasão e corrosão relacionadas às condições de hidrólise.

O ataque do material ligno-celulósico através de tecnologia *organosolv*, empregando uma mistura de etanol com água, foi comprovado e se mostra eficiente, procedendo à reação em tempos relativamente curtos. No caso de pré-tratamento com hidrólise ácida simultânea este tempo de reação é de 5-10 minutos.

Também foi provada a operação contínua de todo o processo incluindo, pré-tratamento, sacarificação, recuperação do licor e do solvente e separação da lignina.

Todavia ainda não existe a comprovação do rendimento, o balanço energético e a viabilidade econômica de produção de etanol por este processo.

Enquanto ao processo IOPEN, o mesmo também está sendo testado numa escala de demonstração, sendo que estágios como o pré-tratamento, a sacarificação enzimática e a produção da enzima foram demonstradas.

Os principais entraves seguem sendo:

- O elevado custo da enzima, devido à baixa produtividade da mesma, que pesa significativamente na formação do custo de produção de etanol pela hidrólise enzimática;
- O elevado consumo energético (vapor de processo e energia elétrica) associado ao processo.

Examinando as informações disponíveis conclui-se que a IOGEN ainda não tem uma solução disponível para transformação das pentoses em etanol.

Os licores hidrolíticos finais possuem um título muito baixo de ART, levando a um consumo energético elevado.

O rendimento declarado de 283,5 litros de etanol por tonelada de palha de trigo (base seca) é uma projeção ainda não atingida na prática.

A eficiência de conversão de hexoses pela via enzimática atende as expectativas e o avanço desta tecnologia depende fundamentalmente de um aumento da produtividade do complexo de celulase.

Processos tais como a sacarificação e fermentação simultânea estão bastante longe de poder serem levados à prática industrial. A IOGEN descarta o emprego dos mesmos em curto prazo.

Outros Processos de hidrólise enzimática em estudo

Outros processos de hidrólise enzimática estão sendo objeto de estudo no mundo. Na fase 1 deste projeto foi abordado o estágio tecnológico dos mesmos assim como o potencial para serem empregados, integrais ou parcialmente, numa tecnologia capaz de transformar o bagaço de cana em etanol. Estes processos, em geral, estão sendo estudados em escala menor.

Os assuntos específicos que estão sendo tratados e cujo maior ou menor avanço será determinante para atingir um processo comercial de hidrólise são:

- Determinação das propriedades físicas, químicas do material ligno-celulósico a fim de otimizar os pré-tratamentos e a conversão a açúcares redutores;
- Pré-tratamentos do material ligno-celulósico a fim de desestruturar a matriz celulose-hemicelulose-lignina e acelerar a catálise enzimática, minimizando a geração de inibidores de fermentação e produtos que desativam a celulase.
- Produção de um complexo enzimático de alta produtividade e de transformação da celulose em ART a baixo custo;
- Desenvolvimento de reatores para sacarificação e rotas de sacarificação separada ou associada à fermentação alcoólica;
- Processos de remoção de inibidores da fermentação alcoólica resultante do pré-tratamento do resíduo e fermentação do licor de hidrólise;
- Desenvolvimento da fermentação das pentoses a etanol;
- Otimização energética do processo de hidrólise.

2.4.3 Inserção da hidrólise do bagaço anexa à destilaria de produção de etanol para aumentar a oferta de etanol

Estabelecemos um modelo para integrar a hidrólise de bagaço junto a Destilaria padrão (12000 toneladas de cana por dia de moagem) empregando os excedentes de bagaço como matéria-prima. O modelo considera a supressão do despalha e a foga do canavial, o corte e a colheita mecanizada da cana e a recuperação parcial

da palha e resíduos de colheita, levando em consideração que para a data de introdução da hidrólise estas tecnologias estarão disponíveis.

Para a introdução de hidrólise comercial foram estabelecidos dois cenários 2015 e 2025, um cenário de introdução da hidrólise com uma primeira versão da tecnologia que permite rendimentos de recuperação de açúcares reduzidos com valores intermediários. São aproveitadas unicamente as hexoses, por não se dispor ainda, nessa data, de uma tecnologia de fermentação de pentoses (demonstrada) que transforme em etanol. Neste cenário a tecnologia empregada poderá ser tanto um processo ácido otimizado (hidrólise catalisada por ácidos diluídos em dois estágios e empregando reatores em contracorrente ou hidrólise ácida *organosolv*) ou hidrólise enzimática, correspondendo aos cenários [2] e [4] descritos na discussão acima referente ao potencial do bagaço para produção de etanol. Já no marco de 2025, o processo estaria otimizado a um grau que permitiria altas conversões de substrato, aproveitamento das pentoses e catálise enzimática. Esta condição corresponde ao cenário [5] na Tabela 2.4.3-1.

O modelo em estudo considera uma unidade anexa à destilaria que sacarifica o bagaço a um licor rico e em ART e a purificação e concentração deste licor. A fermentação, destilação e desidratação de etanol serão realizadas na destilaria que produz etanol de açúcar de cana segundo o processo convencional.

Com o propósito de estabelecer as condições para operar a hidrólise foi realizado um estudo preliminar a fim de estabelecer a disponibilidade de bagaço e palha para operar o conjunto em nas duas situações.

O estudo envolveu entre outros os seguintes:

- Expectativas de recuperação de palha para os dois cenários;
- Demandas de vapor de processo para a operação da fermentação, destilação, retificação, desidratação e concentração de vinhoto;
- Projeção das demandas de vapor de alta pressão no processo e para geração de energia elétrica;
- Maximização da produção de energia elétrica e da geração de excedentes de bagaço pela destilaria.

Os resultados deste estudo para ambas as situações nos levaram a optar por um processo de hidrólise que opera junto com a destilaria e unicamente durante a Safra. A Figura 2.4.3-1 resume os dados mais importantes destes cenários.

Sobre este modelo foram realizados os estudos relacionados à demanda de insumos, investimentos, custos de produção e outros. O estudo que é preliminar não se esgota aqui, sendo que o mesmo abrirá espaço para um detalhamento maior, assim como para a necessidade de dimensionar e avaliar alternativas, assim como para, futuramente, confrontar este modelo com outros alternativos.

Também a fim de simplificar optou-se em ambos os cenários considerados dimensionar a hidrólise para um processo enzimático que permite comparar os dois cenários em discussão (um estudo semelhante considerando a hidrólise ácida poderá ser realizado oportunamente), a fim de analisar o impacto entre outros de:

- Ganhos de escala
- A geração de maiores excedentes de bagaço;
- O aumento da eficiência de conversão de bagaço em etanol;
- O impacto dos avanços tecnológicos, tais como: diminuição do custo da enzima, introdução da fermentação das pentoses, operação com ciclos de geração de vapor e energia elétrica mais eficiente;
- Atender expectativas de sustentabilidade ambiental tais como: mínima captação de água para o processo e geração de efluentes.

Futuramente também, o modelo aqui proposto poderá ser confrontado com alternativas de integração com a Destilaria, do processo e as tecnologias adotadas e mesmo para comparar com propostas de hidrólise de resíduos ligno-celulósicos a partir de outras matérias-primas diferentes do bagaço.

Processo de hidrólise considerado - memorial descritivo sumarizado

A Figura 2.4.3-1 apresenta as etapas do processo de hidrólise proposto neste estudo e sua integração com a Destilaria Padrão do projeto Etanol.

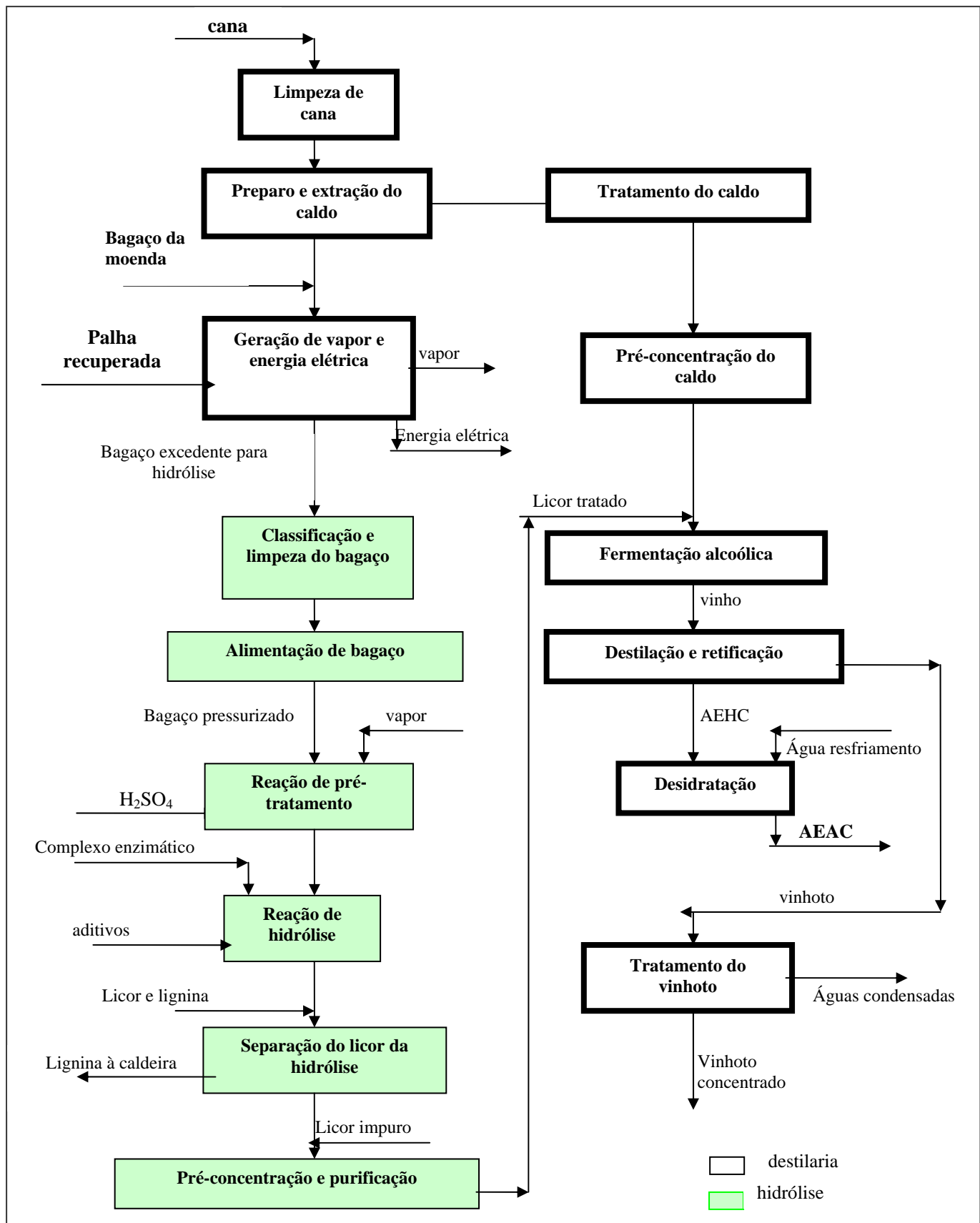


Figura 2.4.3-1: Processo de hidrólise anexo à destilaria padrão

A tecnologia aqui empregada se fundamenta na proposta da IOGEN atualmente em demonstração em Unidade Piloto, adaptada a nossa matéria prima e ao *modus*

operandi de uma destilaria de Etanol de Cana-de-açúcar. A tecnologia já descrita com maior detalhamento no anterior relatório parcial da fase e apresentada também neste relatório (Figura 2.4.2-2) se baseia no pré-tratamento com vapor e ácido sulfúrico do material ligno-celulósico, sacarificação deste material pré-tratado em suspensão aquosa e em pregando um preparado enzimático bruto. O licor resultante da sacarificação é fermentado associado a mostos provenientes da sacarificação de amidos e em seqüência submetido à destilação, retificação e desidratação final.

O Processo estabelecido para a hidrólise de bagaço considera uma unidade de retirada de bagaço da destilaria, pátio de estocagem, equipamento de movimentação de bagaço, limpeza para remoção de matéria mineral, classificação do bagaço em frações e transporte até o sistema de pré-tratamento. Na seqüência o bagaço sofre o processo de pré-tratamento, num reator contínuo onde é impregnado com ácido sulfúrico é submetido à ação do vapor de alta pressão (30 Bar) e posterior expansão espontânea (*steam-explosion*). O bagaço após este pré-tratamento de deslignificação é suspenso em água (aproximadamente a 5% de sólidos em suspensão), incorporado ao meio preparado de enzima celulase é sacarificado em reatores agitados em batelada, até a conversão de celulose em ART.

O licor com aproximadamente 3-6% de ART fermentescível (inicialmente das hexoses) é tratado para remoção de matéria em suspensão, pré-concentrado e enviado a destilaria onde é misturado com mosto resultante da concentração do caldo de cana. O mosto composto de açúcares da cana e açúcares provenientes da hidrólise é fermentado pelo processo convencional, destilado, retificado e desidratado.

Tabela 2.4.3-1: Parâmetros operacionais da hidrólise anexa à destilaria

	2015	2025
Pré-tratamento	Explosão com vapor e adição de H ₂ SO ₄	
Sacarificação enzimática	48 horas de reação	24 horas de reação
Licor final pré-concentrado para fermentação	25% 29%	
Fermentação das pentoses	não	Sim
fermentação	Contínua ou batelada junto com o mosto da destilaria	
Destilação, retificação e desidratação	Destilação múltiplo efeito e peneiras moleculares	
Etanol produzido (m ³ /dia)	151	381
Concentração térmica do vinhoto em 6 estágios	50% do volume inicial	33% do volume inicial
Vinhoto final (m ³ /m ³ etanol)	5	3
Vinhoto final (m ³ /dia)	730	1080
Lignina produzida como bagaço equivalente (ton/dia)	685 1088	

O vinhoto final independente de se originar dos açúcares da cana ou da hidrólise é concentrado termicamente para reduzir seu volume (em 50% no cenário de 2015 e 33% de seu volume em 2025). As águas condensadas resultantes da concentração do caldo e do licor são empregadas no estágio de sacarinação do bagaço, minimizando o consumo de água e a geração de efluentes líquidos.

Tabela 2.4.3-2: Parâmetros operacionais da hidrólise anexa à destilaria

	2015	2025	
Moagem total	2.000.000 toneladas/safra	2.000.000 toneladas/safra	
Moagem diária	12.000 toneladas de cana	12.000 toneladas de cana	
Dias de safra	167	167	
Excedente de bagaço e palha com bagaço equivalente	47,48% 76,03%		
Bagaço para hidrólise	268.350 toneladas/safra	462.451 toneladas/safra	
Etanol do processo convencional (m ³ /safra)	182.000 87,83%	185.000 74,43%	
Etanol da hidrólise (m ³ /safra)	25228 12,17%	63542 25,57%	
Etanol total (m ³ /safra)	207228 100,00%	248542 100,00%	
Vapor do processo (2,5 bar) destilaria (kg/tc)	353 72,91%	372 71,79%	
Vapor de processo (2,5 bar) etanol de hidrólise (kg/tc)	131 27,09%	146 28,21%	
Total (kg/tc)	484 100,00%	518 100,00%	
Energia elétrica para a destilaria (kWh/tc)	28 29,48%	28 27,34%	
Energia elétrica para a hidrólise (kWh/tc)	17,65 18,58%	19,68 19,22%	
Excedente de energia elétrica (kWh/tc)	49,34 51,94%	54,71 53,43%	

A Tabela 2.4.3-2 apresenta os parâmetros operacionais do modelo proposto. Operando a hidrólise junto com a safra é possível através de um sistema de geração de vapor e produção de energia elétrica criar o máximo de excedente do bagaço disponível na cana e da palha recolhida, para hidrólise, suprir a demanda de vapor de processo e energia elétrica necessária para operar a produção de etanol dos açúcares extraíveis da cana e de aqueles produzidos a partir da hidrólise de bagaço. Ainda como apresentado na figura em ambos os cenários é gerada simultaneamente uma quantidade considerável de energia elétrica para a rede.

Bases do Modelo

A unidade de hidrólise é fundamentalmente dedicada à produção do licor de açúcares redutores. As operações de concentração térmica, fermentação alcoólica, destilação, etc. são realizadas na destilaria convencional. Isto significa que o modelo proposto utiliza a tecnologia de sacarificação e fermentação em separado. Considera-se que este modelo é o que mais se ajusta à condição de hidrólise associada a uma destilaria de etanol de cana-de-açúcar. Argumentos como o fato de ter sido provado em laboratório, em preparar uma tecnologia de fermentação dominada no Brasil e se adaptar com o mínimo de modificações e incorporações reforçam a consistência desta opção. Em contraposição a o mesmo existem as alternativas de sacarificação e fermentação simultânea e de microrganismos que tem potencial de bio-sintetizar as enzimas sacarificantes e simultaneamente produzir etanol.

Estas tecnologias alternativas ao nosso modelo, no estágio de desenvolvimento atual e considerando as informações disponíveis sobre as mesmas, não apresentam um grau de maturidade para serem inseridas agora nos cenários em estudo. Os processos simultâneos de hidrólise e fermentação são incompatíveis com a fermentação alcoólica convencional praticada em nossas destilarias. Os resultados apresentados pelos que defendem estas estratégias foram obtidos unicamente em laboratório e são preliminares, não havendo informações complementares de balanços de massa e energia e de parâmetros de desempenho.

A unidade de hidrólise proposta aqui não possui um parque de utilidades (vapor, energia elétrica, águas e efluentes) estes são providenciadas pela destilaria padrão.

Também não produz a enzima celulase por uma questão de escala inadequada, adquire este preparado bruto de uma unidade autônoma localizada estrategicamente que produz a celulase para várias unidades de hidrólise. A celulase é produzida por fermentação aeróbica seguindo o protocolo básico de produção descrito pela IOGEN se obtendo após os estágios de separação e remoção de material em suspensão, um preparado que contém a enzima é um conservante, para uso direto na etapa de sacarificação.

Na apuração de custos o vapor e a energia elétrica necessária para atender a unidade de hidrólise, que são providenciados pela Destilaria, são computados aos valores de mercado (R\$ 10,00 a tonelada de vapor e R\$ 120,00 o MWh de eletricidade) propostos pelo CTC.

O investimento adicional da evaporação de caldo, assim como os custos operacionais da mesma são atribuídos à unidade de hidrólise, pois os mesmos são decorrentes da necessidade de adequar o licor de hidrólise as condições necessárias para ser incorporado no processo de produção de etanol da destilaria. O aumento de capacidade da fermentação, destilação, retificação, desidratação, tratamento do vinhoto e estocagem de etanol são levados em conta na apuração dos investimentos da unidade de hidrólise.

Custos e investimentos associados à produção de etanol de bagaço

A Tabela 2.4.3-3 apresenta o custo dos insumos, os investimentos e a formação do custo do etanol de bagaço para os cenários de 2015 e 2025 respectivamente.

Tabela 2.4.3-3 Custo de produção do etanol da hidrólise

	2015		2025	
Valor do bagaço	R\$ 17,20 por tonelada		R\$ 17,20 por tonelada	
Processamento do bagaço	268 mil toneladas/ano		426 mil toneladas/ano	
Estimativa dos Investimentos envolvidos	124 milhões de reais		133 milhões de reais	
Item	Valor unitário (R\$/t bagaço)	Participação (%)	Valor unitário (R\$/t bagaço)	Participação (%)
Obras civis	0,48	0,33	0,50	0,45
Equipamentos 80,69		56,10	52,45	46,94
Mão de obra	4,22	2,93	2,65	2,37
Insumos 50,97		35,44	46,26	45,61
Outros 7,47		5,19	5,18	4,64
Custos de processamento do bagaço	R\$ 143,82/tonelada		R\$ 107,01/tonelada	
Custo de produção do etanol	R\$ 1,53/litro		R\$ 0,72/litro	

Examinando os valores estimados para o modelo proposto, nota-se uma forte influência do montante de investimentos na formação de custo de processamento de bagaço. A importância dos mesmos diminui assim que aumenta o fator de escala, quando se passa da capacidade prevista em 2015 para 2025.

Quanto a estes investimentos e equipamentos compõem a maior parte do montante, sendo que os relacionados à unidade de sacarificação são os que mais pesam (80%) e deverão ser examinados e aprimorados sistematicamente a fim de incorporar inovações tecnológicas que impliquem em redução dos valores envolvidos.

O impacto da melhoria de tecnologia que se traduzir numa redução dos investimentos em equipamentos, por exemplo, o desenvolvimento de enzimas mais produtivas ou um processo de pré-tratamento do bagaço mais eficiente virão incidir fortemente na diminuição do valor destes investimentos. Comparando o valor quando se passa de 2015 a 2025, o aumento, pouco significativo do mesmo, mostra o forte impacto dos ganhos de produtividade de correntes da redução do tempo de reação (Tabela 2.4.3-3) sobre os investimentos.

A formação do custo do etanol indica uma forte contribuição dos investimentos em capital fixo, sendo está bem maior que nos estudos de custos apresentados por outros autores.

O motivo da forte incidência se deve ao fato da unidade operar unicamente durante a safra (167 dias) enquanto que as estimativas técnico-econômicas apresentadas na bibliografia são todas operando 330 dias. A necessidade de operar apenas 167 dias é decorrente de gerar maior excedente de bagaço e gerar simultaneamente o máximo de energia elétrica. Também estas estimativas empregam escalas de produção bem maiores que as propostas neste modelo. Considerando que este modelo está fundamentado numa destilaria otimizada para um raio de transporte de cana, em princípio nos parece difícil justificar escalas maiores em termos de transporte de cana e recolhimento de palha.

A formação do custo foi traçada num preço base de R\$ 17,20 para a tonelada de bagaço, e este fator incide significativamente no custo dos insumos. Este valor conservador nos parece representativo considerando que não estão ainda disponíveis estimativas confiáveis para o custo da palha colocada na usina.

O Modelo proposto compra a energia elétrica e o vapor de processo da Usina. Novamente aqui o custo da energia elétrica pesa fortemente na formação do custo do etanol, os valores aqui atribuídos poderão ser reajustados quando se disponha de dados mais representativos das operações de venda da energia elétrica gerada pelas Destilarias.

Para o preparado de celulose foi empregado o valor utilizado nos estudos realizados pelo NREL-USA por não dispor ainda dados do custo de produção deste no Brasil.

Examinando o custo de produção de etanol, o cenário de 2025 se mostra altamente favorável, o de 2015 embora num exame preliminar possa se apresentar desfavorável deve ser levado em conta a forte incidência do valor dos insumos, bagaço e energia elétrica, e, o fato de que uma análise de viabilidade econômica tem que levar em conta a receita obtida da venda dos três produtos: etanol dos açúcares de cana, etanol da hidrólise e energia elétrica para a rede.

Este último será o que definirá sobre a conveniência de operar nesta condição em 2015.

Quanto à oferta adicional de etanol de 14% em 2015 e 34% em 2025 é muito representativa e positiva, considerando as metas do projeto: aumento da produção de etanol, melhor aproveitamento da biomassa de cana e da área cultivada.

2.5 Definição do cronograma de inserção dessas tecnologias e da evolução de seus índices técnicos

O cronograma de inserção das tecnologias e da evolução dos índices técnicos estão contemplados no item **2.11 Caracterização de uma usina modelo com a inclusão de tecnologias avançadas.**

2.6 Avaliação dos impactos das novas tecnologias e outros avanços nos requisitos de área de cultivo da cana e nos custos de produção de etanol

As novas tecnologias com maior impacto sobre a produtividade da cana-de-açúcar e conseqüentemente sobre os requisitos de área são o melhoramento transgênico, o plantio direto e a tecnologia da informação. O desenvolvimento, implantação e o aprendizado operacional das mesmas implicam na quebra de paradigmas cujo impacto positivo deve superar largamente os ganhos de produtividade obtidos desde o início do programa do álcool, utilizando melhoramento, mecanização e gerenciamento agrônomico convencionais.

A parcela de contribuição de cada uma dessas tecnologias não pode ser analisada isoladamente já que existe interação entre as mesmas, e principalmente, porque existe um teto para o potencial de produtividade da cana que pode ser atingido apenas se uma combinação adequada dos fatores de produção for aplicada. A complexidade da interação entre esses fatores exige a aquisição, armazenamento e análise de grande volume de dados captados ao longo do canavial para o qual a tecnologia da informação através da agricultura de precisão, a informática e o processamento de dados permitiriam atingir níveis ótimos, ou próximos deles, para a produtividade.

As contribuições da biotecnologia estão embutidas no melhoramento genético e representam o maior potencial de ganho de produtividade desde que acompanhadas das contribuições do plantio direto e a tecnologia da informação. As variedades adaptadas às condições regionais requerem de água melhor distribuída ao longo do ciclo e em maior quantidade durante as fases de crescimento acelerado. O plantio direto, através da cobertura morta sobre a superfície do solo, permite reduzir as perdas por evaporação e com isso manter um maior teor de umidade no solo. O plantio direto, por sua vez, requer o desenvolvimento do tráfego controlado para sua viabilização.

A combinação das contribuições tecnológicas acima descritas é compatível com os níveis de produtividade mais ambiciosos previstos no estudo, para a região N-NE, que contemplam ganhos de produtividades próximos de 50 % e correspondentes reduções de área.

2.7 Integração energética otimizada das novas tecnologias com o processo convencional

As necessidades energéticas de uma destilaria autônoma, necessariamente relacionadas às demandas de calor, eletricidade e energia mecânica, são atendidas pela planta de cogeração que consome a biomassa residual gerada no processo. O bagaço de cana, atualmente empregado como combustível em todas as usinas de cana-de-açúcar existentes no país, é consumido em sistemas a vapor que, ao operarem com maior eficiência, propiciam a redução do consumo de combustível e/ou aumento da geração de excedentes de eletricidade.

O processo produtivo demanda vapor a baixa pressão, normalmente a 2,5 bar, como fonte de calor para processos de tratamento e evaporação do caldo e destilação do etanol. Dependendo do grau da tecnologia e da integração térmica

existente na destilaria o consumo de vapor pode variar, o que influencia diretamente o consumo de combustível na caldeira. Além disso, sistemas de cogeração que operam com turbinas de extração-condensação necessitam baixos consumos de vapor de processo para que o último estágio das turbinas tenha condições de operar com vazões suficientes para justificar o investimento.

Os sistemas de preparo da cana e de extração do caldo também são consumidores de vapor para acionamento das turbinas, que fornecem energia mecânica aos picadores, desfibradores e ternos de moenda. Normalmente, a extração de vapor para atendimento dessa demanda ocorre a 22 bar de pressão, sendo que a vazão varia de acordo com a eficiência da turbina de acionamento. A substituição das antigas turbinas de simples estágio por turbinas multi-estágio, de maior eficiência, vem ocorrendo em muitas usinas e destilarias, o que possibilita o aumento da geração de excedentes de eletricidade no sistema de cogeração.

Outro avanço tecnológico importante com relação ao sistema de preparo e dewatering da cana é o emprego de motores elétricos para acionamento dos equipamentos, em substituição às turbinas a vapor. A eletrificação desses sistemas possibilita um aumento significativo na eficiência de conversão da energia, o que resulta em aumento de geração elétrica excedente. Alternativamente, algumas usinas têm empregado sistemas de acionamento hidráulico que representam uma solução intermediária, do ponto de vista da eficiência e da geração de excedentes elétricos, entre o acionamento puramente elétrico e o acionamento puramente mecânico diretamente viabilizado por turbinas a vapor.

Atualmente, no Brasil e em todo o mundo, somente sistemas a vapor são encontrados nas usinas de cana-de-açúcar. Esta é uma tecnologia amplamente conhecida pelo setor e, no Brasil, são utilizados majoritariamente equipamentos de fabricação nacional. Diversos fabricantes de caldeiras, turbinas a vapor e geradores elétricos são encontrados na indústria nacional, sendo que muitos também atendem o mercado externo.

Após consultas e visitas realizadas a alguns fabricantes dos principais equipamentos empregados em sistemas de cogeração de energia do setor sucroalcooleiro, foram levantadas informações com respeito à tecnologia atualmente empregada, bem como às tendências de aumento de eficiência e de inovação tecnológica a médio e longo prazo.

Com relação à tecnologia empregada atualmente, foi verificado que os sistemas de cogeração mais eficientes em operação no setor de cana-de-açúcar nacional são ciclos a vapor que trabalham com vapor vivo a 65 bar de pressão (variando entre 60 e 65 bar na maioria dos casos) e 480°C de temperatura. A tendência verificada junto aos fabricantes é o emprego de parâmetros mais elevados na geração de vapor, propiciando maior eficiência na geração elétrica. Existem diversas consultas de usinas para viabilizar sistemas que operem a mais de 80 bar de pressão, embora as vendas ainda se concentrem em sistemas de 42 e 65 bar. Foi verificado que atualmente um projeto, em construção, conta com um sistema de 90 bar de pressão.

O aumento da temperatura do vapor gerado pelas caldeiras é outro fator considerado para aumento de eficiência na geração elétrica. São encontradas no mercado caldeiras de 65 e 90 bar com temperatura máxima de 520°C. Segundo fabricantes de caldeiras, existe uma limitação econômica para o emprego de temperaturas mais altas na geração do vapor vivo, uma vez que no Brasil são

produzidos aços que podem suportar temperaturas de até 520°C. O emprego de aços especiais, que suportam temperaturas acima deste nível, teria que ocorrer com a importação do material ou por encomenda de lotes específicos à indústria nacional, o que torna os custos proibitivos.

Também foi verificada uma tendência de aumento da capacidade de geração de vapor das caldeiras destinadas ao setor sucroalcooleiro. Atualmente, a maior parte das vendas destina-se a caldeiras de capacidade de geração de vapor de 150 a 250 t/h e eficiência acima de 85% (base PCI), segundo os fabricantes. Novos projetos em fase de conclusão e alguns já instalados contam com caldeiras de 300 a 450 t/h de vapor gerado.

A tendência, quando se trata de caldeiras de maior capacidade, é a construção de caldeiras do tipo monodrum. A tecnologia de caldeiras monodrum é novidade no setor sucroalcooleiro, mas já vem sendo empregada há vários anos, no Brasil e no mundo, em setores como o de papel e celulose, petroquímicas e termelétrico. Segundo os fabricantes, a tecnologia empregada na construção das caldeiras monodrum possibilita a adoção de grandes vazões de vapor e pressões superiores a 100 bar.

Com relação às turbinas a vapor nacionais, verificou-se que os sistemas mais modernos vendidos atualmente para o setor de cana-de-açúcar são turbinas que operam com vapor de entrada a 65 bar e 490°C e com sistemas de condensação e extração controlada e contra-pressão. A potência das turbinas nacionais, segundo os fabricantes, está limitada a 50 MW por motivos econômicos, uma vez que os geradores elétricos nacionais atendem somente até esse nível de potência, sendo a importação ainda proibitiva do ponto de vista da viabilidade do investimento.

Foi verificado que existe tecnologia na indústria nacional para produção de turbinas a vapor de reação com potência de até 150 MW, operando com vapor de admissão de até 120 bar e 530°C, mas destinadas ao mercado externo. Alguns projetos estão em andamento visando à compra de turbinas de 85 bar e 520°C. Entretanto, parte significativa das vendas ao setor ainda está concentrada em turbinas que operam com vapor a 22 bar/320°C (sistemas que apenas viabilizam a auto-suficiência do atendimento elétrico) e 42 bar/420°C (que permitem a geração de excedentes elétricos modestos).

Para simulação do excedente de eletricidade gerado pelas destilarias dentro dos cenários de evolução tecnológica nos horizontes de 2015 e 2025 propostos no Capítulo 4, foram consideradas duas variantes associadas à hipótese de produção, ou não, de etanol por hidrólise do bagaço. Diferentes configurações de sistema de cogeração foram simuladas baseando-se na disponibilidade de combustível (bagaço e palha) e na introdução ou não da planta anexa de hidrólise.

As configurações de sistema de cogeração foram simuladas com o emprego de um software de simulação de sistemas de potência a vapor, desenvolvido em linguagem orientada para o objeto, utilizando como base o software comercial Delphi³. O módulo "Potência" do programa de simulação permite a realização dos cálculos termodinâmicos da configuração definida pelo usuário. A Figura 6.1-1 reproduz a tela "Fluxograma" do programa. A configuração objeto de análise pode

³ Desenvolvido originalmente pelo Prof. Jorge Llagostera, da Faculdade de Engenharia Mecânica, da Unicamp, no contexto de outro projeto de pesquisa.

ser definida (i) nos modos de operação "cogeração" ou "termoelétrico", (ii) com um ou dois níveis de pressão na geração de vapor, (iii) com emprego de turbinas de contra pressão ou de extração-condensação (até duas extrações de vapor podem ser consideradas), (iv) com eletrificação ou não da moagem e do preparo da cana, etc.

Quando da simulação dos sistemas de potência operando na situação em que há produção de etanol por hidrólise, foi considerado que não há recuperação de condensado correspondente à extração que ocorre a 37 bar. Nesse caso, tal situação é representada por um fluxo de vapor (ou de condensado) para a atmosfera na posição 45 do fluxograma apresentado na Figura 2.7-1.

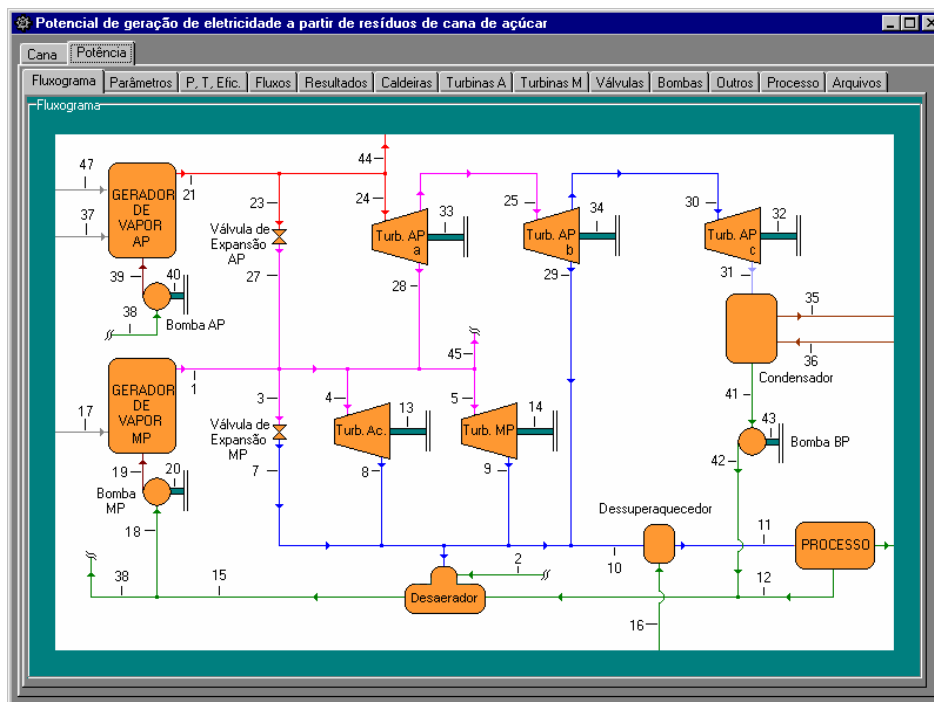


Figura 2.7-1: Tela do programa mostrando o fluxograma completo do sistema de cogeração

Na simulação das destilarias que não possuem em planta de hidrólise (Configuração "Otimizada") foi considerado que todo o combustível disponível na destilaria é destinado ao sistema de cogeração, maximizando a geração de excedente de eletricidade. Nas configurações com hidrólise foram adotados sistemas de cogeração com turbinas de contra-pressão, operando somente durante a safra, fornecendo o máximo possível de bagaço para a planta de hidrólise anexa à destilaria sem comprometer a geração de vapor para o processo.

Em todos os casos, adotou-se que 10% do combustível são reservados para viabilizar as partidas do sistema, após as suas paradas, sendo o restante totalmente consumido na geração de vapor. Além disso, assumiu-se a utilização de motores elétricos para o acionamento do sistema de extração do caldo, sendo, portanto, a demanda elétrica total da destilaria atendida pelo sistema de cogeração.

Alguns parâmetros adotados no procedimento de cálculo das configurações são apresentados a seguir:

- Pressão do vapor de processo: 2,5 bar;
- Temperatura do vapor de processo: 128°C;
- Pressão de operação do desaerador: 1,3 bar;
- Eficiência da caldeira: 85% (base PCI);
- Eficiência isentrópica da turbina a vapor: 78%;
- Eficiência isentrópica das bombas: 65%;
- Temperatura de retorno do condensado: 79°C;
- Perda de vapor no processo: 5% do vapor de processo;
- Vapor consumido no desaerador: 5% do vapor vivo gerado;
- Poder calorífico inferior do bagaço: 7.524 kJ/kg (50% umidade);
- Poder calorífico inferior da palha: 12.960 kJ/kg (15% umidade);
- Poder calorífico inferior da lignina: 16.219 kJ/kg (50% umidade);
- Produção total de bagaço: 140 kg/t cana (base seca);
- Produção total de palha: 140 kg/t cana (base seca);
- Produção de lignina: 200 kg/t bagaço hidrolisado (base seca).

Configuração Atual

A configuração "Atual" foi estimada como uma média da situação vigente atualmente para sistemas de cogeração do setor sucroalcooleiro, tendo sido adotada como referência na destilaria padrão da Fase 1 deste projeto. Foi considerado que o excedente de eletricidade para este caso seria de 40,0 kWh/t cana em uma destilaria com produção de 85 l/tc. Essa configuração representa uma situação ainda muito comum no setor sucroalcooleiro brasileiro e serve de referência para comparação com os avanços tecnológicos propostos para as demais configurações.

Configuração Otimizada

A configuração "Otimizada" representa destilarias sem planta de hidrólise anexa e com a melhor tecnologia de geração elétrica atualmente disponível para o setor sucroalcooleiro nacional, com geração de vapor a 90 bar e 520°C e geração de energia elétrica ao longo de todo o ano com emprego de turbinas de extração-condensação. Embora em certo sentido tal hipótese seja conservadora do ponto de vista tecnológico, já que sistemas mais eficientes poderiam ser considerados em um horizonte de médio e longo prazo, a mesma é realista do ponto de vista do potencial que poderia ser viabilizado, desde que grande número de usinas adote tal configuração.

Esta configuração foi subdividida em "Otimizada I", "II" e "III", sendo prevista a introdução da palha como combustível auxiliar ao bagaço, visando à maximização da geração elétrica. Na Tabela 2.7-1 são apresentados alguns parâmetros adotados para essa configuração e o índice de geração de excedente elétrico calculado.

Tabela 2.7-1: Parâmetros adotados na simulação da operação do sistema de cogeração com configuração "Otimizada"

Configuração	Otimizada I	Otimizada II	Otimizada III
Pressão do vapor vivo (bar)	90	90	90
Temperatura do vapor vivo (°C)	520	520	520
Consumo de vapor de processo ¹ (kg/t cana)	385	444 ²	455 ³
Demanda elétrica do processo (kWh/t cana)	12,0	12,0	12,0
Demanda elétrica para acionamento do sistema de extração (kWh/t cana)	16,0	16,0	16,0
Demanda elétrica total (kWh/t cana)	28,0	28,0	28,0
Fração do bagaço consumido nas paradas do sistema (%)	10	10	10
Fração do bagaço consumido na cogeração (%)	90	90	90
Fração do total de palha consumida pelo sistema de cogeração (%)	0	25	50
Produção de etanol (l/t cana)	88,3	88,3	88,3
Eletricidade excedente gerada (kWh/t cana)	87,8	121,3	160,2

¹ saturado a 2,5 bar de pressão

² Considera concentração de vinhoto com redução de 50% do volume inicialmente gerado.

³ Considera concentração de vinhoto com redução de 66% do volume inicialmente gerado.

Configuração "Hidrólise"

Foram simuladas destilarias nas quais a máxima quantidade de bagaço possível seria destinada à planta anexa de hidrólise, sem o comprometimento da geração de vapor de processo (processo tradicional + planta de hidrólise). Nesse caso também é considerada a geração de vapor com lignina, e em complementação à geração de vapor com a palha disponível e a quantidade de bagaço requerida (não hidrolisado). Os resultados para as configurações "Hidrólise I" e "Hidrólise II", apresentados na Tabela 2.7-2, correspondem em respectivamente a uma primeira etapa de desenvolvimento do processo de hidrólise, com mais baixo rendimento, que se estima que seja atingida em 2015, e uma segunda etapa de desenvolvimento, a ser atingida em 2025, refletindo o ganho de produtividade em função do amadurecimento da tecnologia e otimização do processo.

Tabela 2.7-2: Parâmetros adotados na simulação da operação do sistema de cogeração com configuração "Hidrólise"

Configuração	Hidrólise I	Hidrólise II
Pressão do vapor vivo (bar)	90	90
Temperatura do vapor vivo (°C)	520	520
Consumo de vapor para o processo tradicional (kg/t cana) (saturado a 2,5 bar)	353 ¹	372 ²
Consumo de vapor de processo para a hidrólise (kg/t cana) (saturado a 2,5 bar)	131,2 146	1
Consumo de vapor total do processo (kg/t cana) (saturado a 2,5 bar)	484,2	518,1
Consumo de vapor de alta pressão para a hidrólise (kg/t cana) (extração a 37 bar)	22,8 36,	2
Demanda elétrica no processo tradicional (kWh/t cana)	12,0	12,0
Demanda elétrica no processo de hidrólise (kWh/t cana)	17,6	19,7
Demanda elétrica para acionamento do sistema de extração (kWh/t cana)	16,0 16,	0
Demanda elétrica total	45,6	47,7
Fração do total de bagaço para hidrólise (%)	47,5	76,0
Fração do total de bagaço consumido em paradas do sistema (%)	10	10
Fração do total de bagaço destinada ao sistema de cogeração (%)	52,5	24
Fração do total de palha consumida pelo sistema de cogeração (%)	25	50
Produção de etanol (l/t cana)	103,6	124,3
Eletricidade excedente gerada (kWh/t cana)	49,3	54,7

¹ Considera concentração de vinhoto com redução de 50% do volume inicialmente gerado.

² Considera concentração de vinhoto com redução de 66% do volume inicialmente gerado.

Nesse caso a geração de energia elétrica é bastante reduzida em relação ao caso anterior, em função da menor disponibilidade de biomassa para geração de eletricidade, mesmo considerando a queima da lignina residual do processo de hidrólise.

Foi considerado o emprego exclusivo de turbinas de extração-contrapressão, com operação restrita ao período de safra, visando à maximização da produção de etanol. Foi considerado também que a produção de etanol por hidrólise ocorreria apenas durante o período da safra, hipótese que ainda precisa ser verificada quanto à sua viabilidade econômica. Adotou-se a mesma tecnologia de geração de vapor a 90 bar, 520°C, pois foi observado que no caso da hidrólise a geração de vapor a menor pressão e temperatura (i.e., 65 bar, 480°C) não resultaria em vantagem significativa do ponto de vista da disponibilização de biomassa para a hidrólise: comparando a geração de vapor a 65 bar, 480°C, com a alternativa de geração a 90 bar, 520°C, a disponibilidade de biomassa para hidrólise aumentaria pouco mais de 1%, enquanto a geração de energia elétrica seria sacrificada em quase 20% em relação à situação escolhida.

De acordo com os cenários previstos no Capítulo 4, a introdução de cada configuração segue a seqüência apresentada na Tabela 6.1-3, na qual são

apresentados os perfis das destilarias que serão introduzidas em cada período de 5 anos entre 2005 e 2025.

Com relação à configuração "Otimizada", assumiu-se que as destilarias com essa configuração teriam uma evolução da capacidade de geração ao longo do tempo, decorrente da introdução da palha como combustível auxiliar a partir de 2015. Por outro lado, as mesmas teriam seu consumo de vapor de processo aumentado devido ao fato de concentrarem parte do vinhoto gerado, como indicado na Tabela 2.7-3. Assim, as destilarias com configuração "Otimizada I", introduzidas no período 2005-2010 no cenário Prudente e entre 2005 e 2015 no cenário Progressivo, passariam a contar com configuração "Otimizada II" a partir de 2015, e com a configuração "Otimizada III" a partir de 2025.

Tabela 2.7-3: Introdução de cada configuração do sistema de cogeração segundo os cenários de evolução tecnológica

Cenário	5 Anos (2005-2010)	10 Anos (2010-2015)	15 Anos (2015-2020)	20 Anos (2020-2025)
Sem Tecnologia	100% Atual	100% Atual	100% Atual	100% Atual
Prudente	100% Otimizada I	100% Otimizada I	100% Hidrólise I	100% Hidrólise I
Progressivo	100% Otimizada I	50 % Otimizada I 50% Hidrólise I	100% Hidrólise I	50 % Hidrólise I 50 % Hidrólise II
100% Tecnológico	- -		100% Hidrólise II	100% Hidrólise II

2.8 Avaliação das tecnologias avançadas de geração de energia tipo gaseificação / turbina a gás – Gaseificação da biomassa e uso da palha

Sistemas energéticos de pequena capacidade baseados na gasificação de biomassa são comerciais, mas dentro de condições específicas, ou seja, não há viabilidade econômica irrestrita para os mesmos. Quanto às aplicações, o gás de gaseificação da biomassa é utilizado no acionamento de motores de combustão interna de pequena capacidade, em sistemas de cogeração, ou em sistemas de combustão combinada (e.g., com carvão mineral) (BABU E HOFBAUER, 2004).

Por outro lado, a gaseificação da biomassa pode viabilizar tanto a produção de combustíveis líquidos, principalmente para usos autônomos, quanto a geração de eletricidade em larga escala. Porém, nenhuma dessas alternativas está próxima de se tornar economicamente viável e considerável esforço de PD&D, bem como a definição de políticas de fomento adequadas, são necessários.

Parte do desenvolvimento tecnológico necessário poderá vir dos esforços que já foram feitos quanto ao uso dos energéticos fósseis, como no caso da gaseificação do carvão mineral e do processo Fischer-Tropsch (FT) a partir de gás natural. E, no mesmo sentido, avanços tecnológicos relativos ao uso da biomassa poderão ser

alcançados em sistemas de co-gaseificação (carvão mineral + biomassa) e co-firing (gás natural + gás de gaseificação).

No momento, quase todos os processos de gaseificação já desenvolvidos, ou em fase avançada de desenvolvimento, tem ou visam mercado e aplicações específicas, dependendo dos custos e da disponibilidade da biomassa, da capacidade e da relação calor/potência desejada (O PET, 2002). Sistemas energéticos baseados em biomassa tendem a ter maior viabilidade e nichos de mercado, em que biomassa residual existe a baixo custo (e.g., resíduos da cana-de-açúcar, resíduos de indústrias de papel e celulose e de beneficiadoras de madeira, e resíduos agrícolas). Outro aspecto importante para a viabilização dos futuros sistemas energéticos a partir da biomassa é a integração dos processos, e a produção de vários produtos. O conceito de bio-refinarias é o que deve imperar a médio e longo prazo. Assim, uma unidade produtora de combustíveis líquidos, por exemplo, deve ser também uma termoelétrica de significativa capacidade.

Entre as tecnologias termoelétricas, a de maior rendimento térmico é a dos ciclos combinados, baseados em turbinas a gás. Para que tal tecnologia possa ser empregada com emprego de combustíveis sólidos, como é o caso da biomassa residual da cana-de-açúcar, propõe-se a prévia gaseificação do combustível e a queima do gás resultante em turbinas a gás. Os sistemas que se baseiam na gaseificação de carvão mineral e de óleos muito viscosos são conhecidos como IGCC (Integrated Gasification to Combined Cycles), sendo que em todo o mundo existem cerca de 20 plantas em operação. Já a versão em que se emprega biomassa é conhecida pela sigla BIG-CC (Biomass Integrated Gasification to Combined Cycles), e apenas uma instalação foi construída e operou por um período razoável.

Em relação às instalações de potência baseadas em ciclos a vapor, que é a tecnologia convencional, os sistemas BIG-CC de capacidade entre 30-50 MW poderiam ter eficiência de produção de eletricidade da ordem de 30-40% no curto prazo, e de até 45% a médio-longo prazo (FAAIJ ET AL., 1998). Um ciclo a vapor de tal capacidade tem eficiência térmica na faixa de 20 a 25%. Uma vantagem adicional pode advir dos menores efeitos de escala sobre os custos de capital de instalações baseadas em turbinas a gás, o que pode resultar em menores custos unitários (\$/kW instalado) para instalações de pequena-média capacidade (Williams e Larson, 1993). Entretanto, certo número de instalações ainda precisa ser construído para que os efeitos de aprendizado induzam significativa redução dos investimentos que, no presente, são estimados entre 2.500-4.000 €/kW instalado para plantas com capacidade na faixa de 5-30 MW líquidos (WALDHEIM, 2005). Nesses sistemas a energia de baixa temperatura dos gases de exaustão da caldeira de recuperação de calor (HRSG) deve ser empregada na secagem da biomassa, melhorando a integração térmica do sistema (FAAIJ ET AL., 1998). A secagem da biomassa é necessária, pois, caso contrário, o poder calorífico do gás combustível seria muito baixo, prejudicando ou até mesmo impossibilitando sua combustão na turbina a gás.

Nos últimos anos, após a suspensão de alguns projetos de demonstração da tecnologia BIG-CC, em função dos altos custos iniciais e da forte competição existente no setor elétrico, em todo o mundo, vários grupos de pesquisa têm priorizado o desenvolvimento da tecnologia de gaseificação da biomassa para produção de combustíveis líquidos. A médio e longo prazos os desenvolvimentos

alcançados na gaseificação da biomassa e na limpeza dos gases também será o aproveitados na tecnologia BIG-CC.

2.8.1 A tecnologia BIG-CC

Na Figura 2.8.1-1 é apresentada a representação esquemática de um sistema BIG-CC. Na figura a limpeza do gás é mostrada sem identificação da alternativa de limpeza (se a baixa ou a alta temperatura). Tampouco é representada a eventual compressão do gás combustível antes de sua injeção na turbina a gás. No caso da limpeza a baixa temperatura, é preciso que processos de recuperação de calor sejam introduzidos para que a eficiência global do sistema não seja comprometida; a energia recuperada dos gases durante o resfriamento pode ser utilizada, por exemplo, no aquecimento do gás limpo que é injetado na turbina a gás. No caso da gaseificação a baixa pressão e da limpeza dos gases a baixa temperatura, é preciso comprimir o gás combustível para que o mesmo possa ser injetado na câmara de combustão; a potência requerida em tal processo tende a ser muito significativa em relação à potência gerada.

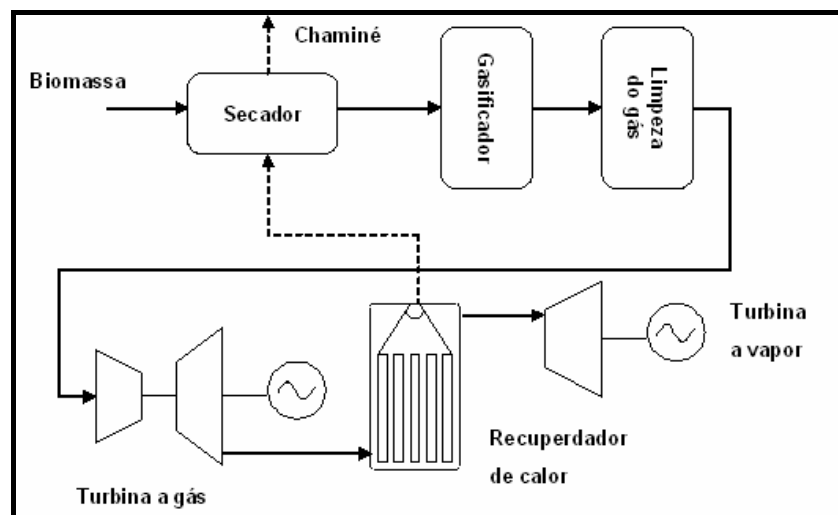


Figura 2.8.1-1: Representação esquemática de um sistema BIG-CC

Cada tipo de biomassa requer uma dada seqüência de tratamento, mas, de forma geral, o pré-tratamento envolve seleção, trituração, separação magnética, estocagem "úmida", desinfecção (se necessária), secagem e estocagem "seca" para que, então, a biomassa siga para a gaseificação.

Após a gaseificação, o gás produzido segue para o sistema de limpeza, que consiste no craqueamento/remoção de alcatrão, resfriamento, filtragem e lavagem, e, se necessário, uma etapa de absorção de amônia (NH_3) e/ou ácido sulfídrico (H_2S). As etapas de absorção são cruciais, dadas as restrições impostas pelas turbinas a gás e recuperadores de calor com relação aos níveis de particulados, álcalis e alcatrão, além, evidentemente, da necessidade de serem atendidos os padrões de emissão. Uma possibilidade para a remoção/craqueamento do alcatrão é a via catalítica, através da adição de dolomita (catalisador) no leito do gasificador, ou mesmo em um reator específico, como é caso da tecnologia da empresa sueca TPS (Thermiska Processor). Após a etapa de craqueamento, o gás passa por ciclones para a retirada

de material particulado e, em seguida, é resfriado (até aproximadamente 180°C) e filtrado. A temperaturas de essa ordem, os álcalis, outros metais pesados e hidrocarbonetos são condensados sobre partículas, que são retidas em filtros. No caso da lavagem dos gases, há novo resfriamento. Vapor d'água e outros contaminantes, como NH₃, HCl e hidrocarbonetos, condensam e são dissolvidos pela água de lavagem que, por sua vez, deve ser encaminhada a uma estação de tratamento antes de ser descartada. Caso as concentrações de nitrogênio e H₂S do combustível sejam muito altas, há necessidade do gás passar por unidades específicas de absorção já que a simples lavagem (com água) não produz resultados satisfatórios (FAAIJ ET AL., 1998).

Uma vez limpo, o gás segue para a câmara de combustão da turbina após sua compressão. No uso do gás em turbinas três questões são importantes: (i) estabilidade da combustão, (ii) perda de pressão no sistema de injeção de combustível e (iii) os limites de fluxo de massa pela turbina. No caso das turbinas a gás projetadas para operar com gás natural, e adaptadas para operação com gases de baixo poder calorífico⁴, o fluxo dos gases na câmara de combustão e no expensor será muito elevado em relação à situação de referência. Enquanto o gás natural possui poder calorífico da ordem de 35-40 MJ/Nm³, os gases derivados da gaseificação da biomassa possuem poder calorífico em torno de 5-6 MJ/Nm³. Para que a turbina possa operar com a mesma temperatura máxima, ou próxima disso, o fluxo de gases de combustão será muito elevado, ocasionando esforços sobre componentes do expensor e alterando significativamente o ponto de operação do compressor (CONSONNI E LARSON, 1996; FAAIJ ET AL., 1998). Para que a turbina não seja levada a condições de operação que poderiam resultar sua rápida deterioração, recursos de controle precisam ser empregados. O mais simples deles, o "de-rating"⁵ da turbina a gás, implica redução das condições de desempenho da máquina.

Por fim, os gases de exaustão da turbina a gás passam por uma HRS. Vapor gerado é levado à expansão em uma turbina a vapor, aumentando a geração de eletricidade e a eficiência térmica do sistema. Os gases de exaustão da HRS, desde que tenham temperatura suficiente, são então destinados à secagem da biomassa.

2.8.2 Projetos de demonstração da tecnologia BIG-CC

Nos últimos 15 anos tem havido certo esforço de pesquisa e desenvolvimento relativo à tecnologia BIG-CC. Vários projetos foram considerados nesse período, mas apenas uma instalação foi efetivamente construída e operou por tempo significativo, em Värnamo, Suécia⁶. Na Tabela 2.8.2-1 são apresentados os projetos

⁴ O que será o caso até que, eventualmente, a tecnologia BIG-CC seja empregada em larga escala.

⁵ Corresponde à redução da temperatura máxima de operação da turbina, resultando menor fluxo de gases e, conseqüentemente, menor elevação da relação de pressões no compressor.

⁶ A unidade de gaseificação tinha capacidade de processamento de 82 toneladas por dia e usava filtros cerâmicos para a limpeza do gás a quente. A capacidade de geração elétrica do ciclo combinado era de 4 MW_e gerados a partir de uma turbina a gás da série Typhoon, mais 2 MW_e gerados em ciclo a vapor. Também eram produzidos 9 MW_{th} de água quente, empregados em aquecimento distrital. O gaseificador começou a ser operado em 1993 e no outono de 1995 teve início sua operação integrada com a turbina a gás. A instalação foi descomissionada em 1999 e no presente está sendo adaptada no âmbito do projeto Clean Hydrogen-Rich Gas from biomass (Chriogas). O objetivo do projeto é produzir gás de síntese rico em hidrogênio que possa ser empregado na produção de metanol, DME e FT diesel. As metas são alcançar a produção de 3.500 Nm³/h de gás úmido e operar a instalação durante ao menos 2.000 horas. Após a adaptação, o gaseificador operará com injeção de oxigênio ou vapor, com limpeza dos gases a quente. O projeto será executado em cinco anos, tendo começado em 2004; os testes devem começar em 2008. O orçamento declarado é de € 15,6 milhões. Do projeto participam 10 empresas industriais, 4

mais importantes, cuja viabilização foi considerada nos últimos anos; nenhum deles, entretanto, avançou a ponto de suas instalações terem sido concluídas.

Um dos projetos, inclusive, deveria ter sido viabilizado no Brasil. Inicialmente a proposta era a construção de um sistema BIG-CC de 32 MWe, no interior da Bahia, com uso de madeira de eucalipto. A instalação seria baseada na tecnologia de gaseificação a pressão atmosférica da TPS. A construção sequer começou e tampouco existem perspectivas de que isso venha a ocorrer a curto e médio prazo. Uma alternativa possível, embora ainda bastante improvável, tem sido explorada desde 1997, quando o Centro de Tecnologia da Copersucar (hoje, Centro de Tecnologia Canavieira) começou um projeto com vistas a avaliar os sistemas BIG-CC operando com biomassa da cana de açúcar. Esse trabalho foi conduzido em parceria com a TPS, que realizou testes de gaseificação com bagaço e pontas e folhas da cana. Também foram avaliados aspectos técnicos e econômicos associados à integração de um sistema BIG-CC com uma usina de açúcar e álcool. No momento, tem sido considerada a possibilidade de construção de uma unidade de demonstração em uma usina de açúcar e álcool, com integração parcial, ou seja, a capacidade da unidade BIG-CC seria menor do que a possível, em função do porte da usina (HASSUANI ET AL., 2005).

Tabela 2.8.2-1: Principais projetos de demonstração da tecnologia BIG-CC

Localização	Ano	Tecnologia	Biomassa	Capacidade
Varnamo, Suécia	1993	Foster Wheeler CFB pressurizada	Madeira 6	MW _e
Burlington, Vermont, EUA	1998	BCL aquecimento indireto	Madeira	(alimentação: 200 t/dia)
Planta Fondotoce, Alemanha	1999	ThermoSelect	Resíduo sólido urbano	12,5 MW
ARBRE, North Yorkshire, RU	2000	TPS	Madeira	8 MW _e
Bahia, Brasil	(?)	TPS	Madeira	30 MW _e

Fontes: Gasifiers Inventory (2006), Hassuani *et al.*, (2005)

Os projetos considerados nos últimos anos falharam pelo alto risco associado, em função (i) dos altos custos, o que é típico das primeiras unidades de projetos de demonstração, e (ii) pela grande competitividade existente no setor elétrico, em todo o Mundo. Quanto ao último aspecto, o que ocorre é que as empresas elétricas não têm interesse de investir em projetos de demonstração que têm, também, de operar comercialmente. Ao que se sabe, esse foi o principal problema para a não operação comercial da unidade em Varnamo após a superação dos problemas técnicos. As frequentes alterações de propriedade de empresas de alta tecnologia também têm dificultado a continuidade dos projetos de PD & D, pois quando da mudança de controle acionário alguns projetos simplesmente deixam de ser prioridade. Essa foi, também ao que se sabe, a principal razão para o cancelamento da construção da unidade BIG-CC em Burlington, EUA.

universidades e 3 organizações de pesquisa, de oito países europeus. A coordenação do projeto é da Växjö University, da Suécia (para mais informações, consulte www.chrisgas.com).

Entre os projetos BIG-CC propostos há via três variantes, sendo as diferenças associadas ao conceito do gasificador. Uma vertente se baseia na tecnologia leito fluidizado circulante (CFB), com operação do gasificador à pressão atmosférica e com injeção de ar para fornecimento do oxigênio necessário. Uma empresa que se destaca no desenvolvimento dessa tecnologia é a sueca TPS, anteriormente mencionada, que, no caso dos sistemas BIG-CC, propõe a inserção de um reator imediatamente a jusante do gasificador para o craqueamento do alcatrão. A segunda variante baseia-se em um gasificador com aquecimento indireto e que opera a pressões próximas da atmosférica. Nesse caso, o projeto de maior destaque relativo à gasificação é o do Battelle Memorial Laboratory (BCL, EUA), no qual se usa areia para viabilizar o aquecimento da matéria orgânica. A terceira variante também envolve a tecnologia de gasificação CFB, mas com operação a altas pressões (20-30 bar, 900-1000°C). A Foster Wheeler (EUA) e a Carbona (Finlândia) são empresas que obtiveram destaque com esta tecnologia (CONSONNI E LARSON, 1996; LARSON ET AL., 2001).

Foi proposto ao menos um projeto de demonstração de sistemas BIG-CC baseado em cada tecnologia de gasificação acima mencionada. Como dito anteriormente, o único projeto que efetivamente foi desenvolvido foi aquele baseado na tecnologia de gasificação CFB a altas pressões (a tecnologia de gasificação era Foster Wheeler), na unidade que foi construída em Värnamo, Suécia.

2.8.3 Perspectivas de desenvolvimento da tecnologia BIG-CC

Em 1996 foi publicado um estudo (CONSONNI E LARSON, 1996) sobre a possível performance de diferentes configurações de sistemas de BIG-CC utilizando turbinas aeroderivadas, a partir da gasificação de madeira. Naquele estudo foi considerado o emprego de uma turbina a gás GE LM2500, comercialmente disponível, e que se supunha à época poderia ser mais facilmente adaptada para o uso de combustíveis de baixo poder calorífico. Foram avaliadas três alternativas de gasificação, que resultariam em eficiências de geração elétrica entre 33 e 37% (base PCS da madeira). No entanto, para uma segunda geração de sistemas BIG-CC o estudo apontou a possibilidade, e também a necessidade, de se trabalhar com maiores temperaturas e maior relação de pressões na turbina a gás. Essencialmente, os sistemas BIG-CC baseados em gasificação pressurizada ou em gasificação com aquecimento indireto têm maior potencial do ponto de vista termodinâmico, mas também maiores restrições tecnológicas no curto prazo. Já os sistemas BIG-CC baseados em gasificação atmosférica, e embora potencialmente menos eficientes, teriam menos restrições no curto prazo. Sistemas BIG-CC baseados em gasificação CFB pressurizada poderiam alcançar eficiências de geração elétrica em torno de 38% (PCS da madeira), enquanto sistemas mais avançados, com turbinas a gás com resfriamento intermediário na compressão, poderiam ter eficiência da ordem de 41% (PCS da madeira). Quanto aos custos da eletricidade, caso o desenvolvimento tivesse tido continuidade e algumas unidades já estivessem em operação, os autores projetaram valores entre 4,9 e 5,7 ¢US\$/kWh (valores de 1991, com custo de capital entre 1500 e 2000 US\$/kW).

Em 1998, outro estudo prospectivo foi publicado (FAAIJ ET AL., 1998), considerando a gasificação de madeira e de resíduos sólidos urbanos em sistemas com capacidades elétricas líquidas de 30, 60 e 150 MW. A tecnologia de gasificação considerada foi a CFB atmosférica, de acordo com a variante proposta pela TPS. Os autores apontaram para necessidades de desenvolvimento tecnológico, entre as quais foram destacadas: a melhoria no processo de secagem da biomassa, o

emprego da tecnologia de gaseificação CFB pressurizada para as unidades de maior capacidade, a limpeza do gás a seco e a altas temperaturas, o uso de processos de recuperação de calor e a compressão multi-estágio nas turbinas a gás. O conjunto das alterações tecnológicas permitiria que as eficiências de geração elétrica chegassem a 54-59% (base PCI da madeira), dependendo da escala. Com relação aos custos da eletricidade, os autores calcularam-nos em 0,2 ¢Dfl./kWh para um sistema de 51 MWe operando com madeira (custo de capital de 5.900 Dfl./kWe e biomassa a 8 Dfl./GJ), e de 0,14 ¢Dfl./kWh para um sistema de 215 MWe (custo de capital de 3.700 Dfl./kWe e biomassa a 8 Dfl./GJ). Considerando o câmbio de 1 Dfl. = 0,52944 US\$ de dezembro de 1998, os custos equivalentes em US\$ seriam 106 US\$/MWh, para custo de capital igual a 3.120 US\$/kW e biomassa a 4,2 US\$/GJ, para sistemas de 51 MWe, e 74 US\$/MWh, para custo de capital equivalente a 1.960 US\$/kW e biomassa a 4,2 US\$/GJ, para sistemas de 215 MWe.

Mais recentemente, LARSON et al. (2005) fizeram uma análise em que a principal premissa é que todos os atuais problemas tecnológicos estariam resolvidos, quais sejam: alimentação e operação de gaseificadores de biomassa pressurizados de grande capacidade (~30 bar), limpeza do gás com craqueamento completo do alcatrão, separação de álcalis e particulados, modificação das turbinas a gás para uso de gás com baixo poder calorífico com performance equivalente às turbinas com queima de gás natural, e significativa redução do custo de capital devido ao efeito de aprendizado. Foi considerada capacidade de gaseificação de 5.680 t/dia (switchgrass com 20% de umidade). Uma configuração para a máxima produção de eletricidade, com biomassa a 3 US\$/GJPCS, resultou em custo da eletricidade igual a 52 US\$/MWh (sem incluir seqüestro de carbono) ou 77 US\$/MWh (com tecnologia de seqüestro de carbono). Segundo os autores, e para efeito de comparação, no presente a eletricidade gerada em uma planta IGCC a carvão mineral (carvão a 1,26 US\$/GJPCS) custa 46 US\$/MWh. Para a remuneração da emissão evitada de carbono da ordem de 30 US\$/tC, a geração de eletricidade a partir da gaseificação da biomassa seria competitiva.

Uma alternativa que até agora não tem sido considerada é a da geração de eletricidade em ciclos combinados co-firing, nos quais uma mistura de gás natural e gás de gaseificação de biomassa seria queimada em turbinas a gás. As justificativas para tal opção tecnológica seriam: (i) as turbinas a gás poderiam operar com combustível de médio poder calorífico, sem que a turbina a gás fosse sacrificada em seu desempenho, sem necessidade de alterações significativas, e, muito provavelmente, sem desgaste acentuado; (ii) o desempenho do ciclo combinado co-firing seria significativamente melhor do que o do ciclo BIG-CC; (iii) a capacidade elétrica da instalação poderia ser bastante maior do que a dos ciclos BIG-CC possíveis, com impacto positivo no investimento inicial; (iv) a capacidade de geração de gás de biomassa seria modesta, compatível com a capacidade dos sistemas especificados nas unidades de programas de PD&D; (v) os riscos associados ao suprimento e às oscilações dos preços dos combustíveis seriam minimizados; e (vi) por todas as razões anteriores, seria mais fácil viabilizar a construção do número de unidades de gaseificação/limpeza dos gases suficiente para induzir redução dos investimentos iniciais por efeito de aprendizado (a respeito ver, por exemplo, RODRIGUES et al. 2003a e 2003b).

Em estudo preliminar de viabilidade feito recentemente (WALTER E LLAGOSTERA, 2006), mostra-se que o custo da eletricidade gerada em um sistema puramente BIG-CC seria muito maior do que um ciclo combinado convencional a gás natural (96 x 36 US\$/MWh, como mostrado no extremo esquerdo da Figura 2.8.3-1). Por

outro lado, o dimensionamento de um sistema co-firing que poderia deslocar em até 12% a demanda de gás natural (base mássica) permitiria a produção de eletricidade a custos próximos a 60 US\$/MWh, com certa margem de flexibilidade do ponto de vista da mistura combustível (ver linha contínua em vermelho no lado direito da Figura 2.8.3-1).

Em um cenário de médio prazo, considerada a hipótese de redução dos custos da parte não convencional do sistema BIG-CC devido aos efeitos de aprendizado (i.e., gaseificador, sistema de alimentação da biomassa e sistema de limpeza dos gases), e supondo a elevação dos preços tanto do gás natural quanto da biomassa, os custos de produção de eletricidade poderiam ser correspondentes ao que é apresentado na Figura 2.8.3-2. A análise feita não leva em consideração a alternativa de obtenção de receita em função das emissões evitadas de carbono.

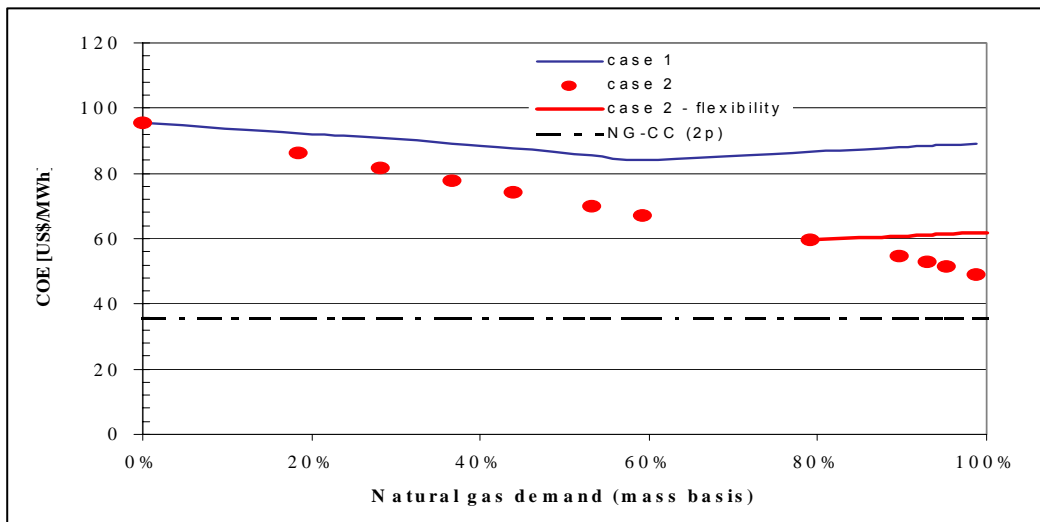


Figura 2.8.3-1: Custo da eletricidade gerada, em cenário atual, com gás natural a 3,00 US\$/GJ, e biomassa (bagaço da cana) a 1,20 US\$/GJ

Do ponto de vista econômico, a alternativa dos ciclos combinados co-firing seria mais adequada no curto prazo como estratégia de viabilização do número de unidades suficiente para que os efeitos de aprendizado possam ser induzidos. A médio e longo prazos as vantagens econômicas dos ciclos combinados co-firing seriam reduzidas em relação aos ciclos puramente BIG-CC, mas ainda continuaria havendo a importante vantagem da flexibilidade do ponto de vista do suprimento do combustível.

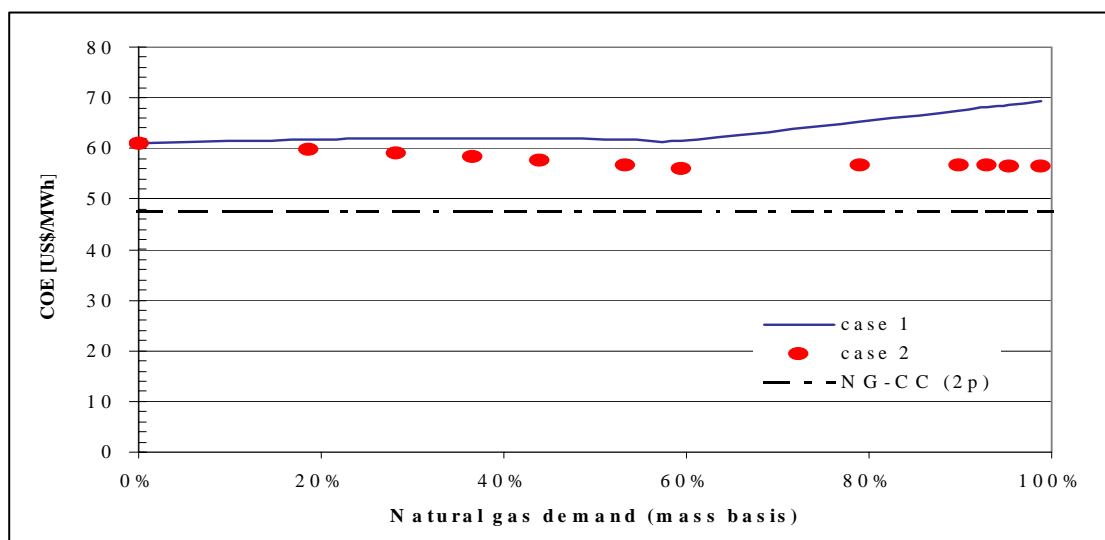


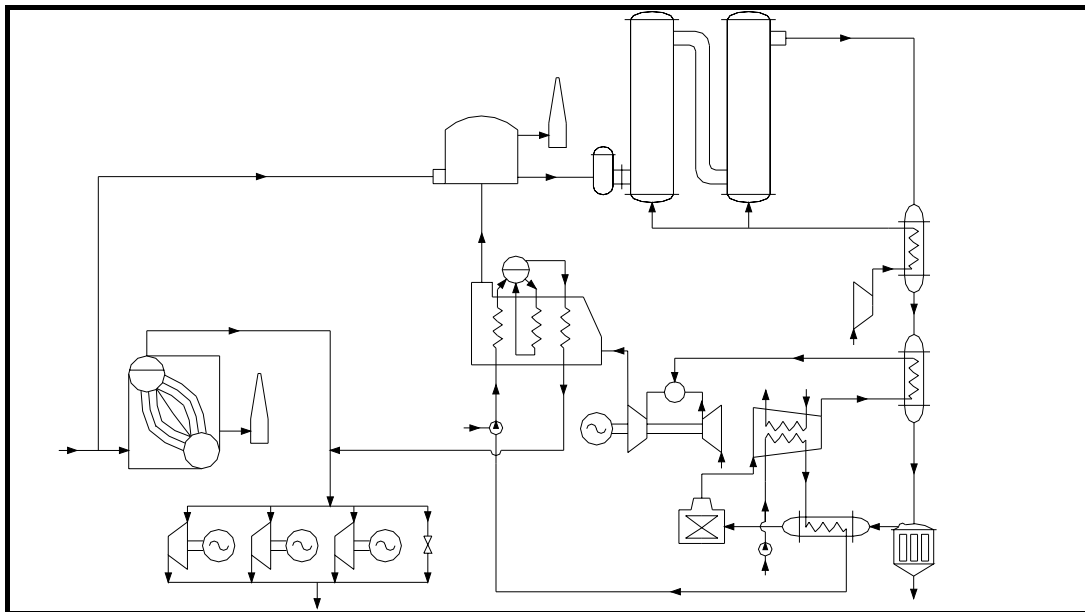
Figura 2.8.3-2: Custo da eletricidade gerada em cenário de médio prazo, com gás natural a 5,00 US\$/GJ, e biomassa (bagaço da cana) a 2,00 US\$/GJ

Os custos dos programas de PD&D em gaseificação de biomassa, em larga escala, e limpeza dos gases, são altos, e não faria sentido o Brasil iniciar uma rota própria de desenvolvimento, sem estar associado a outros países. Em particular, a tecnologia BIG-CC tem altos custos de desenvolvimento, fatores que irão impor dificuldades para o eventual desenvolvimento endógeno de um projeto nacional. Por outro lado, a sinergia com o desenvolvimento das tecnologias de gaseificação e biomassa para produção de combustíveis líquidos (ver item 2.8.6) pode resultar benefícios à tecnologia BIG-CC.

Ainda sobre a tecnologia BIG-CC, no momento a vantagem competitiva do Brasil seria a fabricação no país, sob licença, dos equipamentos cuja construção é essencialmente mecânica, o que poderia redundar em significativa redução dos custos. Tal estratégia foi utilizada pela TPS na unidade piloto de Grève-in-Chianti, sendo que a Ansaldo italiana construiu sob licença grande parte dos equipamentos do sistema de gaseificação e de limpeza do gás.

2.8.4 Integração de sistemas BIG-CC às usinas de açúcar e etanol

Na Figura 2.8.4-1 é apresentado o esquema de uma unidade BIG-CC em integração parcial a uma usina. Integração parcial significa que a demanda de vapor de processo da usina é parcialmente atendida pela capacidade de geração de vapor na HRSG acoplada à turbina a gás. Geradores de vapor convencionais, queimando biomassa residual da cana, atenderiam o restante da demanda de vapor. Tal alternativa foi considerada em um estudo de inserção da tecnologia BIG-CC em usinas Cubanas (PONCE E WALTER, 1999) e foi também explorada em estudos feitos pelo CTC e TPS (WALDHEIM ET AL., 2000; MORRIS ET AL., 2002).



Fonte: Ponce e Walter (1999)

Figura 2.8.4-1: Integração parcial de um sistema BIG-GT à uma usina de açúcar e etanol

A plena integração de um sistema BIG-CC a uma usina de açúcar e álcool, para viabilizar sua operação no modo cogeração durante a safra, requer a redução da demanda de vapor de processo para índices da ordem de 250 a 300 kg/tc. Tal necessidade deve-se à baixa capacidade de geração de vapor em ciclos BIG-CC e é incompatível com as demandas de vapor estimadas neste projeto para o horizonte de 10 a 20 anos, principalmente no caso da produção de etanol por hidrólise do bagaço em unidades anexas às destilarias tradicionais.

Considerada tanto a capacidade de geração de vapor e, portanto, a capacidade de atendimento da demanda térmica da usina, quanto a disponibilidade de biomassa, existem soluções de compromisso que resultam em determinadas capacidades de sistemas BIG-CC em função do porte da usina. O estudo feito pelo CTC e TPS (WALDHEIM ET AL., 2000; MORRIS ET AL., 2002) foi desenvolvido para uma usina com capacidade de moagem de 7.000 t/dia (pouco abaixo de 300 tch), tendo sido consideradas diferentes situações: integração parcial e integral do sistema BIG-CC à usina, manutenção da capacidade de geração de vapor existente (no caso, a 22 bar, 300°C), elevação da pressão e da temperatura do vapor gerado em caldeiras convencionais (para 82 bar, 480°C), geração do vapor de processo diretamente a 2,5 bar, e redução da demanda de vapor de processo para 340 e 280 kg/tc. Em algumas situações, a rigor, a integração térmica seria nula, ou seja, a demanda térmica do processo seria totalmente atendida pelos geradores de vapor convencionais e o vapor gerado na HRSG do sistema BIG-CC seria expandido em uma turbina a vapor de condensação. Os sistemas BIG-CC considerados seriam baseados na turbina a gás GE LM2500.

Na análise, aspectos econômicos não foram diretamente considerados. A primeira importante conclusão é que, em termos da eletricidade excedente que pode ser comercializada, todas as configurações, exceto uma, são equivalentes. A exceção corresponde à integração total do sistema BIG-CC à usina, empregando-se para tanto um sistema baseado em duas turbinas a gás, com redução da demanda de vapor de processo para 280 kg/tc. Nesse caso, o índice médio anual de eletricidade

excedente equivale a 291 kWh/tc. Para as demais configurações, os resultados do estudo mostraram que o índice de eletricidade excedente varia entre 163-172 kWh/tc, ou seja, praticamente equivalentes. Cabe destacar que a plena integração exigiria a redução de demanda de vapor de processo a níveis baixos em relação ao que se imagina venha ocorrer em horizonte de 10-20 anos. Também, cabe no caso que no caso da integração parcial, os índices de geração de eletricidade acima apresentados são equivalentes aos da tecnologia de geração elétrica baseada na geração de vapor a 90 bar, 520°C, analisada na seção 6.2.

No projeto desenvolvido pelo CTC e pela TPS, em função da equivalência observada nas várias alternativas de integração parcial, optou-se pela alternativa mais convencional: uma eventual primeira unidade do sistema BIG-CC deveria ter integração parcial com a usina, sem substituição do sistema de cogeração convencional. Na verdade, o que se considerou mais adequado foi a manutenção de pelo menos parte dos geradores de vapor já existentes, que produziriam vapor a 22 bar, 300°C, para alimentação das turbinas de acionamento mecânico e de uma pequena turbina para geração elétrica. O vapor de escape dessas turbinas atenderia o processo industrial, cuja demanda seria reduzida para 340 kg/tc. O bagaço que deixaria de ser utilizado alimentaria um sistema BIG-CC baseado na turbina a gás GE LM 2500, operando sempre como uma termoeletrica. Uma usina com capacidade de moagem 7.000 t/dia, com a recuperação de pontas e folhas, teria biomassa suficiente para operar o sistema com fator de capacidade 87% (LARSON ET AL., 2001).

A proposta de integração parcial minimizaria os riscos tecnológicos, pois a operação da usina não seria afetada por falhas do sistema BIG-CC, além de reduzir o capital inicial necessário.

Em síntese, as conclusões atuais são que, no caso de se dar prioridade para a produção de etanol por hidrólise e não para a geração de eletricidade excedente, os sistemas BIG-CC não seriam justificáveis. Por outro lado, no caso da prioridade ser dada à geração de eletricidade excedente, os sistemas BIG-CC só seriam justificáveis no caso de integração térmica total, o que requer drástica redução da demanda de vapor de processo. Caso a integração parcial não possa ocorrer, os sistemas BIG-CC não seriam significativamente mais vantajosos do que sistemas a vapor operando com vapor gerado à alta pressão e alta temperatura.

2.8.5 Gaseificação de biomassa para a produção de combustíveis líquidos

Para a produção de eletricidade a partir da gaseificação da biomassa as três principais barreiras tecnológicas estão associadas à: (i) gaseificação de biomassa em larga escala, respeitadas determinadas especificações do gás combustível, (ii) limpeza do gás, de forma eficiente e a custos moderados, preferencialmente a quente (para que sejam evitados os custos e as perdas do resfriamento do gás previamente à limpeza), e (iii) operação eficiente das turbinas a gás com queima dos gases de gaseificação.

O insucesso de vários projetos de demonstração fez com que o interesse em curto prazo na tecnologia BIG-CC fosse bastante reduzido. Entretanto, das três barreiras tecnológicas acima mencionadas, duas delas (as relativas à gaseificação e à limpeza do gás) estão sendo também abordadas nos projetos de PD&D que visam a produção de combustíveis líquidos a partir da gaseificação de biomassa. Com efeito, bio-combustíveis podem ser produzidos a partir de gases de síntese,

resultante da gaseificação de biomassa. A partir do gás de síntese podem ser produzidos combustíveis líquidos pelo processo Fischer-Tropsch (gasolina e diesel), hidrogênio, metanol, etanol, DME (di-metil éter), entre outros. A tecnologia ainda está em fase de desenvolvimento, mas especificamente a síntese de combustíveis pode ser beneficiada pela prévia experiência com uso de gás natural.

Muitas das necessidades tecnológicas foram identificadas nos anos 1990, tais como a adequação da alimentação da biomassa e m reatores pressurizados, o desenvolvimento de sistemas de limpeza do gás para atender à qualidade requerida, e necessidades específicas relacionadas aos processos de conversão. Entretanto, nenhum desses desafios tecnológicos foi ainda completamente superado.

Na produção de combustíveis líquidos, a escala de produção é fator determinante da economicidade do processo, razão pela qual a tecnologia de gaseificação CFB pressurizada é preferível (HAMELINCK ET AL., 2003; LARSON ET AL., 2005; HAMELINCK ET AL., 2001). A gaseificação deve ocorrer de forma a que o gás produzido seja rico em CO e H₂, que são os principais reagentes para a produção dos combustíveis líquidos. A injeção de ar deve ser evitada, já que não é desejável que o gás produzido esteja diluído em nitrogênio.

Na Europa, há grupos de pesquisa que têm focado o desenvolvimento da gaseificação de biomassa e da limpeza do gás produzido, já que a tecnologia de síntese para produção de combustíveis líquidos é considerada comercial. Há projetos em andamento na Holanda, Finlândia, Suécia, Alemanha e Áustria.

Os esforços associados à produção de combustíveis líquidos a partir da biomassa ajudarão a aceleração do desenvolvimento tecnológico e a redução de custos, por efeito de aprendizado, beneficiando também a tecnologia BIG-CC.

2.8.6 Combustão da palha em substituição ao bagaço

A composição química das biomassas pode diferir significativamente, especialmente a constituição dos inorgânicos, e sua concentração pode ser determinante para a ocorrência, nos geradores de vapor, dos problemas conhecidos como "fouling" e "slagging" (JENKINS ET AL., 1998). Durante a combustão, a matéria inorgânica é transformada em cinzas que podem se depositar nas superfícies de troca térmica. "Fouling" corresponde ao caso em que os depósitos advêm de substâncias que se vaporizam durante a combustão, e depois se condensam em superfícies. Já o "slagging" corresponde à formação de depósitos em função da existência de inorgânicos fundidos ou com alta viscosidade. Em ambos os casos as trocas térmicas são muito afetadas, e o rendimento do gerador de vapor cai (SEGGIANI, 1999), pois os depósitos têm baixa condutividade térmica e alta refletância (WOYTIUK, 2006). Em adição, dependendo da composição da matéria depositada, pode haver corrosão – gradual ou acelerada – das superfícies de troca térmica (MONTGOMERY E LARSEN, 2002).

A ocorrência de "fouling" e "slagging" depende do tipo de gerador de vapor e da composição da biomassa. Por exemplo, "fouling" nas superfícies do superaquecedor do gerador de vapor pode ser evitado com a redução da temperatura dos gases, o que resulta na redução da temperatura do vapor gerado, e que, por sua vez, impacta drasticamente o rendimento do ciclo de potência (BAXTER ET AL., 1998).

Biomassas herbáceas, como bagaço de cana e a palha da cana, contêm sílica e potássio como principais elementos químicos de suas cinzas. Biomassas herbáceas são também ricas em cloro e em relação às outras biomassas. Essas características indicam alta probabilidade de formação de depósitos a temperaturas de combustão altas, ou mesmo moderadas (BAXTER ET AL., 1998).

A lixiviação dos materiais inorgânicos melhora consideravelmente as propriedades da biomassa enquanto combustível. A lixiviação com água remove grande quantidade de álcalis (tipicamente > 80% de potássio e sódio) e cloro (> 90%), e pequenas frações de enxofre e fósforo também podem ser removidas (DAYTON ET AL., 1999). De fato, o uso do bagaço de cana sem problemas enquanto combustível deve-se ao fato de que há lixiviação no processo de moagem da cana, mas tal alternativa não se justifica no caso da palha, em função do significativo consumo d'água e do fato de que a vantagem relativa à baixa umidade da palha seria perdida.

Há muito pouca informação sobre a operação de geradores de vapor utilizando palha de cana e, em particular, pouquíssima informação sobre os problemas decorrentes e as ações de mitigação. No Brasil, a partir do emprego em maior escala da colheita mecanizada, algumas usinas têm feito experimentos queimando palha (não mais do que 20-25% em massa) misturada ao bagaço. Sabe-se que houve problemas associados à formação de depósitos nas superfícies de troca de calor e à disposição de grande quantidade de cinzas, até porque a palha tem chegado com muita terra às usinas.

Como indicador de possíveis problemas associados ao uso de certas biomassas como combustíveis o "índice de álcalis" (IA) tem sido empregado. O índice é aplicado com boa precisão no caso do carvão mineral e no caso de biomassa é um indicador razoável. O índice é definido pela equação abaixo:

$$IA [kg/GJ] = (\% \text{ de cinzas}) \cdot (\% \text{ de álcalis nas cinzas}) \cdot (PCS) - 1$$

sendo que o teor de álcalis corresponde à soma das concentrações de K_2O e Na_2O nas cinzas.

Segundo JENKINS ET AL. (1998), se $0,17 < IA < 0,34$, "fouling" é provável. Se $IA > 0,34$, "fouling" é virtualmente certo. Consideradas as concentrações de álcalis indicadas na Tabela 2.8.6-1 para duas amostras de palha, conclui-se que, na melhor das hipóteses, "fouling" é praticamente certo.

Tabela 2.8.6-1: Índice de álcalis para amostras de palha de cana-de-açúcar

Parâmetro	Amostra 1 ¹	Amostra 2 ²	Amostra 3 ³
% cinzas (base seca)	4,5	3,9	11,6
% K_2O nas cinzas (base seca)	13,39	13,39	9,48
% Na_2O nas cinzas (base seca)	0,27	0,27	0,50
PCS [kJ/kg]	16.011 ⁴ 16.630	⁴	17.150
Índice de álcalis [kg/GJ]	0,384	0,320	0,675

Fontes: ¹ Jenkins et al. (1996); ² mesma composição de Jenkins et al. (1996), com redução do teor de cinzas; ³ Woytiuk (2006); ⁴ PCS calculado pela fórmula de Mendeliev.

Os problemas acima relatados ("fouling" e "slagging") podem ser minimizados com alterações no projeto dos geradores de vapor. A questão que se coloca é que o desenvolvimento de geradores de vapor específicos para queima de palha de cana-de-açúcar não é, a princípio, do interesse da indústria internacional de equipamentos, uma vez que os geradores de vapor a biomassa, e mais especificamente os geradores de vapor para uso da biomassa residual da cana, representam um mercado pequeno (menos de 1% do total de geradores de vapor no mundo, tendo por base a capacidade de geração, segundo JOYCE E DIXON (2006)). Assim, o desenvolvimento de geradores de vapor aptos a operar com palha da cana-de-açúcar deverá ser feito sobretudo no Brasil.

2.9 Estudo das rotas para recuperação da palha da cana e estimativa de custos

Este estudo identificou e analisou as pesquisas realizadas, no Brasil, para o processo de recuperação da palha. O objetivo é identificar as lacunas de pesquisa e desenvolvimento que viabilizem o uso da palha no processo de hidrólise e combustão. Conceitualmente, a palha é composta pelas folhas secas, folhas verdes e pelo poenteiro da cana-de-açúcar. São denominadas rotas de recuperação as variadas alternativas de colheita e manuseio da palha até sua chegada na usina. Denomina-se PROCESSO (Figura 2.9-1) a rota de recuperação da palha somada às etapas realizadas na usina, necessárias para a hidrólise ou combustão. As maiores contribuições são encontradas nos trabalhos da FEAGRI/UNICAMP, da ESALQ/USP, e do CTC, considerando inclusive as suas respectivas referências.

Os trabalhos realizados na FEAGRI/UNICAMP enfatizam o desenvolvimento de máquinas e equipamentos agrícolas e análise de processos ou operações agrícolas e ensaios. Uma importante contribuição aos estudos de aproveitamento da palha é a dissertação apresentada por MICHELAZZO, 2005. Nesta foram analisados e comparados seis sistemas de manuseio da palha, envolvendo as etapas de enleiramento, recolhimento, adensamento, carregamento, transporte e redução de tamanho do palhico. Em todos os casos o estudo considera os equipamentos com seu desempenho máximo em cada operação, visando simular uma condição futura, estabilizada, como é atualmente o caso das operações de colheita, carregamento e transporte da cana que atingiu boa eficiência e custos baixos. Para a análise dos sistemas foram consideradas: as jornadas de trabalho, os tempos de manutenção dos equipamentos, os tempos perdidos e as eficiências operacionais dos equipamentos, para os quais existe um mercado consolidado de informações correspondentes a operações mecanizadas já consolidadas na produção de cana.

A recuperação do palhico na colheita de cana picada e crua tem seguido diversos caminhos; na maioria dos casos são utilizando equipamentos de fenação que enleiram e levantam o palhico do solo após um período de secagem natural. Estes processos envolvem diversos equipamentos como enleiradoras, enfardadoras, tratores e carregadoras. As principais restrições deste sistema de recuperação do palhico são os elevados investimentos em equipamentos por unidade processada e a baixa qualidade do palhico recuperado em termos principalmente de impurezas

minerais que freqüentemente ultrapassam 5%. Estudos realizados no decorrer deste projeto compararam seis sistemas alternativos de recuperação de palhico em termos dos principais físicos envolvidos e o custo da tonelada de material recuperado. O sistema de recuperação denominado de colheita integral apresentou os menores custos para qualquer distância de transporte e mostrou-se a solução mais versátil em termos de recuperação parcial do palhico já que a porcentagem de palhico recuperado pode facilmente ser ajustada variando a velocidade do extrator primário da colhedora. A recuperação do palhico simultaneamente com os colmos elimina uma série de operações de recuperação que justificam o menor custo da colheita integral. O palhico recuperado pelo sistema integral apresenta um teor de impurezas mineral muito inferior ao dos sistemas que recuperam o material do solo, após operações de rastelamento ou enleiramento. Outra vantagem do sistema integral diz respeito ao fato da palha não ter que ser removida pela colhedora e com isso evita-se o elevado nível de perdas dos extratores primários quando se objetiva a separação total da palha.

Na ESALQ/USP, além dos trabalhos que apresentam aspectos relativos às variedades da cana e suas respectivas características (os quais incluem as características da palha), tais como as características morfológicas, produtividade e composição da cana, foram realizados diversos estudos relacionados especificamente com a palha (e com o palhico) da cana-de-açúcar. A contribuição, que resume os avanços mais recentes, foi apresentada por RIPOLI (2006), no II Workshop Tecnológico "Colheita de Cana-de-açúcar e Palha para Produção de Etanol". Tal trabalho apresenta variados sistemas de recolhimento do palhico, na maioria com pesquisa de campo, mostrando a eficiência das máquinas e equipamentos envolvidos no processo e seus respectivos custos.

O CTC também possui uma equipe (área/departamento) voltada para o estudo do aproveitamento dos resíduos da cana-de-açúcar. O principal trabalho já publicado (HASSUANI, LEAL E MACEDO, 2005) foi um estudo realizado para o PNUD (Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento) que trabalhou seis objetivos, entre eles a qualidade (ou características) do palhico e rotas para recuperação do mesmo. Os demais objetivos são relacionados à gaseificação e impactos ambientais. Este estudo também foi realizado em campo e está sendo considerado mais específico devido à abrangência da amostragem utilizada.

As alternativas para a recuperação da palha, apresentadas na Figura 2.9-1, consideraram a colheita de cana crua e mecanizada, com uma porcentagem de palha deixada no campo, sendo:

1. Colheita com palha deixada no solo; enleiramento, enfardamento, carregamento, transporte,
2. Colheita com palha deixada no solo; enleiramento, carregamento (picagem), transporte,
3. Colheita com palha colocada diretamente em transbordo separado da cana e
4. Colheita com palha colocada juntamente com a cana (integral)

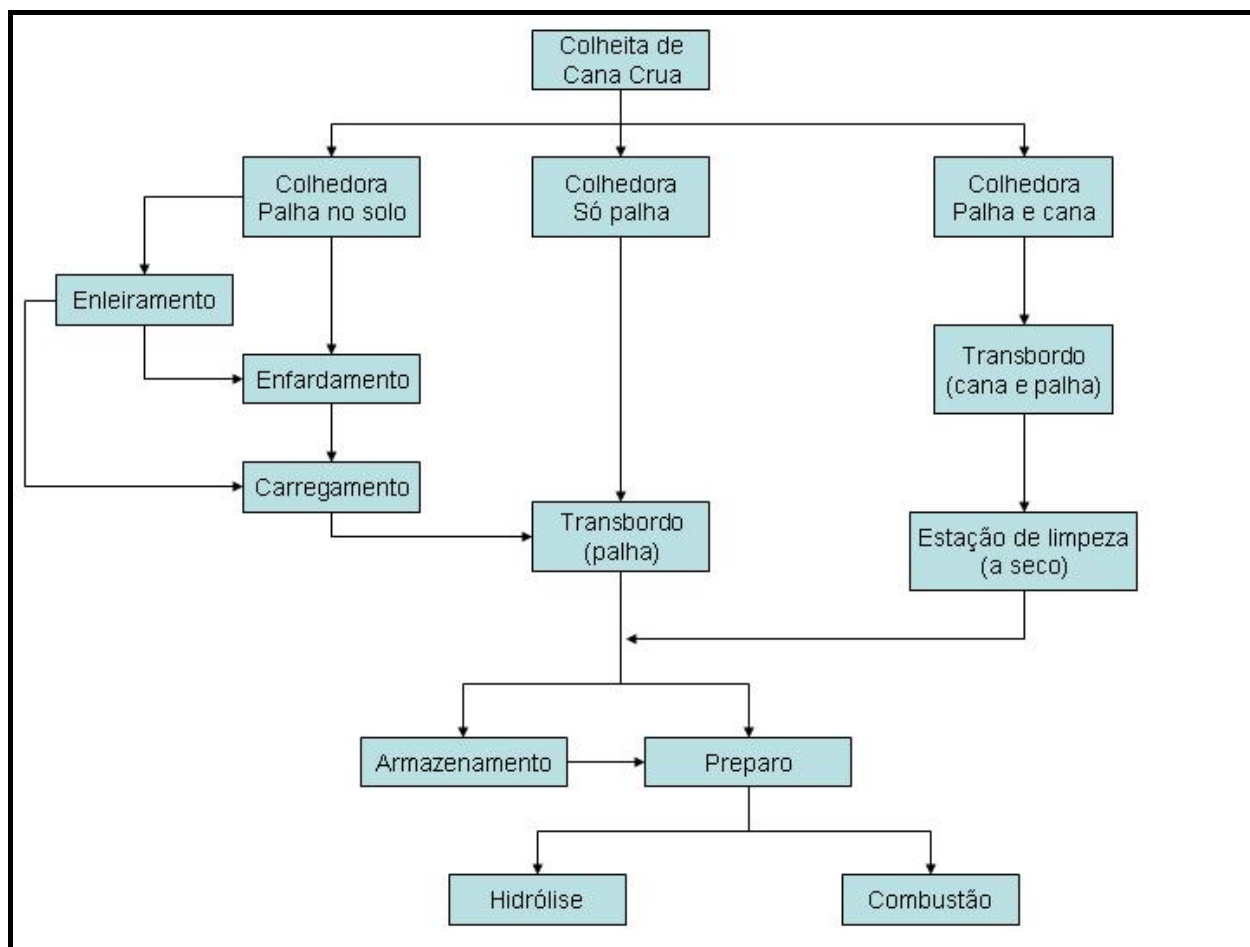


Figura 2.9-1: Processo de recuperação e uso da palha

A opção tecnológica de colheita simultânea de colmos e palha, separando ambos os produtos na colhedora e com condicionando-os para o transporte, com a mesma prioridade em termos de custo e qualidade, não foi contemplada nos estudos consultados. Os colmos de cana são preparados para o transporte através da picagem de forma a conseguir densidade de carga na faixa de 400 a 500 kg/m³. A palha deveria também ser condicionada para o transporte com densidade próxima de 200 kg/m³. A alternativa de adensar a palha no próprio equipamento de colheita não foi abordada nos estudos consultados, porém, se desenvolvido um processo (equipamento) para adensar a palha no campo, com custo acessível, poderia ser uma alternativa competitiva. Uma solução dessa natureza deve permitir recuperação parcial da palha de forma que parte da mesma permaneça sobre o solo para viabilizar a técnica de plantio direto. Uma porcentagem de palha deixada no campo, estimada em torno de 40%, permite aproveitar os benefícios agrônômicos relacionados na Tabela 2.9-1. A retirada parcial da palha pode ajudar a contornar as desvantagens associadas a sua presença no campo, principalmente nesta fase inicial de aprendizado do manejo do canavial com cobertura morta.

Tabela 2.9-1: Vantagens e desvantagens da palha deixada no campo

Vantagens	Desvantagens
Dificulta a erosão	Risco de incêndio
Controla ervas daninhas	Exige melhor planejamento agrônômico
Nutre o solo	Exige melhor controle de pragas
Mantém a umidade do solo	Dificulta a incorporação do adubo ao solo

Sugere-se que as pesquisas que venham a ser realizadas para a recuperação da palha sejam integradas aos estudos de hidrólise e combustão, de forma que as variáveis analisadas e os respectivos resultados venham a subsidiar e contribuir com o estudo do outro. Para ilustrar, pode-se citar a questão da impureza mineral, cuja quantidade mínima aceitável deveria ser colocada pelos grupos de hidrólise e de combustão para que os grupos de estudo sobre a palha venham buscar soluções para atingir a meta proposta.

As conclusões mais relevantes obtidas nos trabalhos analisados são:

- Os equipamentos testados para enfardamento, visando atingir a densidade ideal para o transporte da palha, são os utilizados na pecuária e no cultivo algodoeiro. Não há equipamento desenvolvido exclusivamente para adensar a palha. Os equipamentos de fenação apresentam baixa capacidade operacional (t/h) e como consequência resultam em custos elevados para aplicação energética de que trata este projeto.
- Verifica-se nos estudos, que a recuperação baseada em uma seqüência de operações, tais como rastelamento ou enleiramento seguidas de enfardamento ou picagem e finalmente carregamento dos fardos resultam em custos e níveis de contaminação elevados.
- O processo de enleiramento incorpora de 2,3% a 9,2% de terra, dependendo da alternativa, máquina e manejo utilizado. Embora não existam estudos que indique qual a quantidade máxima de impureza mineral aceitável para os processos de hidrólise e combustão as opiniões de especialistas indicam que o referido nível de impureza será que será reduzido significativamente. Considerando a dificuldade que existe em retirar essa impureza em processo específico de limpeza pode-se concluir que a recuperação da palha deveria ser feita sempre que a mesma se já lança da ao solo para posterior levantamento.
- A porcentagem de palha deixada no solo deve considerar as condições agrônômicas de modo a trazer um maior número de vantagens, como conservação de umidade, controle de ervas daninhas, controle de erosão e manejo da cigarrinha. Alguns trabalhos sugerem deixar de 7,5 a 9 toneladas por hectare, outros uma média de 30% da palha produzida por hectare.
- Os estudos apontam o sistema de colheita integral, cana e palha juntas para separação na usina, como o sistema que traz a melhor relação custo x benefício. Porém, alertam que é necessário melhorar a eficiência do sistema de limpeza (único existente), ou pesquisar alternativas a este.

- Os custos obtidos para a palha entregue na usina variam de R\$ 12,65 reais, considerando a colheita integral até R\$ 88,34 considerando a briquetagem da palha, ambos considerando um raio de 15 km. A determinação do custo foi feita a partir das eficiências máximas que possam ser obtidas por um determinado conjunto de equipamento, respeitando seu tempo de parada.

Em uma análise mais ampla, conclui-se que as pesquisas realizadas para recuperação da palha ainda de modo insipiente, assim como a aceitação deste processo pelo setor sucroalcooleiro, não são unicamente em função dos custos apresentados, mas sim, pelo fato de não haver uma demanda para a palha. Em outras palavras, como o processo de hidrólise ainda não é realidade e não foram mensurados os reais impactos da queima da palha (seja nas caldeiras existentes, como em protótipos desenvolvidos exclusivamente para este fim) e há sobra de bagaço, a palha colocada hoje na usina é considerada um problema.

Desta forma, a sugestão é que os estudos, relacionados à palha, sejam realizados de forma complementar e integrada aos estudos de combustão e hidrólise, sendo resumidos nas seguintes necessidades:

- Caracterização da palha para hidrólise e para queima;
- Determinação do máximo de impureza que a palha deveria ter;
- Sistemas de preparo da palha para hidrólise e para queima;
- Condições de armazenamento e alimentação;
- Testes de queima em caldeiras e protótipos exclusivos para palha;
- Hidrólise a partir da palha;
- Desenvolvimento de tecnologia de adensamento aplicável em colhedoras;
- Métodos para obtenção de palha mais limpa no campo;
- Desenvolvimento de equipamentos que permitam a separação da palha na colhedora de cana;
- Desenvolvimento de sistemas eficientes de separação e limpeza da cana e palha na destilaria.

Vale observar que também são necessárias as pesquisas complementares que mensurem a sustentabilidade de qualquer alternativa que venha a ser proposta.

Considerar a importância da palha, seja a través da produção de etanol, seja para manter o balanço energético das destilarias e, na medida do possível, gerar energia elétrica para a rede, implica na revisão dos conceitos hoje existentes que tratam a palha como impureza. Transformar a palha em matéria-prima de valor correspondente ao da cana, significa rever os estudos feitos no melhoramento genético, que podem contribuir para a produção de palha com as características desejadas, rever e até mesmo criar as normas para pagamento da palha fornecida por terceiros, desenvolver processos que analisem a composição da palha quando a mesma chegar na destilaria e equipamentos que determinam o teor de impurezas minerais nela contida.

2.10 Avaliação do uso de outros resíduos agroflorestais

Este estudo tem o objetivo de identificar o potencial dos resíduos agroflorestais, com exceção dos resíduos da cana-de-açúcar, para a produção de etanol. A pesquisa envolveu a identificação dos resíduos, a quantidade disponível e a região geográfica de maior produtividade, a quantidade de hemicelulose e celulose e, conseqüentemente, a produtividade de etanol. Vale observar que o coeficiente de conversão é teórico. Ainda não existem estudos que permitam obter um valor mais preciso. Os resultados aqui levantados consideram apenas o potencial teórico de produção de etanol, a partir da hidrólise, ou seja, não foi feita uma análise da viabilidade técnica e econômica. Os valores obtidos a partir dos fatores estequiométricos foram convertidos em dois cenários: um de produção inicial e um otimizado.

Resíduos agroindustriais

Os resíduos estão divididos em resíduos de origem agrícola e resíduos de origem industrial. Os resíduos de origem agrícola, resíduos pós-colheita, são predominantemente caules (ou colmos), folhas verdes e palhas. Os resíduos de origem industrial são decorrentes do beneficiamento dos produtos agroflorestais: casca, farelo, sementes etc. A Tabela 2.10-1 mostra a relação de culturas e seus respectivos resíduos. Os valores são os adaptados da literatura.

Tabela 2.10-1: Porcentagem de resíduos por tipo e cultura

Cultura	Casca (%)	Farelo (%)	Outros (%)	Pós-colheita (%)	Produtividade kg/ha
Abacate 14,0		21,9	20,0		--
Abacaxi			48,0	100,0	27.032**
Amendoim 20,0					2.318
Arroz 20,0		8,0		125,0	3.369
Aveia				50,0*	1.420
Banana 33,0			12,0		13.844
Cacau 50,0					327
Café 66,0					1.083
Caju			27,0		362
Laranja			50,0		22.258
Maça			25,0		23.522
Mandioca	1,0			200,0	14.214
Milho		11,6	22,0	69,0	3.040
Soja				120,0	2.230
Sorgo				100,0	1.929
Tomate			10,0		57.435
Trigo		23,0		50,0	1.973
Uva 23,0			2,0		16.099

Fonte: Carvalho, 1992 e Agricultura Brasileira em Números, MAPA, 2005

As porcentagens são em relação ao peso do grão (ou do fruto), base seca. Os itens marcados com * referem-se à porcentagem em relação ao peso da planta. Os itens marcados com ** são frutos por hectare.

O resíduo vegetal possui os seguintes componentes: celulose (um polímero de glicose), hemicelulose (um polímero de glicose e outros açúcares), lignina (um polímero de fenóis), proteína, materiais hidrossolúveis (como açúcares) e materiais éter-solúveis (como lipídios). Para identificar o potencial de produção de etanol é preciso conhecer os valores de hemicelulose e celulose, bem como a porcentagem de umidade. A Tabela 2.10-2 apresenta os resíduos, cujos componentes estão disponíveis na literatura e o potencial de etanol, considerando os fatores estequiométricos.

Tabela 2.10-2: Composição parcial do resíduo e produtividade

Resíduo	Hemicelulose (%)	Celulose (%)	Etanol (litros/t)
Abacaxi 4,2		2,7	49,6
Arroz (casca)	38,4	29,4	487,2
Arroz (palha)	22,0	43,5	473,0
Arroz (farelo)	38,0	28,0	474,2
Aveia (casca)	28,4	29,3	414,7
Banana (casca)	28,0	48,9	555,2
Banana (outros)	15,0	38,5	387,0
Café (palha)	14,7	22,7	269,9
Coco-da-baía (casca)	7,5	33,0	293,5
Milho (palha)	34,5	37,6	519,1
Milho (sabugo)	34,7	31,7	477,7
Mandioca (farelo)	11,8	22,3	246,2
Mandioca (rama)	14,9	29,5	320,3
Soja (palha)	16,3	45,6	444,3
Sorgo (palha)	44,0	34,0	560,6
Trigo (palha)	31,8	33,8	472,6

Fonte: Agricultura Brasileira em Números, MAPA, 2005

Considerando um cenário para introdução das tecnologias (Cenário 01) e um cenário otimizado (Cenário 02) e usando os mesmos índices de rendimentos apresentados para o bagaço e palha da cana-de-açúcar, têm-se as produtividades mais próximas do real. A Tabela 2.10-3 mostra os rendimentos para os dois cenários.

Tabela 2.10-3: Rendimentos dos cenários 01 e 02

Resíduo	Etanol (l/t)	Cenário 01(l/t)	Cenário 02 (l/t)
Abacaxi 49,6		14,4	29,5
Arroz (casca)	487,2	156,7	298,9
Arroz (palha)	473,0	231,8	334,8
Arroz (farelo)	474,2	149,2	289,1
Aveia (casca)	414,7	155,9	267,0
Banana (casca)	555,2	260,5	386,5
Banana (outros)	387,0	205,2	282,6
Café (palha)	269,9	121,0	184,8
Coco-da-baía (casca)	293,5	175,8	225,7
Milho (palha)	519,1	200,4	337,2
Milho (sabugo)	477,7	168,9	301,6
Mandioca (farelo)	246,2	118,9	173,3
Mandioca (rama)	320,3	157,0	226,8
Soja (palha)	444,3	240,6	327,3
Sorgo (palha)	560,6	181,2	344,4
Trigo (palha)	472,6	180,1	305,7

Cenário 1: hexoses = 82, 5% com fermentação = 91%, pentoses = 74% e fermentação = 0%, com destilação = 99,75%

Cenário 2: hexoses = 9 5% com fermentação = 9 1%, pentoses = 85% e fermentação = 50%, com destilação = 99,75%

A Tabela 2.10-4 apresenta o potencial de produção de etanol, com base no anuário 2005 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), a partir do potencial de produção dos índices estequiométricos, do cenário 01 e do cenário 02 e o potencial da região mais produtiva, considerando o cenário 01 e o cenário 02.

Tabela 2.10-4: Potencial de produção de álcool anidro (bilhões de litros/ano)

Resíduo	Brasil*	Brasil* Cen 01	Brasil* Cen 02	Estado* Cen 01	Estado* Cen 02	
Abacaxi	0,039	0,011	0,023	0,002	0,005	PA
Arroz (casca)	1,285	0,413	0,789	0,191	0,365	RS
Arroz (palha)	7,800	3,823	5,521	1,769	2,554	RS
Arroz (farelo)	0,500	0,157	0,305	0,073	0,141	RS
Aveia (casca)	0,108	0,041	0,070	0,030	0,052	PR
Banana (casca)	0,205	0,096	0,143	0,015	0,023	SP
Banana (outros)	0,270	0,143	0,197	0,023	0,032	SP
Café (palha)	0,363	0,163	0,248	0,082	0,125	MG
Coco-da-baía (casca)	0,472	0,283	0,363	0,103	0,132	BA
Milho (palha)	12,584	4,858	8,175	1,185	1,994	PR
Milho (sabugo)	3,692	1,306	2,331	0,319	0,569	PR
Mandioca (farelo)	0,068	0,033	0,048	0,006	0,009	PA
Mandioca (rama)	17,704	8,681	12,534	1,596	2,305	PA
Soja (palha)	27,288	14,779	20,099	5,128	6,975	MT
Sorgo (palha)	0,853	0,276	0,524	0,092	0,175	GO
Trigo (palha)	1,101	0,420	0,712	0,249	0,423	PR
Total	74,33	35,48	52,08	10,86	15,88	

Resíduos florestais

O resíduo florestal é classificado como resíduo proveniente da extração da madeira e resíduo da indústria moveleira. Do volume total de extração 40% a 60% são resíduos. No pólo madeireiro nacional, apenas 33% da madeira é aproveitada, ou seja, têm-se 67% de rejeitos. Atualmente, estima-se que em torno de 85% do total de rejeitos são aproveitados para geração de energia. No Estado de Santa Catarina, as indústrias de móveis vêm utilizando o resíduo para cogeração. Uma tonelada de resíduo (base seca) de madeira pode produzir 541,8 litros de etanol. A produção total de etanol, em um cenário otimizado, chega a 32,3 bilhões de litros. A Tabela 2.10-5 apresenta os valores para a madeira.

Tabela 2.10-5: Produção de etanol através da madeira

	Resíduo (%)	Etanol l/t	Cen 01 l/t	Cen 02 l/t	Etanol* Cen 01	Etanol* Cen 02
Madeira	83,5	541,8	266,5	384	22,4	32,3

* Bilhões de litros de álcool anidro

A madeira é constituída por cerca de 50% de carbono, 44% de oxigênio, 6% de hidrogênio, constituindo uma massa heterogênea de aproximadamente 50% de celulose, 20% de hemicelulose e 30% de lignina. O resíduo de madeira é o que tem maior potencial de produção de etanol. Entre as alternativas de aproveitamento estão a produção de energia elétrica, o uso como combustível, a confecção de peças de artesanato, a produção de briquetes, a produção de papel, entre outros.

Considerações

Foram analisados os 17 resíduos cujos valores de referência, hemicelulose e celulose, estavam disponíveis na literatura. Estes resíduos, em um cenário otimizado, têm potencial para produzir 52 bilhões de litros de etanol. As questões que hoje vem sendo colocadas para a palha, tais como adensamento e transporte, caracterização, definição do melhor uso (geração de energia ou produção de etanol), entre outros, de vem ser considerada também para os resíduos aqui analisados.

A maioria dos resíduos são utilizados como cobertura vegetal e como ração animal. Outros, em menor quantidade, são utilizados pelas comunidades locais para a fabricação de móveis e utensílios e confecção de artesanato.

Não há estudos que determinem a capacidade mínima de resíduos e respectivas distâncias para que a produção de etanol seja viável comercialmente. Da mesma forma, não há estudos no Brasil que estejam desenvolvendo plantas de hidrólise para qualquer outro resíduo que não seja a palha e o bagaço.

Os estudos que citam as quantidades de resíduos e sua respectiva composição (principalmente umidade, celulose e hemicelulose) foram realizados, na sua maioria, para identificar o potencial de aproveitamento dos mesmos para alimentação de ruminantes. Os valores encontrados na literatura disponível possuem uma grande variação. Os valores aqui utilizados representam uma média dos valores disponíveis.

Um estudo de viabilidade técnica-econômica, incluindo os gargalos de pesquisa e desenvolvimento e de aproveitamento dos resíduos para produção de etanol e também como fonte de energia térmica e elétrica, poderiam ser realizados para os que têm mais potencial, considerando a regionalização: madeira (Amazônia e Santa Catarina), palha da soja (Mato Grosso), rama da mandioca (Pará), palha do milho (Paraná) e palha do arroz (Rio Grande do Sul). Estes 05 resíduos representam 82% da produção total de etanol do cenário otimizado.

2.11 Caracterização de uma destilaria com novas tecnologias

A destilaria proposta utiliza as tecnologias relacionadas na Tabela 2.11-1. Dentro do marco geral de sustentabilidade contemplado nessas tecnologias, aparecem com destaque as inovações relacionadas à redução de custos e/ou aumento da produtividade. Este critério deve ser atendido para que a tecnologia seja adotada pelos produtores, mesmo que existam benefícios mais importantes no médio ou longo prazo.

Algumas das tecnologias propostas, como é o caso das variedades transgênicas, os viveiros tratados e o transporte por rodotrens, devem encontrar menor resistência para sua implantação, em função de serem tecnologias mais conhecidas ou divulgadas. Outras tecnologias mais radicais como o plantio direto, a agricultura de precisão e a tecnologia de informação, demandarão um trabalho de divulgação adequadamente planejado para acelerar sua implantação.

Tabela 2.11-1: Perfil de uma destilaria que utiliza novas tecnologias

Atividade	Tecnologia
Mudas Viveir	os tratados
Variedades Transgênicas	específicas da região
Preparo do solo	Nulo – plantio direto
Eliminação de soqueiras	Química com ETC
Correção de solo	Em superfície com ETC
Plantio	Módulo de plantio 4L com ETC
Cultivo de soqueira	Módulo de cultivo 4L com ETC; Adubo incorporado com disco dentado
Adubação	Banco de dados; mapas de produtividade; histórico; algoritmo de análise
Controle de pragas	MIP com mapeamento do nível máximo de infestação
Colheita M	Módulo de colheita 2L com direção automática (GPS) e containers
Transporte interno	ETC com dois containers de 15 t
Transporte de estrada	Rodotrens com 4 containers de 15 t
Controle Técnico Agrônomo	Banco de dados com algoritmos de análise
Amostragem de solos	Veículo amostrador de solo georeferenciado
Levantamento de pragas	Equipe treinada com captação digital de dados georeferenciados
Gerenciamento do transporte	Gerenciamento digital de destinos de caminhões com auxílio de rádio
Gerenciamento de manutenção de frotas	Controle digital de manutenções; transferência de dados radio/celular com comboios
Recuperação de palha	Colheita integral com separação de palha na estação de limpeza a seco

MIP: manejo integrado de pragas ETC: estrutura de tráfego controlado
4L: equipamento que processa 4 linhas de cana simultaneamente

A introdução de novos cenários como os propostos a seguir para 2015 (Tabelas 2.11-2 e 2.11-3) e 2025 (Tabelas 2.11-4 e 2.11-5) pressupõem, uma mudança significativa na destilaria padrão.

A necessidade de redução do consumo e reutilização de água, bem como redução do volume de efluentes, leva à incorporação de novos investimentos, associados a:

- Concentração térmica de caldo e de vinhoto;
- Destilação e retificação, em unidades múltiplos efeitos, para redução do consumo de vapor de processo;
- Desidratação empregando processo de baixo consumo de vapor;
- Aumento da capacidade dos aparelhos de destilação (1.000.000 litros/dia);
- Automação total do processo;
- Investimentos associados à reformulação da fermentação e aos sistemas de resfriamento da fermentação mais eficientes.
- Investimentos associados à implantação de ciclos de geração de vapor e energia elétrica operando a maior pressão e com maior eficiência.

As Tabelas 2.11-2 e 2.11-4 apresentam a entrada destas alterações na destilaria e as Tabelas 2.11-3 e 2.11-5 apresentam o impacto sobre o rendimento industrial e a produção de AEAC por safra da destilaria padrão. Apresentam, também, a redução significativa na quantidade de vinhoto final por litro de etanol, decorrente da introdução de processos de concentração térmica de vinhoto.

Para o primeiro incremento de tecnologia, obtém-se melhora no rendimento para 91 litros de porção de cana. Associados a estes ganhos de eficiência, a introdução de novas tecnologias acarreta em: redução significativa do volume de vinhoto a aplicar, que agora passa para 4 litros por litro de etanol; redução na captação de água (1m³) e eliminação das queimadas. A redução do consumo de vapor de processo provocada pela introdução da reformulação da destilação vem a compensar o aumento de demanda de vapor necessário para operar o processo de concentração térmica do vinhoto.

Tabela 2.11-2: Destilaria padrão, desempenho conforme a tecnologia industrial proposta para 2015

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)	11.976
Rendimento industrial (litros etanol /tonelada de cana) 91,00	
Produção diária (litros)	1.089.820
Produção safra/usina (litros)	182.000.000
Área agrícola da Destilaria (ha)	35.000
ART na cana posta na Usina (kg/ tonelada de cana)	159
Fibra na cana posta na Usina (kg/ tonelada de cana)	140
Bagaço total em cana (kg/ tonelada de cana)	280
Eficiência na extração (%)	97
Eficiência no tratamento do caldo (%)	99,5
Rendimento na fermentação (%)	91,5
Rendimento na destilação (%)	99,75
Rendimento global (%)	87,83

Tabela 2.11-3: Tecnologia disponível em 2015

Preparo e Extração	Processos de limpeza de cana a seco com eliminação do emprego de água; Preparo e extração eletrificados; Moendas otimizadas ou difusores para extração próxima de 97%
Fermentação	Pré-evaporação do caldo em 6 efeitos; Processos de tratamento de caldo e preparo do mosto, incluindo esterilização do mosto; Processo de fermentação Melle Boinot ou contínua; Fermentação com vinho final de 11°GL (11-12°GL); Sistemas de resfriamento auxiliares para operar a 30-32°C; Redução do emprego de ácido sulfúrico na fermentação; Eliminação do uso de antibióticos
Destilação	Destilação múltiplo efeito 2 estágios; Termocompressão ou vácuo; Consumo de vapor; Consumo de energia elétrica; Aparelhos de destilação na escala de 1000 m ³ /dias AEAC; Automação completa da destilaria;
Desidratação	Emprego de destilação extrativa com mono-etileno glicol; Absorção com Peneiras moleculares; Destilação azeotrópica com ciclohexano em 3 efeitos;
Tratamento do Vinhoto	Perda de etanol no vinhoto menor que 0,02%; Vinhoto por litro de AEAC após destilação: 9,5 litros; Concentração térmica do vinhoto em múltiplos efeitos (6 estágios); Vinhoto por litro de AEAC após tratamentos, reduzido a 50% do volume original: 4,0 litros; Biodigestão termofílica do vinhoto estará disponível com Produção de energia adicional de biogás;
Demanda energética do processo	Consumo de vapor de processo por tonelada de cana: 353 kg; Consumo de vapor de escape (kg/litro AEAC): 3,88 kg; Consumo de energia elétrica por tonelada de cana: 28kWh;
Captação de água no processo industrial	Redução da captação de água a 1m ³ por tonelada de cana

Novamente o salto de tecnologia previsto para 2025 provavelmente acarará um aumento da eficiência, recuperando agora 92,5 litros de etanol por tonelada de cana e reduzindo o volume de vinhoto efluente 2,36 litros. Examinando a tabela 2.11-5 pode ser visto um novo patamar de redução do volume de vinhoto final. A demanda adicional de vapor de processo para atender esta concentração provém da introdução de novas tecnologias. No cenário de 2025, está prevista uma introdução significativa de novas tecnologias como a destilação e retificação em 3 efeitos e a per-vaporação que reduzem significativamente o consumo de vapor, a operação da

fermentação em al to te or a lcoólico e a el iminação do ácido su lfúrico na fermentação.

Tabela 2.11-4: Destilaria padrão, desempenho conforme a tecnologia industrial proposta para 2025

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)	11.976
Rendimento industrial (litros etanol /tonelada de cana)	92,50
Produção diária (litros)	1.107.605
Produção safra/usina (litros)	184.970.000
Área agrícola da Destilaria (ha)	35.000
ART na cana posta na Usina (kg/ tonelada de cana)	159
Fibra na cana posta na Usina (kg/ tonelada de cana)	140
Bagaço total em cana (kg/ tonelada de cana)	280
Eficiência na extração (%)	98
Eficiência no tratamento do caldo (%)	99,75
Rendimento na fermentação (%)	92
Rendimento na destilação (%)	99,8
Rendimento global (%)	87,83

Tabela 2.11-5 Tecnologia disponível em 2025

Preparo e Extração	<p>Processos de limpeza de cana a seco com eliminação do emprego de água;</p> <p>Preparo e extração eletrificados;</p> <p>Moendas otimizadas ou difusores para extração próxima de 98 %</p>
Fermentação	<p>Pré-evaporação do caldo em 6 efeitos;</p> <p>Processos de tratamento de caldo e preparo do mosto, incluindo esterilização do mosto;</p> <p>Fermentação contínua;</p> <p>Fermentação com vinho final de acima de 12°GL (12-14);</p> <p>Sistemas de resfriamento auxiliares para temperaturas de 28°C ou menores;</p> <p>Eliminação do H₂SO₄ na fermentação/substituição por outro ácido (HNO₃);</p> <p>Eliminação do uso de antibióticos;</p>
Destilação	<p>Destilação e retificação em múltiplo efeito (3 efeitos);</p> <p>Termocompressão e vácuo;</p> <p>Consumo de vapor;</p> <p>Consumo de energia elétrica;</p> <p>Aparelhos de destilação na escala de 1000 m³/dias AEAC;</p> <p>Automação completa da destilaria</p>
Desidratação	<p>Emprego de destilação extrativa com mono-etileno glicol;</p> <p>Absorção com Peneiras moleculares;</p> <p>Destilação azeotrópica com ciclohexano em 3 efeitos;</p> <p>A per-vaporação para obtenção de AEAC estará disponível com redução significativa do consumo de vapor</p>
Tratamento do Vinhoto	<p>Perda de etanol no vinhoto menor que 0,015%;</p> <p>Vinhoto por litro de AEAC após destilação: 8,38 litros;</p> <p>Concentração térmica do vinhoto em múltiplos efeitos (6 estágios);</p> <p>Vinhoto por litro de AEAC após tratamentos reduzido a 33% do volume original: 2,36 litros;</p> <p>A biodigestão termofílica do vinhoto estará disponível com produção de energia adicional de biogás</p>
Demanda energética do processo	<p>Consumo de vapor de processo por tonelada de cana: 372 kg;</p> <p>Consumo de vapor de processo (kg/litro AEAC): 4,02 kg</p> <p>Consumo de EE por tonelada de cana: 28 kWh</p>
Captação de água no processo industrial	<p>Redução da captação de água abaixo de 1m³ por tonelada de cana (aproximadamente 0,5m³)</p>

A Tabela 2.11 -6 re sume os quatro casos analisados, mostrando o ganho no rendimento industrial e o impacto deste sobre a produção total de etanol.

Tabela 2.11-6: Quadro comparativo, destilaria padrão, destilaria otimizada: situação atual e expectativas para 2015 e 2025

Moagem total	2.000.000 toneladas de cana por safra			
Dias efetivos de safra	167 (extensão da safra incide proporcionalmente)			
Produtividade agrícola (tc/ha)	71,4 (aumentos da produtividade agrícola incidem proporcionalmente)			
Moagem diária	12000 toneladas de cana por dia			
Área agrícola	35000 hectares			
Produtividade Industrial (litros/t cana)	85 88,28		91	92,48
Produção diária de AEHC (litros/dia)	1.017.964	1.057.234	1.089.822	1.107.600
Produção De AEHC por safra, por usina (litros)	170.000.000	176.558.050	182.000.308	184.969.247

Considerando que as tecnologias propostas precisarão de projetos multidisciplinares de desenvolvimento e avaliação de campo, existirá um período de experimentação, durante o qual poderão ser programadas atividades de extensão aproveitando o efeito demonstração das áreas experimentais. O período 2007-2015 corresponderia ao desenvolvimento e início das avaliações de campo para viabilizar a implantação extensiva no período 2015-2025.

A tecnologia da informação requer também de tempo de desenvolvimento, divulgação e amadurecimento até o surgimento de empresas e especializadas na implantação nas destilarias, incluindo o treinamento das equipes responsáveis pela operação dos sistemas. Projetos de pesquisa interdisciplinar serão necessários no período 2007-2015, com a atuação de especialistas em manejo da lavoura, incluindo variedades, adubação e pragas, para participar no desenvolvimento dos algoritmos de auxílio à gestão agrícola.

Os projetos que envolvem engenharia mecânica, elétrica, eletrônica e de computação, mesmo que possam demandar menor tempo de desenvolvimento, devem também ser priorizados no período 2007-2015, para que os mesmos se tornem operacionais, viabilizando o início das experiências agro-nômicas e industriais que deles dependem. Os projetos de recuperação de palha, incluindo processos de separação, adensamento e limpeza, dependem dos resultados dos projetos integrados campo-indústria, que efetuarão a caracterização da palha para seu aproveitamento para queima ou hidrólise.

O desenvolvimento, experimentação e divulgação de sensores e instrumentação necessária para a captação e transmissão de dados de solo e pragas devem ser também priorizados no período 2007-2015, visando sua disseminação até 2025.

As experiências de campo com plantio direto requerem a existência das ETC's, para que o ciclo completo de plantio, colheita, transporte e tratos culturais seja avaliado integralmente. O protótipo inicial de estrutura de tráfego controlado, ETC, demandará um desenvolvimento multidisciplinar de engenharia, envolvendo engenharia de veículos fora de estrada, otimização estrutural, automação e controle juntamente com o desenvolvimento dos módulos de plantio, cultivo, pulverização e colheita. As experiências de plantio direto de verão estão já implantadas até 2015, com resultados iniciais de custos menores, mesmo que os resultados de produtividade não possam refletir ainda os efeitos dessa tecnologia.

3. ESTUDO DE ALTERNATIVAS PARA O SISTEMA DE ESCOAMENTO DA PRODUÇÃO DE ETANOL PARA EXPORTAÇÃO

Este capítulo apresenta as alternativas para o transporte e a infra-estrutura necessárias para viabilizar, até 2025, a exportação de 205 milhões de m³ de etanol, objetivo da Fase 2 do Projeto Etanol. As necessidades internas de construção de coletores e terminais e os custos relativos a estas necessidades estão contemplados neste capítulo.

Inicialmente, apresentar-se-á a matriz de transporte nacional, comparada a países de dimensões similares. O recente Plano de Aceleração do Crescimento será citado, uma vez que ganha importância quanto aos investimentos na área de logística.

Em seguida será apresentada, a distribuição da produção de etanol para exportação, nos anos 2015 e 2025, tomando como base o estudo realizado no Capítulo 1 deste Relatório, incluindo os *clusters* alocados em cada área.

Incluíram-se, também, tabelas e mapas para melhor entendimento e visualização das necessidades de infra-estrutura logística nas áreas selecionadas, tanto para a expansão da produção de etanol como para a exportação do combustível renovável. A distribuição regional dessa expansão será citada neste capítulo, mesmo por tratar-se de informação essencial para os impactos macro-econômicos a serem desenvolvidos em capítulos posteriores.

O levantamento dos terminais marítimos, portos e hidrovias, afetados pela exportação do montante citado, serão abordados após a apresentação da distribuição e desenho logístico determinado para o escoamento do etanol para exportação.

3.1 Infra-estrutura atual e matriz de transporte

O transporte atual de etanol através de dutos no país é praticamente insignificante, não chegando aos 2%. Já o rodoviário responde por cerca de 90% do escoamento. Em 1981, essa última modalidade representava apenas 37% do transporte de álcool, e os dutos, 12%. A ferrovia e hidrovia participavam com 3,3% e 22%, respectivamente. Tal do modo de transporte rodoviário mostra-se completamente incompatível com os volumes de álcool que deverão ser produzidos.

O Projeto Etanol apresentou, no Relatório da Fase 1, a infra-estrutura existente e os projetos a curto e médio prazos das modalidades ferroviária e hidroviária. As modalidades ferroviárias, por duto ou hidroviária são mais compatíveis em termos de custo e capacidade de transporte com as necessidades de transporte futuras de álcool.

O crescimento das exportações de etanol verificada a partir de 2004, que passou de 0,760 milhões de m³ em 2003 para 2,32 em 2004, seguido de 2,59 em 2005 e cerca de 4,0 milhões de m³ em 2006, expôs o déficit do país no que diz respeito à sua infra-estrutura logística interna e externa, e não somente no que diz respeito ao escoamento de etanol.

A matriz de transporte de cargas no Brasil é altamente concentrada no modal rodoviário. Nos últimos cinco anos, esse modal tem se mantido em cerca de 60% do total das cargas transportadas, seguido pelo modal ferroviário. O modal aquaviário é pouco significativo, quando comparado a outros países com dimensão similar à do Brasil, conforme apresentado na Figura 3.1-1.

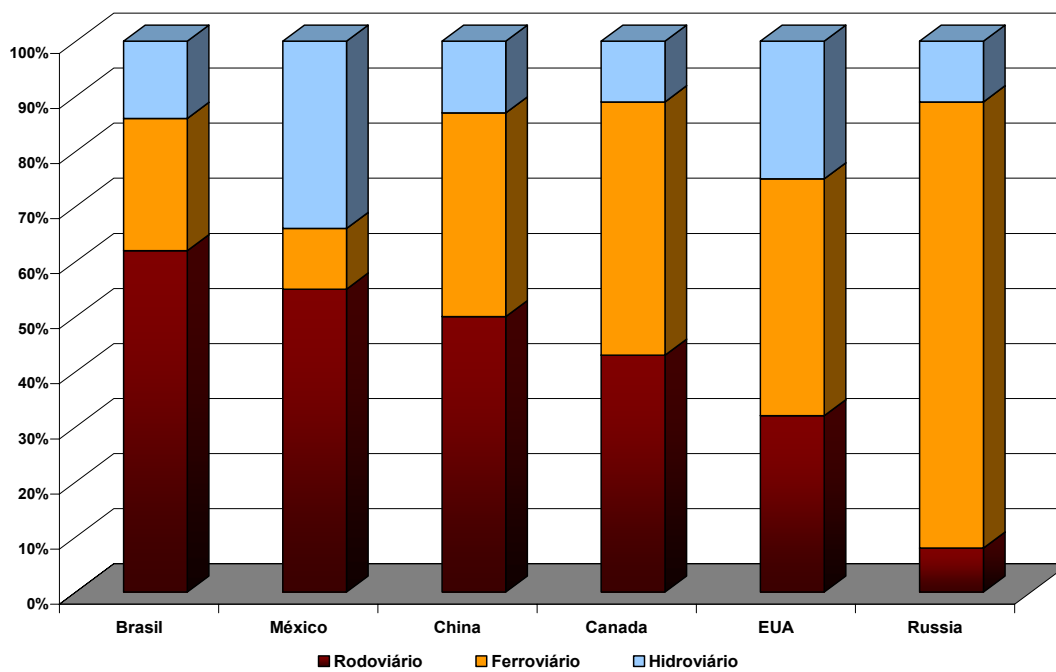


Figura 3.1-1: Comparativo da Matriz de Transporte de Cargas

Fonte: Ministério dos Transportes e ANTT

O governo brasileiro está ciente da necessidade de ampliação de modais de transporte e que as multimodalidades são importantes para viabilizar a interiorização do desenvolvimento econômico do país.

3.2 Alternativas de transporte para cada *cluster* levando em consideração a infra-estrutura existente ou planejada

Para exportar os 205 milhões de m³, objetivo da Fase 2 do Projeto Etanol, as alternativas de transporte para o escoamento de etanol a partir de cada área selecionada e respectivos *clusters* consideram a infra-estrutura existente e os planos recentemente divulgados.

3.2.1 O Plano de Aceleração do Crescimento (PAC)

Com o anúncio do Plano de Aceleração do Crescimento (PAC), o novo desenho logístico para escoamento do volume a ser exportado pelo Projeto Etanol priorizou a rota das hidrovias, sendo que algumas vias fluviais e a malha ferroviária poderão ser utilizadas enquanto os dutos são construídos. Para tanto, considerou-se, também, a situação dos portos marítimos e aquaviários, bem como os terminais e coletores que estão sendo construídos para a expansão da produção de etanol.

O Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), anunciado em janeiro de 2007 pelo governo Lula, promete dispor de R\$ 503,9 bilhões em recursos da União, das estatais e de empresas privadas para a execução de projetos de infraestrutura entre 2007 e 2010. Deste montante, R\$ 58,3 bilhões, ou 11,6% do total pre visto, destinam-se a projetos de logística distribuídos nas cinco regiões do país.

Na área de transportes, o PAC engloba 69 obras de construção e recuperação de 45.337 quilômetros de rodovias e de 2.518 quilômetros de ferrovias. Inclui a modernização de 12 portos marítimos, a construção de 67 portos fluviais e de uma eclusa em Tucuruí (Figura 3.2.1-1), e esta última de especial interesse para este trabalho visando à exportação de etanol, área em destaque, para o porto da Vila do Conde e a Eclusa de Tucuruí, em destaque, em elipse azul, ambos no estado do Pará, região Norte do país.

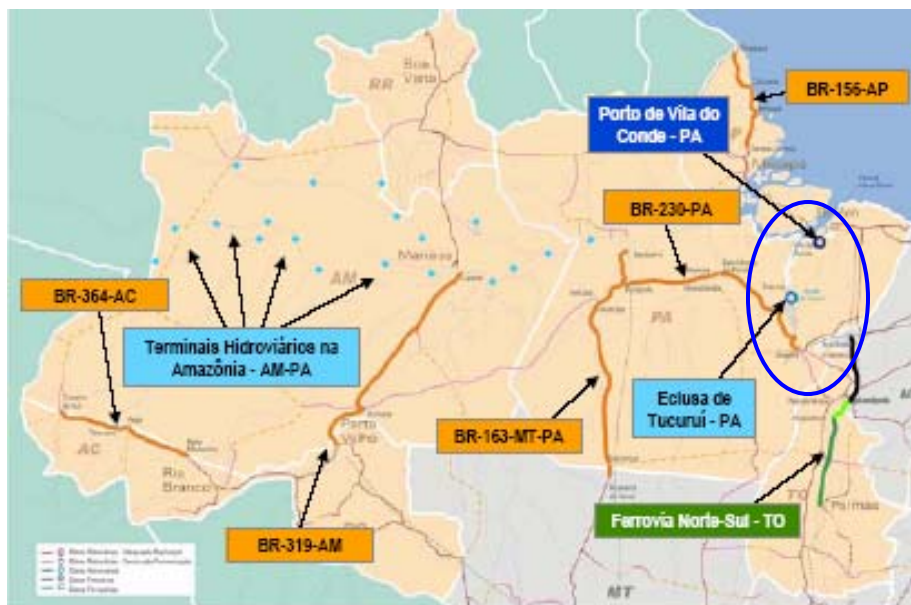


Figura 3.2.1-1: Porto Vila do Conde e Eclusa de Tucuruí (PA)

Fonte: Programa de Aceleração do Crescimento (PAC)

3.2.2 A Petrobras Transportes S.A. – Transpetro

No que diz respeito ao curto e médio prazo para a exportação do álcool, a Petrobras-Transpetro se prepara para escoar até 10 milhões de m³ em 2012, com investimentos de cerca de US\$ 520 milhões.

A primeira etapa desse projeto é a construção de um duto dedicado ao escoamento de etanol da Repplan (SP) até o Terminal Ilha D'Água (RJ), com capacidade de quatro milhões de m³ anuais. A segunda etapa, com a mesma capacidade de escoamento da primeira etapa, visa transportar o etanol produzido na região oeste do estado de São Paulo e inclui a construção de um duto, o uso da hidrovia Tie tê-Paraná e a construção de três terminais.

A terceira, é o trecho que vai de Ribeirão Preto a Uberaba, e a última etapa, com a construção de duto dedicado de Senador Canedo (GO) a Uberaba (MG) e ainda um duto de 90 km de Guararema ao Porto de São Sebastião (SP), embora este porto esteja saturado com a movimentação de petróleo.

O esforço, mesmo que significativo, não satisfaz a necessidade de escoamento do Cenário 2 do Projeto Etanol, Fase 2, que tem com o objetivo exportar 205 milhões de m³.

A necessidade de investimentos em estrutura logística no país está cada vez mais evidente. Os ganhos de produtividade do setor sucroalcooleiro são pulverizados por falta de estrutura adequada para escoamento.

Desse modo, a prioridade no início do Projeto Etanol tem sido o estudo das modalidades de transporte ferroviário e por meio de duto. Na Fase 1 foi também considerada a situação dos portos marítimos e das hidrovias. Estas últimas ganham especial atenção neste Relatório Final, principalmente após o anúncio do Plano de Aceleração do Crescimento, em janeiro de 2007.

3.3 Detalhamento da distribuição da produção de etanol e vias de escoamento para exportação

O Capítulo 1 deste Relatório apresentou a disponibilidade de terras nas dezessete áreas selecionadas e o potencial de produção de etanol (Tabelas 1.3.7.1-1a e 1.3.7.1-1b), que somam 80,8 milhões de hectares e 434,6 milhões de m³. Os montantes acima consideram o potencial de produção de cana-de-açúcar incluindo os ganhos de produtividade agrícola (tc/ha).

A partir dessas informações, iniciou-se a distribuição dos 205 milhões de m³ de etanol que deverão ser exportados em 2025. De acordo com a cenarização realizada para essa expansão¹, em 2015, o país deverá ter uma capacidade exportadora de 63,8 milhões de m³ do combustível, adicionando mais 141,2 milhões de m³ até 2025.

A infra-estrutura existente no país remonta à época da criação do Proalcool, na década de setenta. E mesmo então havia a noção da vantagem do transporte dutoviário. Deve-se considerar, também, que essa estrutura foi idealizada para atender o mercado interno. Portanto, para alcançar o objetivo de exportação do Projeto Etanol, faz-se necessário um novo desenho logístico para seu escoamento.

Para a evidência de distribuição das áreas selecionadas e os volumes a serem exportados, estudou-se as opções logísticas existentes para o curto e médio prazo, o recém lançado Plano (nacional) de Aceleração do Crescimento - PAC - e as perspectivas da Petrobras Transportes S.A. - Transpetro.

¹ O detalhamento da construção de cenários encontra-se no Capítulo 4 deste Relatório.

3.3.1 Distribuição da produção de etanol

A distribuição e escoamento da produção das áreas selecionadas contem pla espaços temporais de 10 e 20 anos. Inicialmente, a exportação de etanol aconteceria a partir das áreas selecionadas mais próximas da infraestrutura existente, principalmente no que diz respeito às hidrovias e ferrovias, embora o Projeto Etanol priorize o transporte via dutos, de modo não somente a o benefício ambiental e econômico deste modal, como também – e principalmente - ao volume a ser transportado.

Uma outra premissa importante do Projeto Etanol é a distribuição da produção, almejando desenvolver áreas menos privilegiadas que têm o potencial para a expansão da produção de cana-de-açúcar e etanol. O objetivo proposto é que, do total da produção, as regiões Norte e Nordeste participem com cerca de 40% da produção total, sendo os 60% restantes produzidos na região Centro-Oeste e Sudeste, incluindo somente o estado de Minas Gerais, evitando estados como São Paulo e Paraná, que concentram atualmente mais de 60% da produção de cana-de-açúcar e etanol.

Com isso em mente e conhecido o potencial de área disponível, procedeu-se à distribuição regional da produção para 2015 e 2025. A região N-NE, em 2015, participa com 33,9% da produção de 63,8 milhões de m³ de etanol (Tabela 3.3.1-1) e com 44,9% do total da produção de 205 milhões de m³, em 2025.

Tabela 3.3.1-1: Produção regional de etanol para exportação em 2015 e 2025

Região e Estados das 17 Áreas (Cenário 2)	Produção Etanol Total por Região (10 ⁶ m ³)		Participação Regional (%)		Participação (%) N+NE e C0+SE	
	2015	2025	2015	2025	2015	2025
	Norte	4,1	10,2	6,4%	5,0%	
Nordeste	17,5	81,9	27,4%	39,9%	33,9%	44,9%
Centro-Oeste	31,5	85,1	49,4%	41,5%		
Sudeste	10,7	27,9	16,8%	13,6%	66,1%	55,1%
Sul	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total Produção	63,8	205,1	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

A produção de etanol para os mesmos períodos, por área selecionada e por estado, encontra-se na Tabela 3.3.1-2. A tabela inclui também os *clusters* em cada área, entendendo-se o *cluster* como o de, no mínimo, quinze destilarias, que produzem, juntas, 2,55 milhões de m³ de etanol, o que viabiliza os investimentos em infraestrutura e desenvolvimento local.

Tabela 3.3.1-2: Distribuição da produção de etanol para exportação e clusters – Ano 10 (2015) e Ano 20 (2025)

ÁREA	UF	Produção exportação etanol 10 ⁹				Ano 20 Total (2025)	
		Ano 10 (2015)	Clusters	Ano 20 (2025)	Clusters	Etanol (10 ⁹) Total	No. de Clusters Total
A1	MT	0,0	0,0	12,8	5,0	12,8	5,0
A2	MT	0,0	0,0	12,7	5,0	12,7	5,0
A3	MT	0,0	0,0	2,6	1,0	2,6	1,0
A4	GO	2,6	1,0	2,6	1,0	5,1	2,0
A5	MS	2,6	1,0	0,0	0,0	2,6	1,0
A6	MS/GO	15,3	6,0	15,4	6,0	30,7	12,0
A7	MG	7,7	3,0	7,7	3,0	15,4	6,0
A8	CE/PB/RN	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A9	BA/MG/PI	0,0	0,0	28,9	11,3	28,9	11,3
A10	MA/TO/PI	7,7	3,0	19,9	7,8	27,6	10,8
A11	TO/GO	2,6	1,0	0,0	0,0	2,6	1,0
A12	GO	10,2	4,0	7,7	3,0	17,8	7,0
A13	BA	0,0		7,6	3,0	7,6	3,0
A14	BA/MG	5,6	2,2	18,4	7,2	24,0	9,4
A15	BA/MG	0,0	0,0	2,6	1,0	2,6	1,0
A16	BA/SE	9,7	3,8	2,8	1,1	12,5	4,9
A17	RR	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0
Total	13	63,85	25,0	141,5	55,5	205,4	80,5

3.3.2 Escoamento da produção de etanol – Ano 10 (2015)

A partir dos dados da tabela acima, idealizou-se o esquema logístico, a apresentado no mapa a seguir, Figura 3.3.2-1, ou seja, o caminho do escoamento da produção de 63,8 milhões de m³ de etanol, no ano 10, para exportação.

O custo relativo ao transporte, das áreas selecionadas até o porto, encontra-se na mesma figura abaixo.

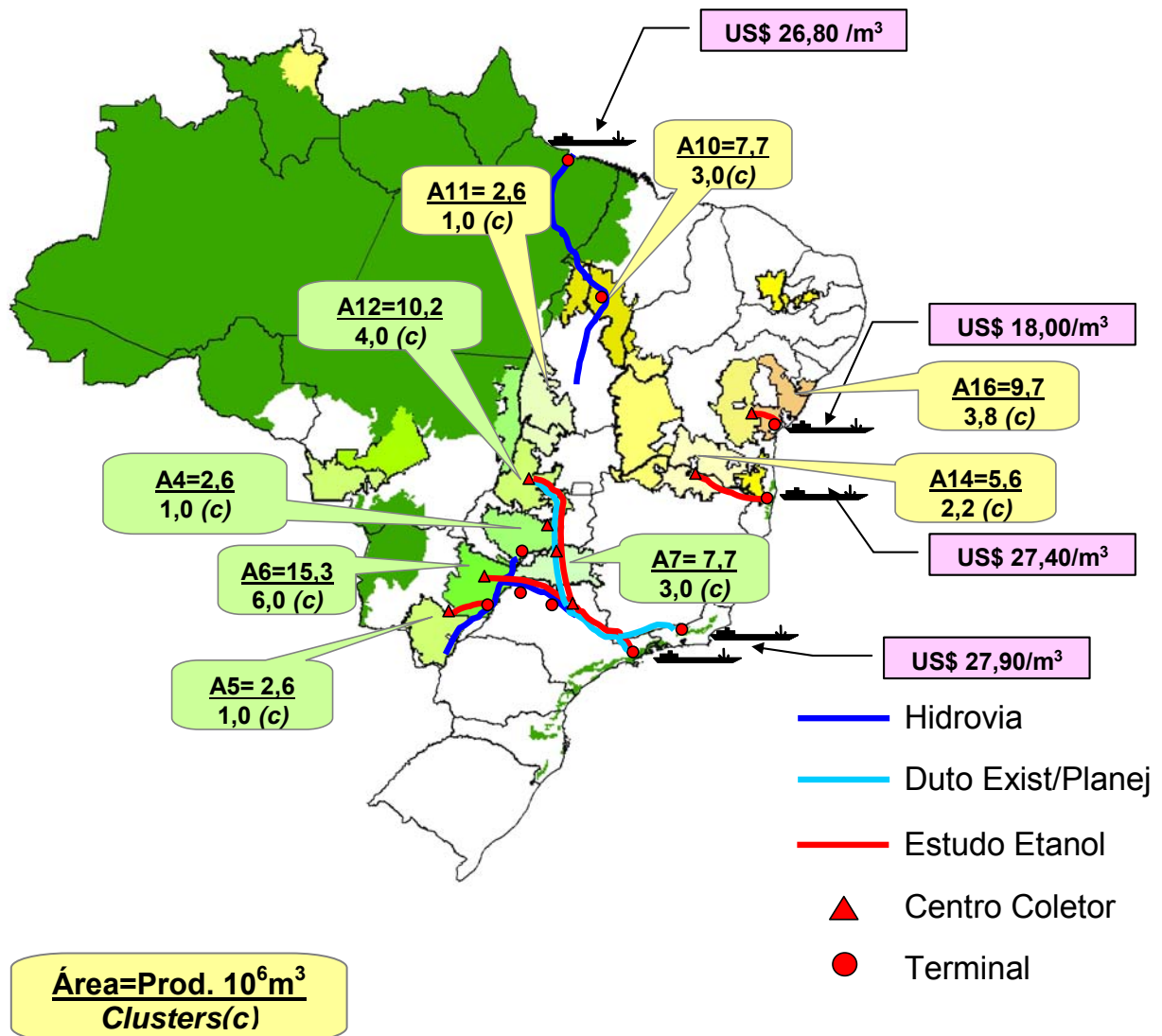


Figura 3.3.2-1: Desenho logístico para exportação – Ano 10
Adaptação do esquema recebido da Petrobras-Transpetro

Em 2015, a exportação do etanol produzido será realizada por cinco portos principais:

- ✓ Caraguatatuba (SP)
- ✓ Ilha D'Água (RJ)
- ✓ Salvador (BA)
- ✓ Ilhéus (BA)
- ✓ Vila do Conde (PA)

Para chegar aos portos, o álcool utilizará as hidrovias Tocantins-Araguaia e o Rio Tocantins, passando pela represa de Tucuruí² até o porto Vila do Conde (PA), atendendo à produção de 10,3 milhões de m³ das Áreas 10 e 11.

As Áreas 14 e 16 escoarão a produção de 9,7 e 5,6 milhões de m³ de etanol, respectivamente, através de dutos a serem construídos para chegarem aos portos de Ilhéus e Salvador, respectivamente.

As Áreas 12, 4 e 7, com volumes de 5,0, 2,6 e 7,7 milhões de m³, respectivamente, farão uso do novo oleoduto que deverá ser construído paralelo ao oleoduto existente para o transporte de combustíveis pesados. Esse oleoduto passa pelas cidades de Senador Canedo (GO), Uberaba (MG), Ribeirão Preto (SP) e Paulínia (SP), até o porto de Caraguatatuba.

Em Paulínia, deverá unir-se a produção das Áreas 6 e 5, com um total de 17,9 milhões de m³, fazendo uso da hidrovia Tietê-Paraná e dutos a serem implementados, conforme o mapa acima.

3.3.3 Escoamento da produção de etanol – Ano 20 (2025)

Para o ano 20 (ou 2025), todas as áreas deverão ter sido implementadas e estarão produzindo os 205 milhões de m³ de etanol para serem exportados.

Quanto ao escoamento para exportação, serão acrescentados mais dois portos:

- ✓ Itaqui (MA)
- ✓ La Plata (Argentina)

O mapa a seguir, na Figura 3.3.3-1, apresenta o total de etanol produzido e as vias de transporte para a exportação de etanol.

² A eclusa deverá estar concluída até 2010, de acordo com o PAC (2007).

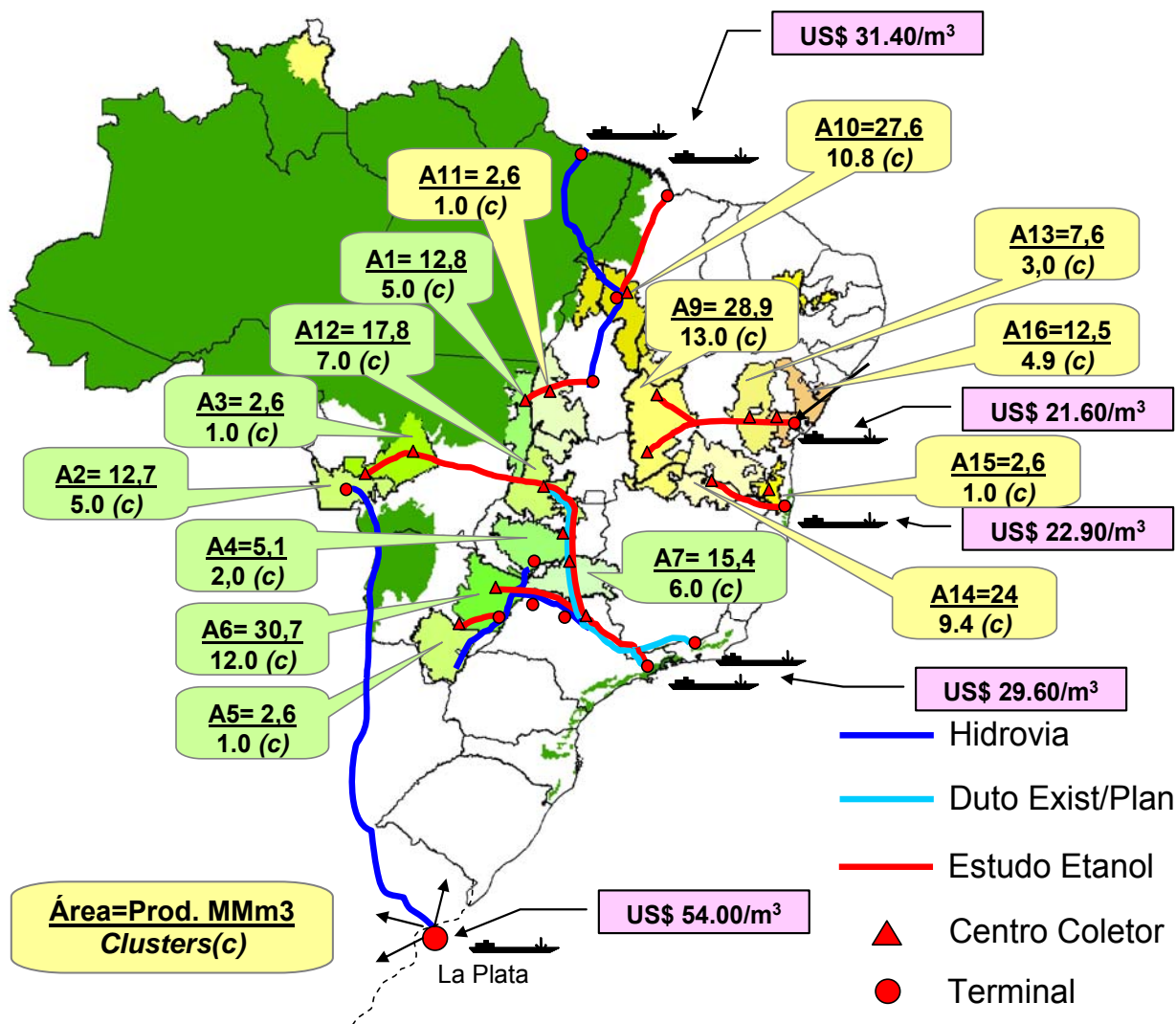


Figura 3.3.3-1: Logística para exportação de 205 milhões de m³ - Ano 20
 Adaptação do esquema recebido da Petrobras-Transpetro

Conforme pode ser observado na figura acima, quarenta e três milhões de m³ de etanol, correspondentes às Áreas 1, 11 e 10, serão escoados pelos portos de Vila do Conde (PA) e Itaqui (MA). As Áreas 1 e 11 terão acesso à hidrovia Tocantins-Araguaia através de dutos, passando pela represa de Tucuruí para chegar ao porto Vila do Conde. Acompanhando a evolução da produção de etanol, dutos dedicados serão construídos a partir da Área 10 até o porto de Itaqui, fazendo-se uso da "faixa de servidão", área paralela à ferrovia de Carajás.

As Áreas 12, 3, 4, 6, 5 e 7, com um total de 74,2 milhões de m³, poderão fazer o escoamento através de dutos e da hidrovia Tietê-Paraná, chegando aos portos de Caraguatatuba (SP) e Ilha D'Água (RJ).

A Área 2 escoia 12,7 milhões de m³ pela hidrovia Paraná-Paraguai, até o porto de La Plata, na Argentina.

Os quarenta e nove milhões de m³ correspondentes às Áreas 9, 13 e 16 utilizam dutos dedicados para chegar ao porto de Salvador, na Bahia.

As Áreas 14 e 15, com uma produção total de 26,6 milhões de m³, chegam ao porto de Ilhéus através de dutos.

3.4 Levantamento detalhado da situação dos terminais marítimos afetados pela exportação de etanol e das necessidades de melhorias

A infra-estrutura atual do país não apresentou grandes mudanças quando comparado à da época da criação do Proálcool, na década de setenta, embora o Programa tivesse como objetivo o abastecimento do mercado interno. Ainda assim, no que diz respeito à distribuição interna do combustível, já havia a percepção de que o menor custo para o transporte de etanol era através de dutos.

Hoje são poucos os portos que apresentam uma infra-estrutura adequada às necessidades crescentes de exportação de álcool, embora iniciativas de investimento nos terminais tenham sido viabilizadas para essa finalidade, incluindo a adequação dos portos e terminais, a exemplo do TEAS, Stolthaven em Santos e Pasa, no Paraná, além da ampliação e construção de terminais para combustíveis líquidos em diversos portos do país.

Dos 35 principais portos exportadores do Brasil, 11 responderam por 91% do total das exportações nacionais em 2006. São eles: Itaquí, Salvador, Aratu, Vitória, Rio de Janeiro, Sepetiba, Santos, Paranaguá, São Francisco do Sul, Itajaí e Rio Grande.

No que diz respeito à exportação de álcool, o porto de Santos responde por cerca de 60% dos embarques, seguido pelo porto de Paranaguá e Maceió, ambos com 14%, João Pessoa, 11% e outros portos, com 4%.

Alguns exemplos dos investimentos na capacidade exportadora dos principais terminais e portos, para os próximos anos, encontram-se a seguir.

O TEAS – Terminal para Exportação de Álcool Santos - é resultado da parceria entre COSAN, Crystalsev, grupo Nova América e Cargil, para a abertura de um terminal específico para exportação de etanol. A finalidade deste terminal é de prestação de serviços à exportação de álcoois a seus associados e outros agentes do mercado.

É o primeiro passo importante na direção de evolução logística para álcoois carburantes. O TEAS conta com 40.000 m³ de capacidade de armazenagem e será expandida para 80.000 m³.

Paranaguá iniciou as obras do primeiro terminal de álcool público do país dedicado exclusivamente à movimentação de álcool. O terminal paranaense contará com sete tanques com capacidade de armazenamento de 35 milhões de litros e em 48 horas poderá descarregar o álcool armazenado para o navio e recarregar os tanques. Com isso, 15 navios, de 35 milhões de litros cada, poderão ser carregados por mês no porto de Paranaguá. O investimento foi feito com recursos da Administração dos Portos de Paranaguá e Antonina (Appa), que aplicou R\$ 13,7 milhões no terminal.

3.4.1 Portos incluídos na expansão e exportação de etanol

Os mapas apresentados nas Figuras 3.3.2-1 e 3.3.3-1 apontaram os portos, terminais e hidrovias que deverão fazer parte da logística de exportação de etanol, os quais serão abordados a seguir, principalmente no que diz respeito ao calado dos portos e capacidade fluvial das hidrovias.

3.4.1.1 Porto de Vila do Conde

a) Estabelecimento do calado : no Porto de Vila do Conde, o calado máximo recomendado é limitado pelas profundidades dos canais de acesso:

- CANAL DO ESPADARTE (Baixo do Taipu): 12,20m (40,0 pés) na preamar.
- CANAL DO QUIRIRI: 13,70m (45,0 pés). Quando demandado o porto por este canal, supondo-se a velocidade da embarcação e mínimas, navios com calado superior a 10,70m (35,1 pés), deverão levar em consideração a maré da hora, antes de demandar o citado canal, de forma a manter uma separação em relação ao fundo de, no mínimo, 2,28 m (7,48 pés).

Calados máximos no porto:

- Berços externos (101 e 201): 20,0m (65,5 pés)
- Berços internos (102 e 202) 16,0m (52,5 pés)

b) Velocidade no canal de acesso

- Sem restrições

c) Comprimento máximo do navio

- Berço 101 = 250,0m
- Berço 102 = 200,0m
- Berço 201 = 250,0m
- Berço 202= 140,0m para navios não convencionais e 100,0m para navios convencionais

d) Boca do navio

- Sem restrições

e) Serviços de rebocadores

- Não há serviço organizado.
- Contudo, qualquer incremento no comprimento das embarcações (item c) e variações nos procedimentos das manobras (item f), deverão ser obrigatoriamente utilizados rebocadores nas operações de atracação e desatracação.

g) Informações complementares sobre hidrografia e meteorologia:

- Corrente de maré da ordem de 2,0 nós e vento de até 25,0 nós do quadrante N e O, principalmente à tarde e início da noite, acentuados com incidência de chuvas.
- Existe um alto-fundo a montante do píer, limitando o abatimento nessa direção.

h) Dimensões do porto

- Área total do porto = 3.920.347,00 m²
- Comprimento do cais = 500,00 m
- Comprimento do píer nº. 1 = 292,00 m
- Área do píer nº. 1 = 13.140,00 m²
- Comprimento do píer nº. 2 = 184,00 m
- Área do píer nº. 2 = 5.060 m²
- Número de berços = 4

A seguir, uma vista do Porto Vila do Conde (Figura 3.4.1.1-1).



Figura 3.4.1.1-1: Porto Vila do Conde (PA)

Um dos itens mais importantes dos portos diz respeito à profundidade dos calados, uma vez que o custo do transporte tem correlação com o tamanho da embarcação a ser usada, principalmente para o Projeto Etanol que visa o escoamento de grandes volumes.

A Tabela 3.4.1.1-1 apresenta os principais portos contemplados na Fase 2 do Projeto Etanol, com calado máximo e mínimo.

Tabela 3.4.1.1-1: Principais portos e calados - Fase 2

PRINCIPAIS PORTOS - Fase 2	PROFUNDIDADE DOS CALADOS	
	MÁXIMO	MÍNIMO
Vila do Conde - PA	15	13
Itaqui - MA	19	13
Salvador - BA	18	12
São Sebastião	18	12
Ilhéus - BA	10	10
Angra dos Reis - RJ	12	6
La Plata - ARGENTINA	8,5	8,5

Fonte: Ministério dos Transportes

Os dois primeiros portos, Vila do Conde e Itaqui, fazem parte dos investimentos previstos no PAC (2007) e espera-se que fiquem em preparação para receber as embarcações de grande porte, com capacidade para transportar 150.000 a 280.000 m³ de combustível.

Como comparativo, a Tabela 3.4.1.1-2 apresenta a profundidade dos calados dos demais portos pelos quais o etanol tem sido exportado nos últimos anos.

Tabela 3.4.1.1-2: Portos atuais que exportam etanol

PRINCIPAIS PORTOS Atual	PROFUNDIDADE DOS CALADOS	
	MÁXIMO	MÍNIMO
Santos - SP	13,5	5
Paranaguá - PR	7,2	5,9
Cabedelo - PB	9,5	6
Maceió - AL	10	7
Vitória - ES	10,6	2,4

Fonte: Ministério dos Transportes

O Porto de Santos participa, atualmente, com cerca de 60% das exportações de etanol, embora não esteja incluído no escoamento da produção de etanol.

3.4.2 As Hidrovias Brasileiras

Desde 1799, vêm se apresentando idéias e projetos de integração do território brasileiro através das hidrovias. A primeira idéia de que se tem notícia foi a do cientista alemão Alexander von Humboldt, que, ao visitar a América do Sul, anteviu que o continente poderia ser ligado de norte a sul por uma "Grande Hidrovia", que poderia unir as bacias do Prata, Amazonas e Orinoco, esta última na Venezuela, através do canal do Cassiquiare, um canal natural entre os rios Negro e Orinoco.

Em 1869, o engenheiro militar Eduardo José de Moraes apresentou ao imperador Dom Pedro II um plano de vias navegáveis que esboçava como, através de canais e obras sem grande custo, se estabeleceria uma grande rede de navegação fluvial, que facilitaria a integração de todas as regiões do país.

A interligação das bacias do Prata e do Amazonas se daria através de um canal de 12 quilômetros na borda do Pantanal, na chamada Serra do Aguapeí, onde nascem os rios Aguapeí e Alegre. Estas duas bacias, de fato, já se conectam naturalmente nas épocas das cheias da região. A interconexão das bacias do Prata, Amazonas e Orinoco, com 9.818 quilômetros de extensão, formaria a "Grande Hidrovia", que integraria todos os países da América do Sul, com exceção do Chile. O significado estratégico desta hidrovia para a interiorização e desenvolvimento econômico regional é comparável ao que a Hidrovia Reno-Danúbio, iniciada por Carlos Magno e só concluída há alguns anos, representou para o continente europeu.

3.4.2.1 Principais hidrovias do Brasil

O Brasil tem mais de 8 mil quilômetros de costa atlântica navegável e milhares de quilômetros de rios. Apesar de boa parte dos rios navegáveis estarem na Amazônia, o transporte nessa região não tem grande importância econômica, por não haver nessa parte do País mercados produtores e consumidores de peso.

Os trechos hidroviários mais importantes, do ponto de vista econômico, encontram-se no Sudeste e no Sul do País. O pleno aproveitamento de outras vias navegáveis depende da construção de eclusas, pequenas obras de dragagem e, principalmente, de portos que possibilitem a integração intermodal. Entre as principais hidrovias brasileiras (Figura 3.4.2.1-1), destacam-se:

i) Hidrovia Araguaia-Tocantins: a Bacia do Tocantins é a maior bacia localizada inteiramente no Brasil. Durante as cheias, seu principal rio, o Tocantins, é navegável numa extensão de 1.900 quilômetros, entre as cidades de Belém, no Pará, e Peixes, em Goiás. O Araguaia cruza o Estado de Tocantins de norte a sul e é navegável num trecho de 1.100 quilômetros. A construção da Hidrovia Araguaia-Tocantins visa criar um corredor de transporte intermodal na região Norte.

ii) Hidrovia São Francisco: entre a Serra da Canastra, onde nasce, em Minas Gerais, e sua foz, na divisa de Sergipe e Alagoas, o "Velho Chico", como é conhecido o maior rio situado inteiramente em território brasileiro, é o grande fornecedor de água da região semi-árida do Nordeste. Seu principal trecho navegável situa-se entre as cidades de Pirapora, em Minas Gerais, e Juazeiro, na Bahia, em um trecho de 1.300 quilômetros. Os principais projetos em execução ao longo do rio visam melhorar a navegabilidade e permitir a navegação noturna.

iii) Hidrovia da Madeira: o rio Madeira é um dos principais afluentes da margem direita do Amazonas. A hidrovia, com as novas obras realizadas para permitir a navegação noturna, está em operação desde abril de 1997. As obras, ainda em andamento, visam baratear o escoamento de grãos no Norte e no Centro-oeste.

iv) Hidrovia Tietê-Paraná: esta via possui enorme importância econômica por permitir o transporte de grãos e outras mercadorias de três estados: Mato Grosso do Sul, Paraná e São Paulo. Ela possui 1.250 quilômetros navegáveis, sendo 450 quilômetros no rio Tietê, em São Paulo, e 800 quilômetros no rio Paraná, na divisa de São Paulo com o Mato Grosso do Sul e na fronteira do Paraná com o Paraguai e a Argentina. Para operacionalizar esses 1.250 quilômetros, há a necessidade da conclusão de uma eclusa na represa de Jupia para que os dois trechos se conectem.

v) Hidrovia Taquari-Jacuí: com 621 quilômetros de extensão até o Rio Grande. Os principais produtos transportados na hidrovia são grãos e óleos. Uma de suas importantes características é ser bem servida de terminais intermodais, que facilita o transbordo das cargas. No que diz respeito ao tráfego, outras hidrovias possuem maior importância local, principalmente no transporte de passageiros e no abastecimento das localidades ribeirinhas.

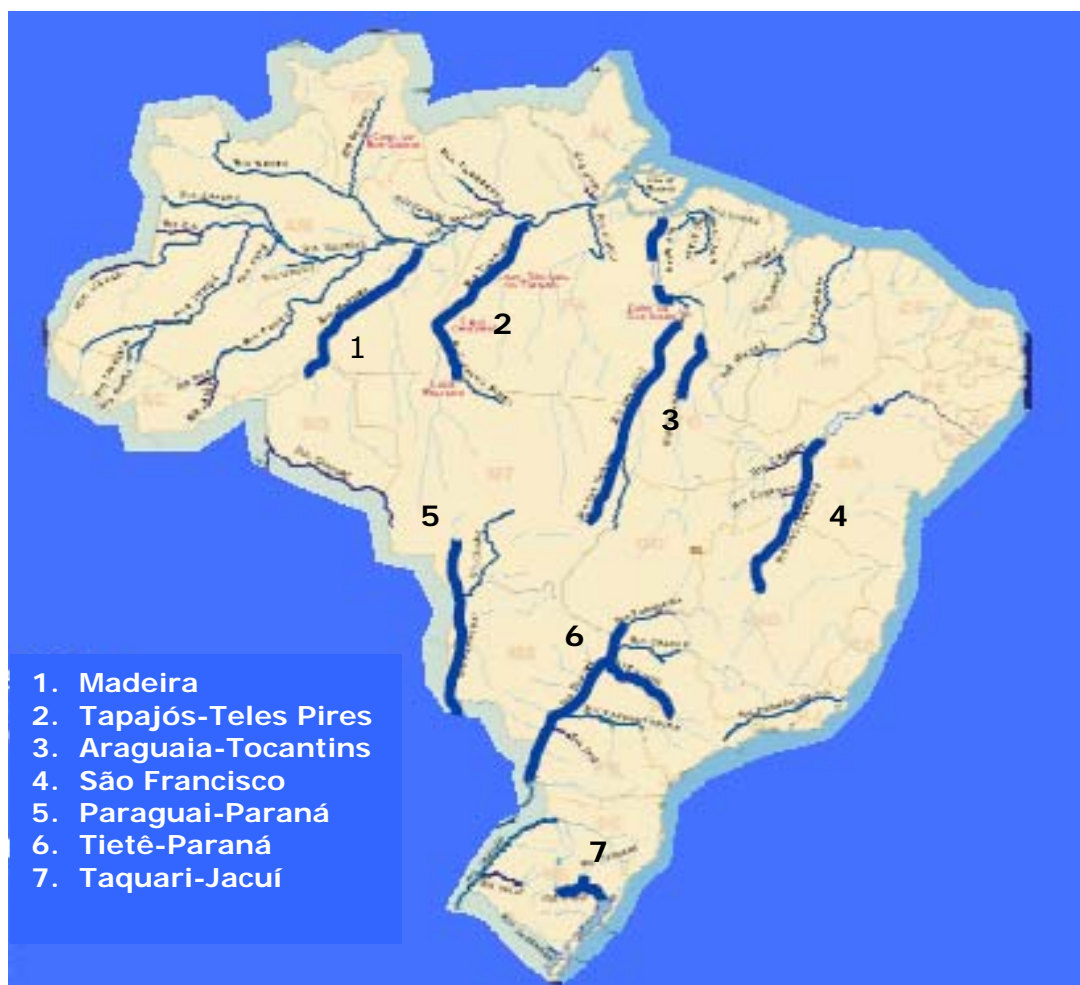


Figura 3.4.2.1-1: Mapa das principais Hidrovias do Brasil

Administrações Hidroviárias: no Brasil, a Administração Hidroviária está relacionada diretamente ao Ministério dos Transportes, no segmento de Transportes Aquaviários, o qual também cuida das Hidrovias Nacionais, da Marinha Mercante e dos Sistemas Portuários. São oito administrações designadas para acompanhar e executar as atividades de manutenção, estudos, obras, serviços e exploração dos rios e portos nas bacias hidrográficas de sua competência; são estas:

- Administração da Hidrovia do Paraguai – AHIPAR
- Administração da Hidrovia do Tocantins/Araguaia – AHITAR
- Administração da Hidrovia da Amazônia Oriental – AHIMOR
- Administração da Hidrovia da Amazônia Ocidental – AHIMOC
- Administração da Hidrovia do São Francisco – AHSFRA
- Administração da Hidrovia do Nordeste – AHINOR
- Administração da Hidrovia do Sul – AHSUL
- Administração da Hidrovia do Paraná – AHRANA

3.4.2.2 A Hidrovia Como Sistema de Transporte

O sistema de transportes de um país pode ser utilizado como um bom indicador de desenvolvimento, quando analisado com certo detalhe, não levando em consideração apenas os produtos que são transportados, mas também as vias utilizadas para esse transporte. Deste modo, o estágio de desenvolvimento relacionado ao transporte encontrado em um determinado país demonstra o reflexo das suas aplicações em desenvolvimento econômico e tecnológico empregados nesse segmento.

O transporte hidroviário no Brasil pode ser considerado como parcial, uma vez que há um sub-aproveitamento dos rios brasileiros na sua utilização como vias navegáveis, assim como seu potencial hidráulico. Os rios brasileiros transportam muito pouco do total de cargas transportado por outros modais no país (ferroviário, rodoviário e aeroviário), ainda que, desde início dos anos 1980 e 1990, tenham sido investidos recursos significativos para o desenvolvimento do setor.

O sistema hidroviário no Brasil é constituído pelas vias navegáveis - rios, lagos e canais - que, com as devidas instalações, podem proporcionar o seu uso adequado como vias de transporte para a navegação.

Com exceção do rio Amazonas, da rede fluvial e lacustre do Rio Grande do Sul e do rio Paraguai, a rede hidroviária brasileira possui cachoeiras e corredeiras que subdividem os rios em trechos navegáveis e não navegáveis. Por isso, é necessário corrigir estes obstáculos ou quedas d'água com a construção de eclusas e comportas, o que requer investimentos.

Ao longo do rio Tietê, por exemplo, existem 6 barragens: as de Barra Bonita, Bariri, Ibitinga, Promissão, Nova Avanhandava e a de Três Irmãos. São 580 quilômetros navegáveis com 6 eclusas, com a finalidade de vencer 123 metros de desnível entre Barra Bonita e Ilha Solteira.

A aplicação de investimentos necessários para a posterior exploração das vias navegáveis, ou da sua utilização como hidrovia, pode ser justificada por um transporte de cargas muito econômico.

É possível transportar, com um litro de óleo diesel, 575 toneladas por quilômetro (Tabela 3.4.2.2-1), ou seja, quase cinco vezes o que a ferrovia transporta com o mesmo combustível e praticamente vinte vezes o que o transporte rodoviário pode transportar através de um caminhão com o mesmo litro de óleo diesel.

Tabela 3.4.2.2-1: Capacidade de carga dos diferentes meios de transporte

Carga transportada por km e por litro de óleo diesel	
Meio de transporte	Carga (t/km/l)
Rodovia 30	
Ferrovia 12	5
Hidrovia 57	5

Fonte: Ministério dos Transportes

A área influenciada por esses sistemas estende-se por milhares de quilômetros e é ainda maior com os portos intermodais de carga, como é o caso do localizado em Pederneiras que liga a hidrovia com a estrada de ferro Fepasa (Panorama - Bauru (Pederneiras) - São Paulo) e a rodovia Comte. João Ribeiro de Barros (Bauru - Jaú). Logo, a intermodalidade abrange conexões necessárias com as ferrovias e rodovias, uma vez que as hidrovias sozinhas ligam apenas "barrancos" a "barrancos".

A cana-de-açúcar e outros produtos são transportados pela hidrovia do álcool (Jaú - Pederneiras - Barra Bonita) desde 1981 (Figura 3.4.2.2-1). Também há o transporte do álcool proveniente de Araçatuba (barragem de Nova Avanhandava) até a rodovia SP-191, próxima a Piracicaba, que posteriormente utiliza do transporte rodoviário até Paulínia.

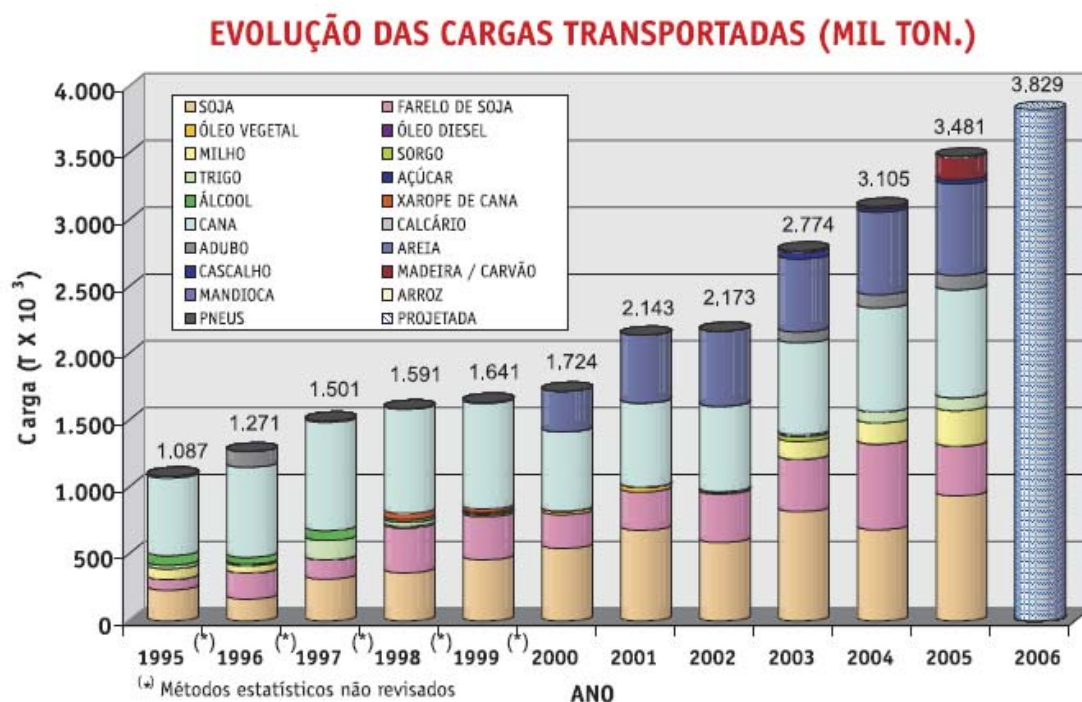


Figura 3.4.2.2-1: Evolução do Transporte de Cargas na Hidrovia Tietê-Paraná

Fonte: Ministério dos Transportes

O SINDASP (Sindicato dos Armadores de Navegação Fluvial do Estado de São Paulo) afirma que o transporte hidroviário é três vezes mais barato e oito vezes menos poluidor que o rodoviário. Além disso, a economia que se tem ao usar o transporte intermodal (rodoviário-hidro-ferroviário) pode chegar a 40% se comparada apenas com os custos do modal rodoviário.

Estudos feitos apontam para a viabilidade do modal hidroviário para o setor sucroalcooleiro é cada vez mais patente devido à sua competitividade. De acordo com a SINDASP, em 2005, o custo para percorrer mil quilômetros, em média (por tonelada) na rodovia, seria de US\$39, na ferrovia, US\$21 e US\$14 na hidrovía.

Para viabilizar o sistema hidroviário, São Paulo investiu, de 1995 a 2005, cerca de R\$ 565 milhões em obras diversas, como proteção de pilares de pontes, ampliação de vãos, aprofundamento de canais e navegação, construção de eclusas e modernização tecnológica. Isso implica no carregamento de maior quantidade de produtos e maior velocidade de transporte.

Os trabalhos propiciaram que a hidrovía tivesse, garantida, junto aos órgãos reguladores, uma lâmina mínima de água de 2,90 metros durante todo o ano. Isso possibilita a navegação de barcos com calado de 2,70 metros. Com isso, cada comboio carrega cerca de 6 mil toneladas, equivalente à carga de 200 carretas, numa velocidade média de 12 a 15 km/h, o que representa vantagens para o transporte hidroviário:

- Consumo eficiente de combustível. Na hidrovía, o consumo é de 5 litros por t/km (tonelada/km útil). Na ferrovia, esse número sobe para 10 litros. Já na rodovia, salta para 96 litros;
- Evitam-se congestionamentos;
- Redução na emissão de poluentes. Enquanto o transporte na hidrovía emite 20 kg de CO₂/1.000 t/km útil, na ferrovia emitem-se 34 kg de CO₂ e na rodovia, 116 kg de CO₂;
- Maior segurança;
- A vida útil de um comboio é de 50 anos;
- Emissão de ruídos é menor.

Isso pode explicar porque a utilização do sistema aquaviário cresce na ordem de 10 a 20% ao ano desde 1999. No entanto, este também apresenta alguns pontos negativos:

- O fato de ser pouco conhecido;
- Não liga exatamente os pontos produtivos aos mercados. O desenvolvimento das regiões não se deu às margens dos rios;
- Depende de outro modal para complementar o transporte;
- Imagem negativa de que o transporte hidroviário prejudica o meio ambiente.

Adaptação do setor: transporte de grãos vs combustíveis

Para transportar as produções de açúcar e álcool no sistema hidroviário, as empresas que atuam nesse modal de transporte precisam fazer adaptações, uma vez que as hidrovias têm sido mais utilizadas para transportar grãos e existem diferenças importantes quanto à segurança para o transporte de combustíveis, mesmo que renováveis.

Do lado da estrutura, será necessário aumentar as barcaças e a potência de empuxo. Utilizar barcaças-tanques e instalar estruturas de recebimento do álcool através de terminais próximos aos portos de atracação da hidrovia, por exemplo, com um casco duplo para o acondicionamento do álcool. No caso do transporte de açúcar a granel, as próprias barcaças existentes para transporte de soja poderiam ser utilizadas.

Existe uma limitação quanto à capacidade dos Comboios Tipos nos principais corredores Hidroviários brasileiros, conforme apresentado na Tabela 3.4.2.2-2.

Tabela 3.4.2.2-2: Capacidade dos Comboios nos Principais Corredores Hidroviários Brasileiros

Capacidade dos Comboios Tipos nos Principais Corredores Hidroviários Brasileiros		
	Capacidade Aproximada do Comboio (t.)	Distância Aproximada Transporte (km)
• Madeira	20.000 / 24.000	1.150
• Tapajós - Teles Pires	7.500	1.050
• Araguaia - Tocantins	2.000 / 3.000	1.250
• São Francisco	2.000 / 2.500	1.400
• Paraguai - Paraná	18.000 / 22.000	1.900
• Tietê - Paraná	2.400 / 4.800	730

Fonte: Ministério dos Transportes

Levando em consideração as vantagens do transporte hidroviário, o governo brasileiro propõe a expansão do setor hidroviário, tendo a "construção" de hidrovias como parte fundamental da estratégia de integração e desenvolvimento nacional e da América do Sul, conforme foi apresentado no PAC através de estudo de viabilidade econômica e ambiental.

É importante ressaltar que o Projeto Etanol está ciente que a melhor opção para o escoamento de etanol é através de dutos. No entanto, o modal hidroviário poderá ser utilizado em áreas selecionadas que têm acesso a este tipo de transporte ou mesmo enquanto a construção dos dutos seja concluída.

3.5 Alternativas de transporte para exportação de etanol e investimentos necessários

A partir do estudo, junto à Petrobras Transportes S.A – Transpetro, elaborou-se a Tabela 3.5-1, a qual apresenta o custo da área logística para escoamento do etanol das áreas selecionadas até o porto no Ano 10, em conformidade com a Figura 3.3.2-1.

Vale notar que as diferentes rotas de exportação não poderiam deixar de incluir o estado de São Paulo, o qual deverá continuar a expandir a produção cana-de-açúcar para produção de etanol e açúcar.

No Ano 10, a exportação é de 71,7 milhões de m³ incluindo-se o estado de São Paulo com o volume de 7,7 milhões de m³.

Tabela 3.5-1: Custo logístico Estimado (US\$/m³) – Ano 10

	Área	Centros Coletores	Terminais	Custo Estimado em US\$/m ³ até o Porto
Ano 10 Exportação Etanol: 71,6 10 ⁶ m ³ *	A10	0	1	26,80
	A11	0	0	26,80
	A16	1	1	18,00
	A14	1	0	27,40
	A12	1	0	27,90
	A07	1	0	27,90
	A06	1	1	27,90
	A05	1	0	27,90
	A04	1	1	27,90
	Portos	0	5	
	Demais Estados	1	2	
Total	8	11		

(*) inclui a exportação do Estado de São Paulo, de 7,7 milhões de m³.

Fonte: Transpetro

O total do investimento necessário para a logística, totaliza US\$ 14.500 milhões, sendo US\$ 3.500 milhões para o Ano 10, US\$ 5.000 e US\$ 6.000 milhões para os anos 15 e 20, respectivamente. Considera-se neste investimento, o escoamento de 259 milhões de m³, que inclui a demanda do mercado interno de etanol, notoriamente para os veículos leves, *flex fuel*.

O maior custo, cerca de setenta por cento diz respeito à construção de dutos, Tabela 3.5-2, mesmo incluindo-se na análise os trechos que podem utilizar a "faixa de servidão" de polidutos ou gasodutos existentes.

Tabela 3.5-2: Investimento para a construção de centros coletores, dutos e terminais aquaviários

Instalação	Investimento (milhão US\$)		
	Ano 10	Ano 15	Ano 20
Centros Coletores	340	350	630
Dutos	2.320	3.450	4.300
Terminais Aquaviários	840	1.200	1.070
Total	3.500	5.000	6.000

Fonte: Petrobras Transportes S.A. - Transpetro (2007)

3.5.1 Estimativa mais detalhada dos custos de transporte do etanol de cada "cluster" de usinas ao terminal marítimo selecionado

A tabela acima apresentou os custos por etapa. O total de investimento em centros coletores, em vinte anos, chega a US\$ 1,32 bilhões. Para a construção dos dutos, estima-se um montante de US\$ 10,07 bilhões, mais US\$ 3,11 bilhões e em adequações para os terminais aquaviários, incluindo a construção de estruturas, totalizando um investimento de US\$ 14,5 bilhões a serem diluídos nos vinte anos de execução do projeto.

As diferenças no custo de escoamento podem ser visualizadas na Figura 3.3.3-1, com o maior valor para a exportação de etanol a partir da área A02, com custo de US\$ 54,00/m³ utilizando a hidrovia do rio Paraná - Paraguai até o porto de La Plata, na Argentina. Esta pode vir a ser uma rota interessante para abastecer, além da região Sul do Brasil, os demais países pioneiros do Mercosul, Argentina, Paraguai e Uruguai.

As premissas adotadas pela Petrobras - Transpetro para este estudo encontram-se a seguir:

- ✓ Construção de dutos a longo prazo, tendo como base US\$ 35.000/polegada/km. Embora o valor do aço tenha sofrido diversos aumentos, acredita-se que, dado o volume e o caráter temporário do Projeto Etanol, é possível manter-se o valor acima.
 - O duto é uma extensão linear, uma reta, que une os Centros Coletores aos Terminais de Exportação, adicionando-se, para os devidos cálculos de custo, cerca de 30% da extensão inicial.
- ✓ A distância média considerada, das usinas até os Centros Coletores, via Rodoviária, é de 100 km.
- ✓ A localização dos Centros Coletores foi feita com base na região de produção da região, com armazenamento previsto para 10 dias.
- ✓ Para o transporte hidroviário foram considerados os valores de fretes médios praticados atualmente no país e as estimativas do estudo da hidrovia

Tietê/Paraná, sem considerar frete de retorno (não inclui o s investimentos na s hidrovias e em barçaças.

- ✓ A distribuição do consumo nacional de Etanol na regiões Sul=20%; SE= 50 %; N=5%;NE=15% e CO=10% do total previsto.
- ✓ A taxa de câmbio considerada é de R\$ 2,30/ US\$.

A Tabela 3.5.1-1 apresenta os custos estimados para transporte de etanol, US\$/m³, a partir de cada área e *clusters* ao terminal marítimo selecionado do Ano 10 ao 20, ou 2015 e 2025, espaço temporal definido para Projeto Etanol.

Tabela 3.5.1-1: Custo do transporte interno (US\$/m³)

	Ano 10	Ano 15	Ano 20
Porto Vila do Conde (PA)	26,80	28,80	31,40
Porto Itaqui (MA)	--	28,80	31,40
Porto Salvador (BA)	18,00	22,70	21,60
Porto Ilhéus (BA)	--	22,70	22,90
Porto Ilha D'Água (RJ)	27,40	30,20	29,60
Porto Caraguatatuba (SP)	27,90	30,20	29,60
Porto La Plata (Argentina)	--	54,00	54,00

Fonte: Transpetro-Petrobras

O custo do transporte marítimo internacional precisa ser contemplado, uma vez que compõe o custo de importação a ser pago pelo cliente.

De acordo com a Tabela 3.5.1-2 a seguir, o valor do frete diminui com o volume a ser transportado nos "cargueiros", chegando a diferenças superiores a 30%. Para isto, é importante o país oferecer portos que possam contemplar este tamanho de navio.

Tabela 3.5.1-2: Comparativo de custo de frete a partir do SE do Brasil

Destino	Tipo de Navio	Origem : SE	
		Capac. (m ³)	US\$/m ³
Europa	PANAMAX	80.000	18.00
	SUEZMAX	150.000	15.00
	VLCC	280.000	10.00
Japão	SUEZMAX	150.000	31.00
	VLCC	280.000	21.00

Fonte: Transpetro – Petrobras, 2007.

Os custos associados à exportação de etanol, segundo informações fornecidas pela Sociedade Corretora do Alcool-SCA e corroborada em visitas e efetuadas a diferentes usinas, o cálculo é feito da seguinte maneira. Cobra-se 45 US\$/m³ para o transporte consolidado, que inclui todas as despesas:

- ✓ US\$/m³ 15-17: Terminal (Santos): custos de armazenagem
- ✓ US\$/m³ 2,00: Supervisão das Certificadoras mais as taxas do Porto
- ✓ US\$/m³ 26-28: Transporte Rodoviário da área de Ribeirão Preto a Santos

Se o álcool a ser exportado tiver como origem o estado de Goiás, o valor passa a ser de 70 a 75 US\$/m³. Aproximadamente 55 US\$/m³ se for de Araçatuba, noroeste de São Paulo, e 38 US\$/m³ se a origem for Piracicaba.

Para o transporte internacional, a cotação para os Estados Unidos, Golfo do México é de 50-55 US\$/m³. Se o destino for a costa Leste ou Oeste dos EUA, o valor chega a 60 US\$/m³. Estas cotações podem sofrer alterações dependendo da época do ano e da oferta de embarcações maiores.

Pode-se concluir que com o novo desenho logístico e a implementação de novos terminais, assim como a modernização dos portos nacionais para receber embarcações de grande porte, o Brasil, alicerçado em um planejamento bem estruturado, tem capacidade e preço competitivo para exportar 205 milhões de m³ no ano de 2025, ou em vinte anos a partir da implementação do Projeto.

Dos 45 a 70 US\$/m³ referentes ao transporte interno do etanol praticado atualmente, partindo das diferentes regiões de São Paulo e Goiás até o porto, o custo, de acordo com o Projeto Etanol, passa a ser de US\$ 29,60/m³ para escoamento com origem nas mesmas regiões, conforme apresentado nas Figura 3.3.3-1 e Tabela 3.5.1-1.

Algumas considerações:

- ✓ O sistema multimodal precisa ser melhor entendido e conhecido pelos profissionais da área de transporte e logística; necessidade de se desenvolver uma "cultura multimodal".
- ✓ Implementar uma estratégia de longo prazo incluindo um Plano de Ação visando a concretização do Projeto Etanol. A formulação desse Plano deve contemplar sistemas de avaliação e datas determinadas, que visem o seu fiel cumprimento.
- ✓ Necessidade de integração entre os órgãos de Transporte e outros órgãos da Administração Pública, a exemplo da Fazenda Nacional e Fazenda Estadual.
- ✓ Estímulo ao investimento privado, com regras claras e definidas de financiamento.
- ✓ Entre as prioridades, no que diz respeito ao modal hidroviário, estão a eclusa de Tucuruí e ampliação da hidrovia Araguaia-Tocantins, ambos contemplados no PAC (2007). Ainda, incluí-se aqui a modernização das barcaças e comboios utilizados no transporte hidroviário.
- ✓ Ampliação da capacidade física dos portos com correspondente acesso às cargas, evitando demoras que comprometem o setor produtivo nacional.
- ✓ Interação dos diferentes atores, governamentais e privados, no que diz respeito ao financiamento para a logística e infraestrutura, viabilizando o Projeto Etanol.

4. CONSTRUÇÃO DE CENÁRIOS SOBRE A PRODUÇÃO DE ETANOL NO BRASIL E DESCRIÇÃO DAS TRANSFORMAÇÕES DO SISTEMA SOCIO-ECONÔMICO BRASILEIRO

A expansão da produção de álcool com vistas à consecução das metas de exportação estabelecidas para os cenários 1 (104,55 milhões de m³) e 2 (205,00 milhões de m³), baseada nas premissas técnicas e na disponibilidade de terras apresentadas nos capítulos anteriores, deverá acarretar importantes transformações para a economia brasileira. O atual capítulo oferece uma visão abrangente dessas transformações que deverão ocorrer em função da expansão da cultura de cana-de-açúcar. Na primeira parte deste capítulo, mostra-se, por um lado, como deverão se comportar a demanda de álcool e, por outro, a oferta de cana-de-açúcar e de álcool no país. O objetivo dessa parte será de demonstrar que existem plenas condições para que a agroindústria brasileira atinja as metas de exportação e atenda às demais necessidades da economia. Na segunda parte analisa-se quais seriam os possíveis desdobramentos desses cenários sobre a economia brasileira, inclusive do ponto de vista da perspectiva regional.

4.1 Dinamização dos cenários de expansão da produção e consumo de açúcar e de etanol

Os cenários da Fase 1 ainda eram estáticos porque não levavam em consideração as mudanças que poderiam vir a ocorrer na economia brasileira durante os próximos 20 anos. A satisfação da meta de exportar 104,55 milhões de m³ de álcool anidro em 2025 foi concebida independentemente das demais transformações da agricultura brasileira. Essas transformações requererão quantidades adicionais de terras para outros usos além do álcool a ser exportado. Por outro lado, a oferta de álcool deverá ser influenciada positivamente através da introdução de inovações de processo, que permitirão aumentar a produtividade de álcool por hectare cultivado. Este item busca responder a esse desafio, introduzindo todos esses elementos dinâmicos da demanda e oferta de recursos para a produção de álcool. Trata-se, também, de analisar a possibilidade de cumprimento da meta de exportar 205,00 milhões de m³ de álcool anidro em 2025. Na primeira parte, analisa-se a evolução da demanda de terras provocada pela expansão das exportações de açúcar e do mercado interno de álcool. Na segunda parte, introduzem-se elementos dinâmicos pelo lado da oferta, sobretudo do componente tecnológico, e delineamos os cenários de expansão da produção de cana-de-açúcar e álcool, nacional e regional. Finalmente, numa terceira parte descrivemos o impacto das expansões da produção de cana e das demais culturas na demanda de terras.

4.1.1 Dinamização da demanda de terras

Diversos usos de verão competem pelas terras atualmente disponíveis para a agricultura no território nacional. A cana-de-açúcar é apenas uma das culturas que ocupam as terras destinadas à agricultura no país. Ademais, o álcool para a exportação compete no uso da cana com o álcool destinado para o mercado interno e com o açúcar. Serão abordados a seguir o comportamento de cada um desses componentes.

4.1.1.1 Comportamento do consumo interno de etanol e o seu impacto na demanda de terras

O consumo de etanol combustível, seja de álcool anidro para mistura à gasolina, seja de álcool hidratado, utilizado na frota remanescente de carros 100% a álcool e nos *flex fuel*, que permitem o uso de gasolina e/ou álcool hidratado, está diretamente relacionado com a evolução da frota de veículos leves¹.

Para projetar o consumo interno de etanol nos Cenários 1 e 2, foram considerados os estudos realizados pelo MAPA, DATAGRO e UNICA (2006), sem restringir-se aos parâmetros apresentados, que incluem análise até 2013 ou 2015.

A projeção da evolução da frota de veículos leves, apresentada na Tabela 4.1.1.1-1, segue as seguintes premissas:

- A frota de veículos leves crescerá 4% ao ano, acompanhando a evolução do PIB do país;
- As vendas de veículos leves aumentarão 5% ao ano;
- Os carros *flex* representarão 85% das vendas de veículos leves até 2025;
- A taxa de sucateamento dos carros *flex* é de 3,5% nos cinco primeiros anos; 5% de 2007 a 2012 e 10% até 2025;
- A venda de carros que utilizam gás natural veicular (GNV) é de 200 mil unidades/ano e a taxa de sucateamento desses veículos é de 7% até 2012 e 10% até 2025.

Tabela 4.1.1.1-1: Evolução da Frota de Veículos Leves – Brasil (2005-2025) (em mil unidades)

Ano	Frota total	Frota V. leves	Gasolina	100% álcool	<i>Flex fuel</i>	GNV	Vendas veículos leves	Partic. Flex/vendas VLeves
2005	23.023	21.282	17.275	1.690	1.098	1.219	369	80,2%
2010	28.011	25.893	16.122	1.109	6.945	1.717	731	85,0%
2015	34.080	31.503	17.144	765	11.687	1.906	2.209	85,0%
2020	41.463	38.328	19.907	562	15.914	1.945	2.819	85,0%
2025	50.446	46.631	23.322	443	20.899	1.967	3.598	85,0%

Com cerca de 21 milhões de unidades, a participação dos carros *flex* alcançará 45% do total da frota nacional de veículos leves, em 2025. A Figura 4.1.1.1-1 destaca essa composição.

¹ Refere-se aos automóveis de passeio e comerciais leves, com Peso Bruto Total (PBT) de até 3,5 toneladas (ANFAVEA, 2005)

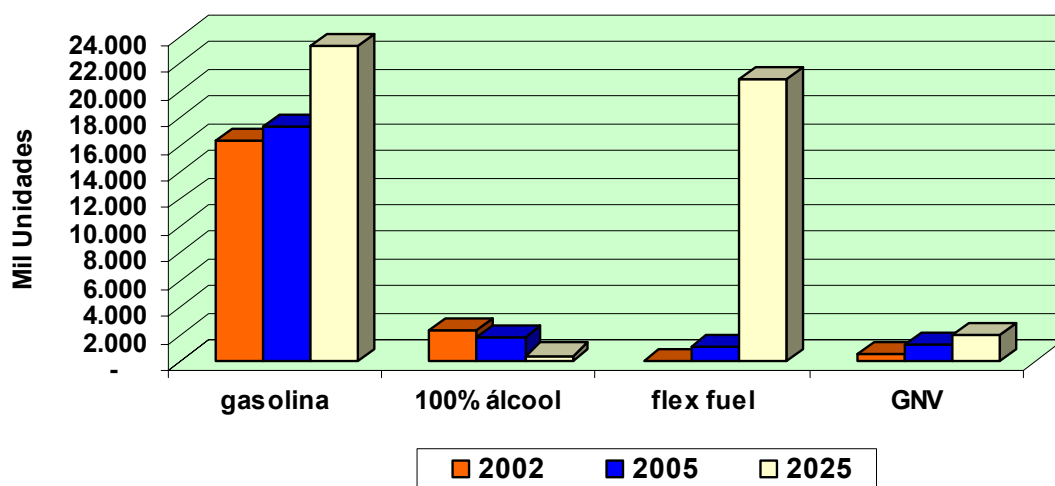


Figura 4.1.1.1-1: Composição da Frota de Veículos Leves – Brasil

Quanto à demanda de combustível, especificamente de álcool combustível, partiu-se das seguintes premissas:

- Um litro de álcool hidratado equivale a 0,7 litro de gasolina, que corresponde ao atual rendimento dos carros *flex*
- Um litro de gasolina contém 0,25 litro de álcool anidro
- Oitenta por cento dos carros *flex* utilizam álcool hidratado

O consumo de álcool combustível, somadas às necessidades de álcool anidro e hidratado em 2025, seria de 42,5 milhões de m³, conforme apresentado na Tabela 4.1.1.1-2.

Tabela 4.1.1.1-2: Consumo de Álcool Combustível (2025)

Veículo	Gasolina (m ³)	Álcool Anidro (m ³)	Álcool Hidratado (m ³)
Gasolina 24.4	88	8.162.738	0
100% álcool	0	0	885.348
<i>Flex fuel</i>	8.360 0		33.439.057
TOTAL	32.848	8.162.738	34.324.405

Para atender à uma demanda de 41,2 milhões de m³ em equivalente de álcool anidro², mantendo-se os parâmetros utilizados na Fase 1, de 35.000 ha total para uma unidade com capacidade de processar 2 milhões de toneladas por ano, onde os parâmetros técnicos são de 85 l/tc e 89,3 tc/ha colhida, mas na qual requer-se um adicional de 56 % de área a título de áreas plantadas porém não colhidas e de reserva natural, resultando em um rendimento 4.857 litros/ha, serão necessários aproximadamente 8,490 milhões de hectares. As terras necessárias para a produção desse montante de etanol de verão serão incluídas nas 17 áreas

² 1 litro de álcool hidratado = 0,96371 de álcool anidro

selecionadas, podem do-se fazer uso das terras que apresentam potencial de produtividade "médio". A distribuição regional dessa produção também deverá ser reavaliada, na tentativa de manter a proporção de 60% na região C-S e 40% na região N-NE.

4.1.1.2 Dinamização da produção de açúcar e seu impacto na demanda de terras

A produção de açúcar aumentou significativamente nos últimos anos no Brasil, principalmente nos últimos 6 anos, quando a produção cresceu quase 10 milhões de toneladas, conforme é apresentado na tabela 4.1.1.2-1, a seguir.

Tabela 4.1.1.2-1: Produção brasileira de açúcar (toneladas)

	Safras					
	01/02	02/03	03/04	04/05	05/06	06/07(*)
Norte/Nordeste	3.245.836	3.789.205	4.492.638	4.536.089	3.807.889	2.839.059
Centro/Sul	15.748.527	18.592.131	20.541.796	22.095.985	22.406.502	25.829.908
Total Brasil	18.994.363	22.381.336	24.944.434	26.632.074	26.214.391	28.218.967

Fonte: DCAA/SPA/ MAPA

(*): Posição em 31/12/2006

As exportações são a principal causa dessa expansão. O Brasil se tornou, nos últimos 10 anos, o maior produtor mundial de açúcar. As exportações brasileiras de açúcar cresceram a celeradamente, a uma taxa média anual de 16,8%. Elas hoje representam 70% da produção nacional. Essa formidável evolução da produção de açúcar voltada para exportação pode ser observada na Tabela 4.1.1.2-2, abaixo.

Tabela 4.1.1.2-2: Exportações de Açúcar – Brasil

Anos	US\$ Milhões	Toneladas (milhões)	Preço Médio (US\$/t)
1992	599	2.413	248,24
1993	787	3.058	257,36
1994	992	3.433	288,96
1995	1.919	6.239	307,58
1996	1.611	5.379	299,50
1997	1.771	6.372	277,93
1998	1.943	8.371	232,15
1999	1.911	12.100	157,91
2000	2.278	11.168	203,92
2001	1.199	6.502	184,41
2002	2.090	13.344	156,65
2003	2.140	12.914	165,71
2004	2.640	15.764	167,49
2005	3.919	18.147	215,95
2006	6.167	18.870	316,81

Fonte: MAPA baseado em Secex (Sistema Alice)

As estimativas de expansão da produção de açúcar do Brasil foram feitas baseando-se no comportamento previsto da demanda interna e das exportações. Dado que o consumo interno *per capita* brasileiro é muito elevado e se situa em 55 kg, estimou-se que o crescimento do mercado interno seria apenas vegetativo e acompanharia o crescimento demográfico previsto pelo IBGE para os próximos 20 anos, ou seja, de 0,96% a.a..

Já as exportações deverão crescer muito mais rapidamente em decorrência do grande potencial de expansão do mercado mundial. Estima-se que as exportações mundiais de açúcar deverão crescer 2% a.a. nos próximos 20 anos. Por ser o país que dispõe de maior capacidade para expandir a sua oferta e exportações, estimou-se, para a elaboração do cenário de referência, que o Brasil ocupará metade do aumento da oferta mundial de açúcar. Esse crescimento das exportações brasileiras é compatível com a tendência verificada no passado.

Esses dois fatores de expansão devem fazer com que a produção de açúcar no Brasil aumente 2,35 vezes em um período de 20 anos, alcançando a marca de 61,5 milhões de toneladas na safra 2025/2026. As evoluções da produção e das exportações brasileiras de açúcar são mostradas na Figura 4.1.1.2-1.

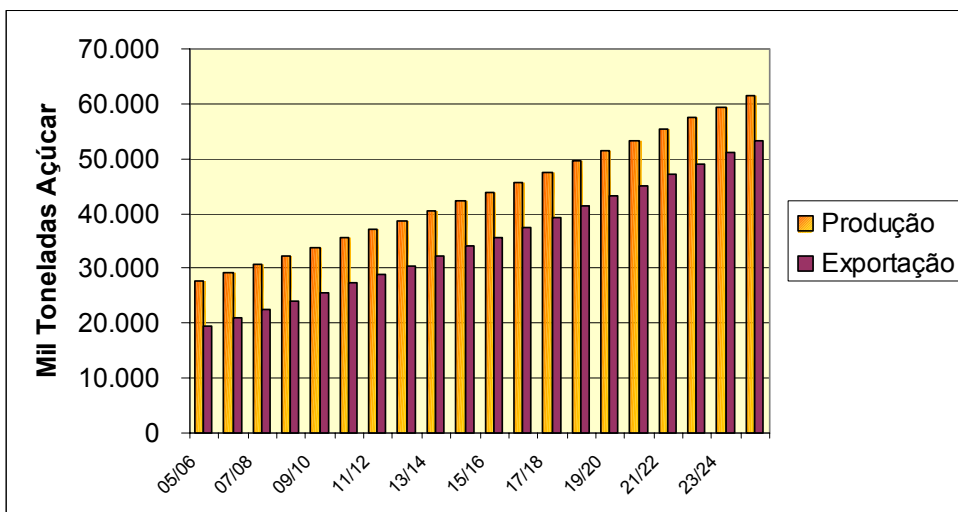


Figura 4.1.1.2-1: Evolução da Produção e Exportação de Açúcar

Adotando-se uma base de 138,55 kg de açúcar por tonelada de cana³ e um rendimento de 89,3 tc/ha, tem-se um rendimento de 12.371 kg de açúcar por hectare colhida. Para garantir a expansão da oferta de açúcar nessas condições, precisa-se adicionar às áreas colhidas, as áreas cultivadas, mas não colhidas e as áreas de reserva natural, chegando-se ao rendimento de 7.917,14 kg de açúcar por ha total. Nas condições existentes nas regiões mais produtivas do país, serão necessários quase 4,5 milhões de hectares de novas terras, incluindo-se as que permanecerão como reserva natural, para satisfazer às necessidades de crescimento das exportações de açúcar e, em menor medida, o crescimento vegetativo do mercado interno, conforme pode ser observado na figura 4.1.1.2-2, abaixo.

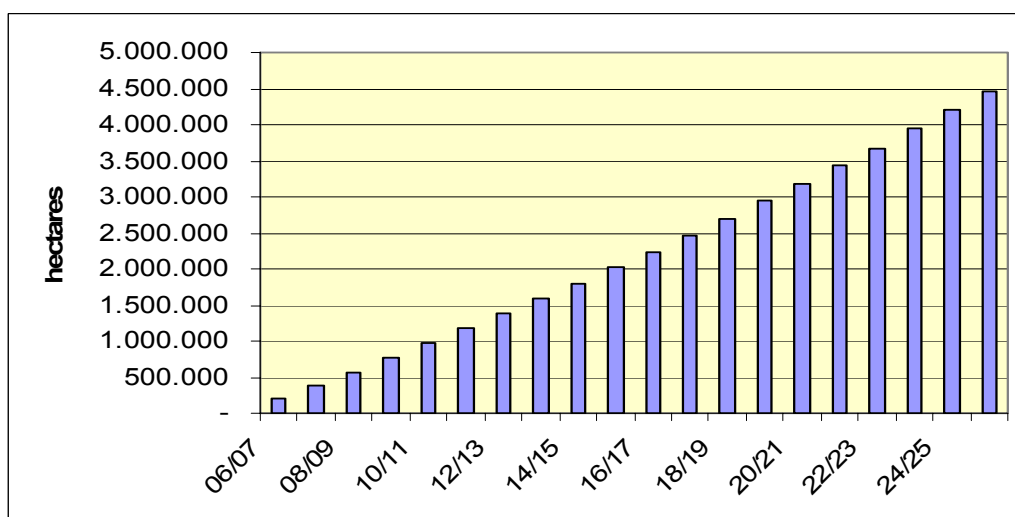


Figura 4.1.1.2-2: Área adicional total para a produção de açúcar (06/07-24/25)

³ A tonelada de cana de referência usada para os exercícios de simulação contém 159 kg de ART. Adotou-se a taxa de conversão da STAB em que 1,63 Kg de açúcar = 1 litro de álcool anidro. Esse rendimento é válido em um sistema híbrido em que a usina produz simultaneamente açúcar e álcool.

4.1.2 Dinamização da Oferta de Álcool Anidro

Os aumentos de produtividade decorrentes da trajetória natural da agroindústria e da introdução da hidrólise irão impactar a demanda de cana-de-açúcar, e conseqüentemente a demanda de terras. Para analisar essas transformações, subdividimos o atual item em duas partes. Na primeira parte recapitulamos as alternativas tecnológicas que possibilitam o aumento da produtividade do álcool de cana-de-açúcar. Na segunda parte, elaboramos os cenários de expansão da oferta de álcool para atender as metas de exportação dos Cenário 1 (104,5 milhões de m³) e 2 (205 milhões m³).

4.1.2.1 Alternativas Tecnológicas

Os cenários na Fase 1 foram elaborados tomando-se por base uma destilaria padrão. Essa unidade padrão tem uma produtividade média, na fase agrícola, de 89,3 toneladas de cana por ha colhida e na fase industrial de 85 litros de álcool por tonelada de cana. Essa unidade apresenta uma produtividade global de 7.590,5 litros de álcool anidro por ha colhida. No entanto, a área colhida representa apenas 64% da área total ocupada pela unidade de produção, incluindo-se nela as áreas destinadas para reserva natural.

Na Fase 2, os cenários passaram a ser dinamizados e incorporaram o progresso técnico. Este foi considerado em diversos níveis. Em primeiro lugar introduziu-se o progresso técnico na etapa agrícola. Esse aspecto já foi destacado no capítulo anterior, dedicado ao estudo de terras. Agora introduzimos o progresso técnico na etapa industrial, considerando a otimização e a melhoria nos processos de extração do caldo e de separação do álcool. A hidrólise foi contemplada em duas grandes safras tecnológicas. A primeira maduraria em um prazo de 10 anos, denominada de hidrólise I, ao passo que a segunda, denominada de hidrólise II, maduraria em um prazo de 20 anos. O processo de hidrólise I consistiria em uma etapa intermediária em que ocorreria uma hibridação da hidrólise química com a hidrólise enzimática. O processo de transformação do bagaço em açúcares seria parcial, afetando a celulose. Na hidrólise II, o processo de transformação da matéria-prima seria mais completo, envolvendo também a hemicelulose, e inteiramente biológico. O que mudaria de uma tecnologia de hidrólise para outra seria o aumento da proporção de bagaço e de palha da cana utilizada como matéria-prima processo de transformação em álcool. Essas proporções seriam muito mais elevadas no processo de hidrólise II, de vendo-se, de um lado a maiores eficiências energética no aproveitamento do bagaço para o processo industrial e em uma maior proporção de recolhimento da palha na colheita, que atingiria 50%.

Os ganhos obtidos com a otimização das plantas existentes no que diz respeito aos processos de extração, fermentação e destilação, e os rendimentos dos dois processos de hidrólise, que foram detalhadas no item 2, são mostradas sinteticamente na tabela abaixo.

Tabela 4.1.2.1-1: Aumento de Produtividade na Fase Industrial

	Destilaria Padrão	Destilaria Padrão Otimizada	10 anos	20 anos		
Rendimento na extração	96,00	96,2	6	97,00 98,0	0	
Rendimento na fermentação	89,26	89,7	1	91,50	92,0	0
Rendimento na destilação	99,00	99,5		99,75	99,8	
Conversão efetiva AEAC/tc (l/tc)	85,00	88,2	8	91,00	92,4	8
Hidrólise I (l/tc)				12,60		
Hidrólise II (l/tc)					31,8	
Total c/ hidrólise (l/tc)	85,00	88,2	8	103,60	124,28	

A evolução das produtividades das principais etapas da produção de álcool e a sua repercussão sobre a produtividade geral da terra são mostrados na tabela 4.1.2.1-2.

Tabela 4.1.2.1-2: Aumento de produtividade previsto

	Destilaria Padrão Atual	10 anos	20 anos	
Produtividade Agrícola (tc/ha)	89,3	10	1,2 (*) 11	1,7 (*)
Produtividade Caldo (l/tc)	85	91		92,5
Hidrólise de Bagaço e Palha (l/tc)		12,6		31,8
Produtividade Total (l/ha área colhida)	7.590,5	10.4	84	13.884

(*) Toma-se como base terras de produtividade boa na região Centro-Sul

Esses números de produtividade correspondem em apenas à área colhida. A produtividade, contando toda a área ocupada pela unidade, aumentaria de 4.858 para 8.886 litros por ha.

A maneira como se comportarão os distintos cenários irá depender fundamentalmente da forma como esse conjunto de tecnologias se difundirá no parque de destilarias que irá constituir-se em função das metas de exportação. A

estimativa da evolução das produtividades agrícolas já foi apresentada anteriormente. Essas produtividades deverão aumentar de forma diferenciada entre as principais regiões do país, de maneira a que haja uma tendência à redução do *gap* tecnológico entre as regiões mais e menos desenvolvidas do país. No plano industrial, as variações de correrão dos diferentes ritmos de introdução das novas safras tecnológicas. Pressupõe-se, também, que a incorporação de novas técnicas de produção ocorrerão apenas nas novas plantas, e que não haverá mudança nas destilarias já implantadas.

4.1.2.2 Cenários de Expansão da Oferta

A introdução das variantes tecnológicas nos levou a explorar um número maior de possibilidades ao que fora estabelecido inicialmente. A adoção ou não das novas tecnologias, apresentadas no item anterior, e a velocidade com que essas tecnologias irão se difundir no novo parque de destilarias, construído para atender as metas dos cenários 1 e 2, permitem projetar trajetórias diferenciadas de difusão tecnológica. Esses cenários respondem à necessidade de se avaliar qual será o impacto da maior ou menor adoção do conjunto de novas tecnologias. O desenvolvimento dessas novas tecnologias decorrerá dos esforços e dos recursos alocados em P&D pelo país, cujo montante e modelo institucional serão apresentados no Capítulo 8. Para clarificar essas opções foram elaborados quatro cenários tecnológicos.

O primeiro cenário – denominado “sem tecnologia” – contempla a manutenção das condições de produção iniciais ao longo dos próximos 20 anos. O segundo – denominado de “tecnologia prudente” – pressupõe a penetração mais lenta das tecnologias de otimização dos processos produtivos das destilarias e a introdução da hidrólise I apenas a partir de 2015, não havendo adoção da hidrólise II. O terceiro cenário – denominado de “tecnologia progressiva” – teria uma difusão mais rápida das tecnologias de otimização das plantas, assim como a hidrólise I começaria a ser adotada, a partir de 2010, e a hidrólise II, a partir de 2020. Finalmente, haveria um quarto cenário – denominado de 100% tecnológico –, que pressuporia a adoção, após o décimo ano, das tecnologias com maior eficiência de extração e destilação, assim como da hidrólise II, em todo o parque de destilarias, que começaria a ser construído apenas desde então. Os rendimentos da fase industrial desses quatro cenários são apresentados na Tabela abaixo (Tabela 4.1.2.2-1).

Tabela 4.1.2.2-1: Rendimentos da fase industrial dos 4 cenários tecnológicos (l/tc)

	Atual		5 anos			10 anos			15 anos			20 anos		
	Planta	Total	Planta	Hidrólise	Total	Planta H	idrólise	Total	Planta H	idrólise	Total	Planta	Hidrólise	Total
Sem Tecnologia	85,00	85,00	85,00		85,00	85 ,00		85 ,00	85 ,00		85 ,00	85,00		85,00
Tecnologia Prudente	85,00	85,00	88,00		88,00	91 ,00	12,60	103,60	91 ,00	12,60	103,60	92,48	31,80	124,80
Tecnologia Progressiva	88,00	88,00	89,50	6,30	95,80	91 ,00	12,60	103,60	91 ,70	22,20	113,90	92,48	31,80	124,20
100% Tecnológico						92 ,48	31,80	124,20	92 ,48	31,80	124,20	92,48	31,80	124,20

O comportamento dos cenários não depende apenas dos distintos rendimentos tecnológicos, mas também da composição do parque de destilarias.

A evolução da produção de cana-de-açúcar, dos rendimentos da etapa industrial e do número de destilarias necessárias para alcançar as metas de exportação de cada cenário é mostrada na tabela abaixo.

Tabela 4.1.2.2-2: Cenários de exportação – Produção de cana, produtividade e número de destilarias

	Cana (milhões t)		Rendimento (l/tc)		nº Destilarias	
	2015	2025	2015	2025	2015	2025
Cenário 1 104,5 milhões de m ³						
- Sem Tecnologia	540	1.230	85	85	330	615
- Tecnologia Prudente	524,8	1.099,60	87,5	95,1	316	550
- Tecnologia Progressiva	491,9	1.043,50	93,3	100,2	297	522
- 100% Tecnológico	15	842	124,3	124,3	30	421
Cenário 2 205 milhões de m ³						
- Sem Tecnologia	750	2.412	85	85	480	1.206
- Tecnologia Prudente	727	2.103	87,7	97,5	456	1.052
- Tecnologia Progressiva	688	1.997	92,6	102,1	368	1.005
- 100% Tecnológico	15	1.650	124,3	124,3	30	826

A evolução tecnológica irá reduzir consideravelmente as necessidades de produção de cana-de-açúcar e de destilarias. O cenário "100% tecnológico" retrata uma situação hipotética em que se esperasse por um período de 10 anos, durante o qual as novas tecnologias seriam desenvolvidas. Após essa etapa, se iniciaria a construção de novas unidades com apenas a tecnologia mais avançada. Nesse cenário, seria necessário apenas 63% da quantidade de cana e do número de destilarias, em relação à situação em que se mantivesse a tecnologia da destilaria-padrão nos próximos 20 anos. O cenário mais factível é uma situação intermediária, provavelmente mais próxima ao cenário de tecnologia progressiva. Esse caso será adotado como cenário tecnológico de referência para avaliar os impactos econômicos.

A evolução do número acumulado de destilarias e da produção de cana-de-açúcar da opção “Tecnologia Progressiva” para a de exportação de 10 4,5 milhões de m³, nos próximos 20 anos são apresentadas na figura abaixo.

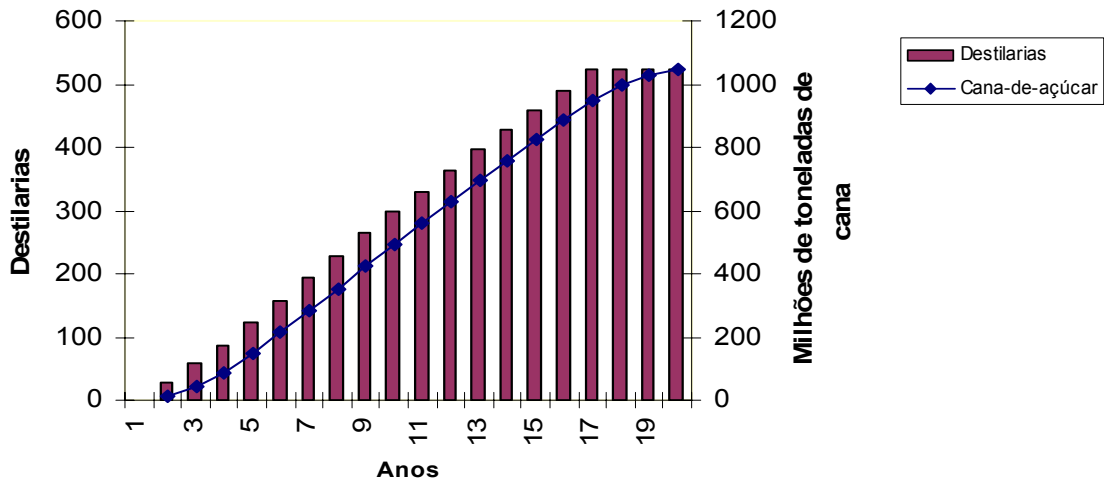


Figura 4.1.2.2-1: Evolução do número acumulado de destilarias e da produção de cana-de-açúcar para o Cenário 1 - Tecnologia Progressiva.

A produção das destilarias inicia-se um ano após o início do programa. Essas unidades de produção tardarão ainda 4 anos até alcançar a sua plena capacidade produtiva. Por essa razão na figura acima, a produção inicia-se apenas no segundo ano e o número de destilarias estabiliza-se, praticamente, 4 anos antes de alcançar a meta produtiva. Isto explica também o comportamento ligeiramente logístico da curva de produção.

No caso do Cenário 2 – Tecnologia Progressiva, a evolução do número de destilarias é ainda bem mais ac entuada. Está previsto que a produção de cana necessária para atender as metas de exportação ultrapasse os 2 bilhões de toneladas ano.

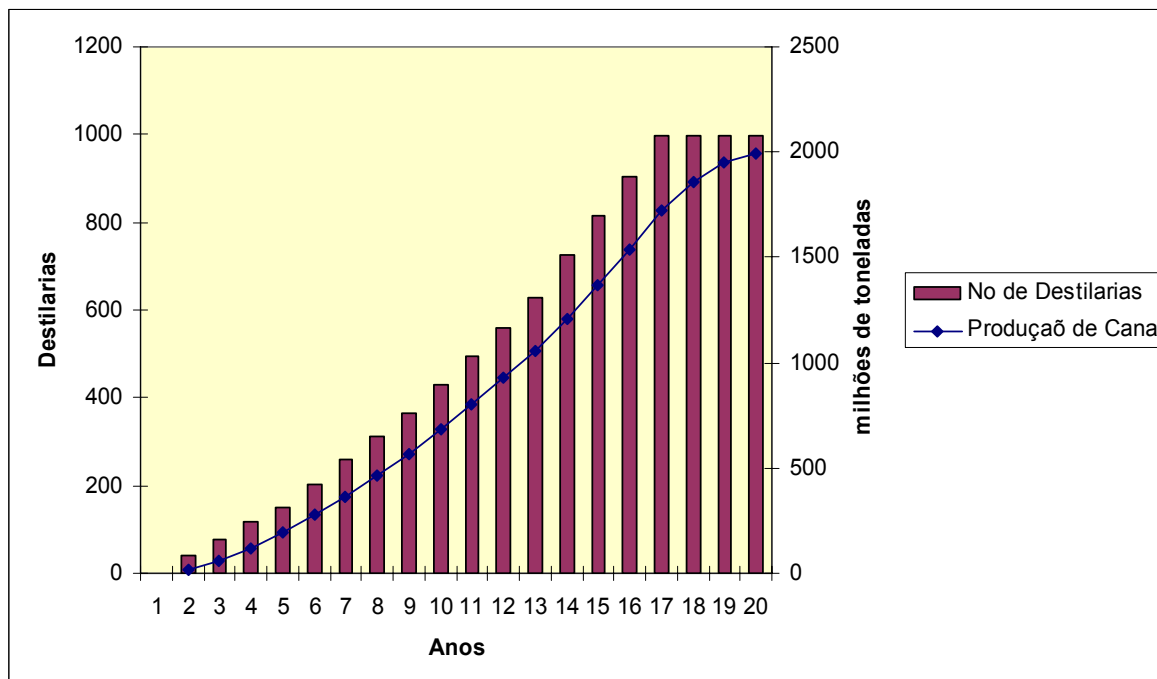


Figura 4.1.2.2-2: Evolução do número acumulado de Destilarias e da Produção de cana-de-açúcar para o Cenário 2 - Tecnologia Progressiva.

4.1.2.3 Cenários regionais

O esforço exportador, que representa atingir as metas dos Cenários 1 e 2, foi repartido da forma mais equilibrada possível dentro do território nacional, buscando-se priorizar as regiões com grande potencial de produção. O aumento da produção foi projetado para ocorrer fora das atuais regiões produtoras (São Paulo, Paraná e Zona da Mata Nordestina). As novas áreas produtoras se localizariam nas regiões Centro-Oeste (MT, MS e GO), Nordeste (BA, CE e RN), Norte (TO) e Sudeste (MG).

A distribuição da produção de álcool, cana-de-açúcar e os investimentos para atingir a meta de exportação de 104,5 milhões de m³ em 20 anos são mostrados na tabela abaixo. A produção de cana e os investimentos variam também de acordo com a adoção de novas tecnologias (Tecnologia Progressiva) ou sem tecnologia (Sem Tecnologia).

Tabela 4.1.2.3-1: Cenário 1 com e sem tecnologia: Produção de álcool, cana e investimentos

	Norte		Nordeste		Centro Oeste		Sudeste		Brasil	
	2015	2025	2015	2025	2015	2025	2015	2025	2015	2025
Álcool	3,54	8,07	12,41	30,75	25,06	56,37	4,10	9,35	45,11	104,54
(milhões de m ³) %	7,8	7,7	27,5	29,4	55,6	53,9	9,1	8,9	100,0	100,0
Cana	42,70	100,82	173,30	409,18	277,91	617,59	46,09	102,41	540,00	1.230,00
(milhões de t) ST	7,9	8,2	32,1	33,3	51,5	50,2	8,5	8,3	100,0	100,0
TP	34,30	80,35	139,19	326,07	273,15	546,49	44,81	90,62	491,45	1.043,53
%	7,0	7,7	28,3	31,2	55,6	52,4	9,1	8,7	100,0	100,0
Investimento	7,37	13,62	25,81	55,26	44,74	86,46	7,34	14,34	85,26	169,68
(R\$ bilhões) %	8,6	8,0	30,3	32,6	52,5	51,0	8,6	8,5	100,0	100,0
TP	6,83	13,45	24,37	51,28	49,77	103,15	7,99	17,02	88,96	184,90
%	7,7	7,3	27,4	27,7	55,9	55,8	9,0	9,2	100,0	100,0

ST: Sem Tecnologia

TP: Tecnologia Progressiva

Estima-se que no final do período, as regiões Norte-Nordeste sejam responsáveis por mais de 40% das exportações de álcool. No entanto, a região Centro-Oeste deve tornar-se a principal região produtora de álcool do país. Ainda que a produção de álcool não chegue a variar de acordo com o cenário, o mesmo não ocorre com a produção de cana, cuja demanda será reduzida no cenário tecnológico. Serão necessárias 200 milhões de toneladas de cana a menos para a consecução das metas do Cenário 1. Em compensação, os investimentos serão superiores, em função dos maiores custos das destilarias com unidades de hidrólise.

Os dados para o Cenário 2 são apresentados na Tabela 4.1.2.3-2. Eles reproduzem um comportamento muito semelhante ao anterior, embora o Norte-Nordeste a cuse uma participação ligeiramente superior.

Tabela 4.1.2.3-2: Cenário 2 com e sem tecnologia: álcool, cana e investimentos

		Norte		Nordeste		Centro Oeste		Sudeste		Brasil	
		2015	2025	2015	2025	2015	2025	2015	2025	2015	2025
Álcool (milhões de m ³)		4,09	9,97	17,56	77,82	31,74	87,64	10,66	29,56	63,75	205,22
	%	6,4	4,9	27,5	37,9	49,8	42,7	16,7	14,4	100,0	100,0
Cana (milhões de t)	ST	48,93	114,28	210,00	891,99	367,04	1.051,20	124,03	354,24	750,00	2.411,71
	%	6,5	4,7	28,0	37,0	48,9	43,6	16,5	14,7	100,0	100,0
	TP	43,67	91,99	187,41	718,01	36,77	887,61	113,80	299,36	681,65	1.996,97
	%	6,4	4,6	27,5	36,0	49,4	44,4	16,7	15,0	100,0	100,0
Investimento (R\$ bilhões)	ST	8,15	15,70	37,79	122,56	61,07	20,64	149,13	50,30	256,14	209,19
	%	3,2	7,5	14,8	58,6	23,8	9,9	58,2	24,0	100,0	100,0
	TP	7,53	19,77	32,32	127,77	53,40	19,99	154,93	52,25	248,18	219,79
	%	3,0	9,0	13,0	58,1	21,5	9,1	62,4	23,8	100,0	100,0

ST: Sem Tecnologia

TP: Tecnologia Progressiva

O esforço para alcançar a meta de 205 milhões de m³ seria realizado de forma gradual e cumulativa, se concentrando na segunda metade do período. As necessidades de cana do cenário tecnológico são mais reduzidas em mais de 400 milhões de toneladas, embora o s requi sitos de investimento desse cenário seja m su periores. A região Centro-Oeste ser ia responsável pel o maior es forço, sendo seg uida pela região Nordeste.

4.1.2.4 Balanço de Terras

A deman da d e terras p ara a cultura d e cana- de-açúcar deve aumentar substancialmente nos dois principais cenários, conforme pode ser observado na Tabela 4.1.2.4-1, a seguir. O p rogresso té cnico irá exer cer u m e feito moderador sobre a demanda de terras. Retomando-se os 4 cenários tecnológicos, obtém-se uma redução substancial da deman da de ter ras nas três variantes tecnológicas. As r eduções da demanda de terras seriam ainda maior no cenário 100% tecnológico.

Tabela 4.1.2.4-1: Cenário 2 - Balanço de terras de acordo com cenário tecnológico

	Área Disponível (mil ha) 2025 (Ano 20)	Área utilizada (mil ha)							
		Atual		Prudente Pro		gressivo		100% Tecnológico	
		2015 (Ano 10)	2025 (Ano 20)	2015 (Ano 10)	2025 (Ano 20)	2015 (Ano 10)	2025 (Ano 20)	2015 (Ano 10)	2025 (Ano 20)
TOTAL (17 Areas)	80.871	13.432	37.665	13.020	32.840	12.214	31.184	269	24.309
Alto+Bom	42.449	6.823	18.629	6.614	16.242	6.204	15.424	136	11.894
Médio	38.422	6.609	19.036	6.406	16.406	6.010	15.760	132	12.415

O Balanço de Terras mostra que existem terras em quantidade suficiente para alcançar a meta de exportação de 205 milhões de m³. O uso apenas das terras de qualidade alta e boa seriam suficiente em 3 dos 4 cenários. As economias de terras obtidas com o cenário tecnológico mais provável são mostradas na tabela abaixo.

Tabela 4.1.2.4-2: Necessidade de área adicional para atender os Cenários 1 e 2

	Produção (milhões de m ³)	Área Total Situação Atual (mil ha)	Área Total Cenário Tecnologia Progressiva (mil ha)	Varição (mil ha)
Cenário 1	104,5 19.2	09 15.9	04	- 3.305
Cenário 2	205,0 37.6	65 31.1	84	- 6.481

Se adicionarmos a essa demanda, as demais necessidades de áreas para exportação de açúcar e para atender a demanda do mercado interno, chega-se ao quadro de demanda e disponibilidade de terras para a cultura de cana-de-açúcar apresentado abaixo. As necessidades de terras para a produção de açúcar dependerão também da aplicação de novas tecnologias. Se usarmos, como foi feito para o álcool que haverá um aumento da produtividade tanto na fase agrícola quanto industrial, obteremos um quadro mais favorável de demanda de terras, configurando a alternativa de maior conteúdo tecnológico (Tabela 4.1.2.4-3).

**Tabela 4.1.2.4-3: Expansão de área total para cana-de-açúcar
(em mil ha)**

Tecnologia		Exportações de Álcool	Açúcar	Álcool Mercado Interno	Total	Área Disponível (*)
Cenário 1	Atual	19.209 4.46	5	8.490	32.164	80.871
	Progressiva	15.094 3.98	6	6.111	25.191	80.871
Cenário 2	Atual	37.665 4.46	5	8.490	50.620	80.871
	Progressiva	31.184 3.98	6	6.111	41.281	80.871

(*): foram abatidas as áreas projetadas de expansão de outras culturas

Comprova-se que a situação é favorável em qualquer um dos cenários. Existe disponibilidade de terras para atender as necessidades de qualquer um deles. Apenas, no Cenário 2, na variante com tecnologia atual, teve que se recorrer também às terras de produtividade média para atender a todas as necessidades de expansão da agricultura brasileira nos próximos 20 anos.

O Programa do Biodiesel pode representar uma demanda adicional de terras agrícolas que precisa ser contemplada em nosso exercício prospectivo. As metas estipuladas pelo Governo são de que a mistura alcance 2%, em 2008, e 5%, em 2013. Constitui-se em um mercado substancial, mesmo sem incorporar nenhum crescimento em relação à atualidade. Os números são de 800 mil m³, em 2008, e 2 milhões de m³, em 2013, de biodiesel. Se for obtido a partir de uma cultura de uma oleaginosa ou da mamona, obtém-se um rendimento máximo de 500 litros por hectare, o que implicaria em necessidades adicionais de terras 4 milhões de hectares.

Ainda que supuséssemos que o crescimento da produção de oleaginosas para biodiesel se circunscrevesse às 17 áreas estudadas pelo projeto, haveria terras suficientes para atingir a meta de 2 milhões de m³. As demandas de terras de oleaginosas para combustível teriam que ser da mesma magnitude que a de álcool para exportação, no cenário 2, para que isso representasse uma pressão insustentável sobre a base de recursos do país. Porém nesse caso, o país produziria apenas 15 milhões de m³, representando um pequeno volume quando comparado aos 200 milhões m³ de álcool obtidos com a mesma superfície de terras.

4.2 Impactos macroeconômicos dos cenários de exportação

O esforço que deverá ser realizado para que o Brasil possa alcançar as metas de exportação definidas nos Cenário 1 e 2 são compatíveis com o tamanho alcançado pela economia brasileira na atualidade e as projeções de desenvolvimento no futuro.

O esforço de investimento que precisaria ser realizado no Cenário I para exportar 104,5 milhões de m³ de álcool em um prazo de 20 anos está descrito na Figura abaixo para o caso da adoção de “tecnologia progressiva”.

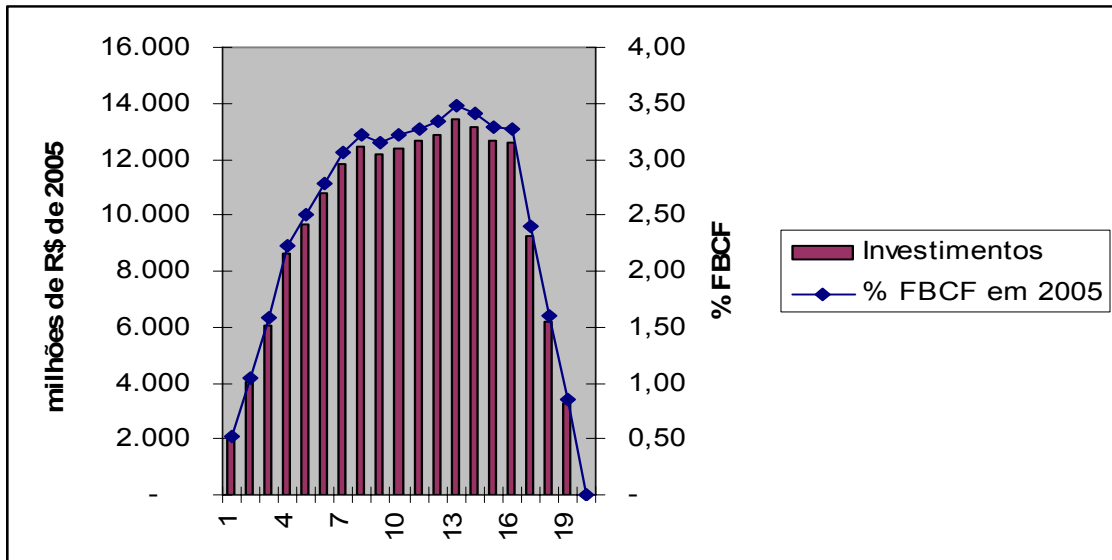


Figura 4.2-1: Investimentos do Cenário 1 – Tecnologia Progressiva, relação dos investimentos anuais com a formação bruta de capital fixo (FBCF) de 2005

Os investimentos em destilarias não se distribuirão de forma homogênea ao longo dos 20 anos. Entre o 8º e 16º ano deverá se concentrar a maior parte desse esforço. Nesse período, o volume de inversão anual ultrapassará a barreira de 3% do investimento total da economia brasileira em 2005. Esse volume de investimento é relativamente pequeno quando comparado ao porte atual da economia brasileira. A título de comparação, a Petrobras investiu, em 2006, R\$ 33,7 bilhões no conjunto de atividades tanto no país quanto no exterior. A mesma empresa deverá investir, em valores atuais, R\$ 32 bilhões anualmente, somente no território nacional, entre 2007 a 2011.

O Cenário 2 afigura-se muito mais desafiador. O impacto causado pela consecução das metas desse cenário deverá ser substancialmente mais significativo, conforme pode ser comprovado na figura abaixo.

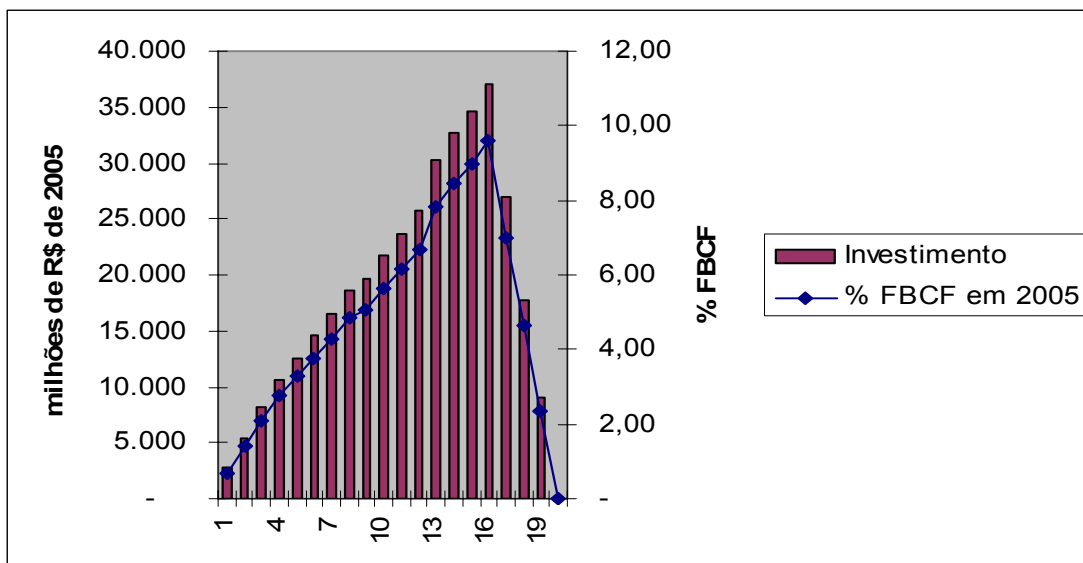


Figura 4.2-2: Cenário 2 – Tecnologia Progressiva, relação dos investimentos anuais com a formação bruta de capital fixo (FBCF) de 2005

O volume anual de investimento ultrapassaria os R\$ 35 bilhões em alguns anos e se aproximaria de 10% do volume de FBCF da economia brasileira em 2005. Embora o esforço envolvido nesse cenário seja consideravelmente superior ao do anterior, o esforço a ser realizado de verá ser tanto menor quanto maior for o ritmo de crescimento da economia brasileira.

O esforço necessário de investimento será atenuado consideravelmente mesmo com uma perspectiva de expansão moderada da economia brasileira. Se o ritmo de expansão médio da economia brasileira for de 3% a.a. nos próximos 20 anos e se for mantida a mesma taxa de investimento de 2005 (19,9%), esse impacto deve ser mais reduzido, como é possível comprovar na Figura abaixo.

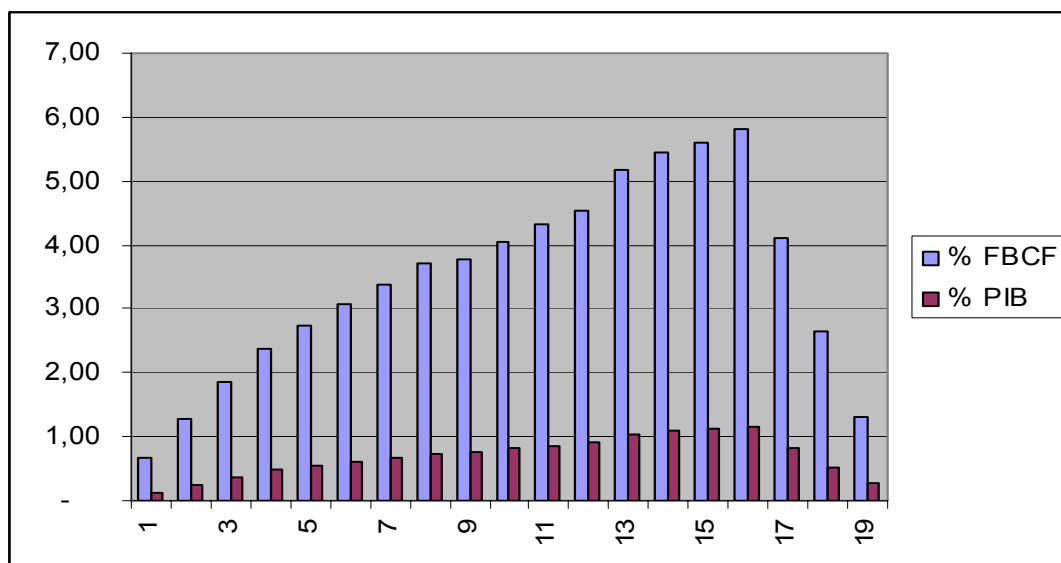


Figura 4.2-3: Cenário 2 – Tecnologia Progressiva, Participação dos investimentos em exportação no investimento anual do País e no PIB

O esforço de investimento deveria se aproximar de 6% da FBCF em alguns anos, porém, em termos do PIB, essa participação seria bem menor, e chegaria apenas em alguns anos um pouco mais de 1%. O volume total de investimento para esse Cenário seria de R\$ 368,6 bilhões.

Os custos mencionados acima não envolvem a parte de logística. Esta está avaliada US\$14,5 bilhões, caso seja usada predominantemente a modalidade dutoviária (ver Capítulo 3). Esse investimento seria suficiente para escoar até 260 milhões de m³ de álcool. Para se ter uma base de comparação, esses volumes são mais de duas vezes superiores aos atualmente manejados com a distribuição derivados de petróleo. Ao todo o volume de investimento a ser realizado, contemplando os investimentos em produção e transporte, seria de R\$ 402 bilhões.

Os impactos dos dois Cenários sobre a atividade econômica do país e de suas macro regiões podem ser apreciados na tabela abaixo, onde são computados os efeitos diretos, indiretos e induzidos, extraídos do modelo de insumo-produto desenvolvido para este estudo (vide capítulo 5).

Tabela 4.2-1: Impactos no PIB⁽¹⁾ da expansão produtiva do álcool nos Cenários 1 e 2, com e sem avanço tecnológico

Simulações		s/ tecnologia 2015	Tecnologia Progressiva 2015	s/ tecnologia 2025	Tecnologia Progressiva 2025
Norte	Cenário 1	5.507.974	5.393.336	12.386.159	11.857.257
	Cenário 2	6.651.131	6.519.627	18.168.392	17.427.319
	% C1 (*)	5,4	5,3	12,1	11,6
	% C2 (**)	6,5	6,4	17,7	17,0
Nordeste	Cenário 1	17.023.546	16.792.603	40.675.796	39.536.741
	Cenário I2	23.595.756	23.296.290	99.904.195	97.621.345
	% C1	6,2	6,2	14,9	14,5
	% C2	8,7	8,5	36,7	35,8
Centro-Oeste	Cenário 1	23.638.506	24.039.015	52.417.804	53.181.489
	Cenário 2	29.581.274	30.081.628	81.662.951	82.927.502
	% C1	16,2	16,5	36,0	36,5
	% C2	20,3	20,7	56,1	57,0
Sudeste	Cenário 1	32.247.833	31.335.978	73.137.053	69.047.631
	Cenário 2	49.278.371	48.068.348	150.874.709	142.902.879
	% C1	3,0 2,	9	6,9	6,5
	% C2	4,6 4,	5	14,2	13,4
Sul	Cenário 1	7.974.990	7.833.374	18.133.276	17.401.512
	Cenário 2	10.986.230	10.813.260	35.085.593	33.689.585
	% C1	2,3	2,2	5,1	4,9
	% C2	3,1	3,1	9,9	9,5
Brasil	Cenário 1	86.392.849	85.394.306	196.750.087	191.024.629
	Cenário 2	120.092.762	118.779.153	385.695.840	374.568.631
	% C1	4,5	4,4	10,2	9,9
	% C2	6,2	6,1	19,9	19,3

(*): % do Cenário 1 sobre o PIB regional e nacional de 2005

(**): % do Cenário 2 sobre o PIB regional e nacional de 2005

⁽¹⁾: São computados os efeitos diretos, indiretos e induzidos

Os impactos econômicos dos cenários 1 e 2 corresponderiam, respectivamente, a 10% e a 20% do PIB brasileiro de 2005. O impacto é maior para a região Sudeste, devido à maior importância da indústria e dos serviços nessa região. Entretanto, esse impacto varia sensivelmente de acordo com o respectivo porte econômico de cada região do país. A região Centro-Oeste seria relativamente mais impactada, pois aumentaria, em decorrência do Cenário 2, seu PIB de 57%, o que equivaleria a dizer que a consecução da meta de exportação de álcool induziria um crescimento do PIB da região Centro-Oeste a uma taxa média anual de 2,28%, durante 20 anos. A segunda região que irá mais expressivamente se beneficiar com a expansão das exportações de álcool será a região Nordeste, cujo PIB irá aumentar de 15 ou 37% de acordo com o cenário. O impacto econômico dos cenários deverá contribuir para o equilíbrio inter-regional porque beneficia as regiões menos desenvolvidas do país.

O impacto sobre o comércio exterior brasileiro deve ser também bastante expressivo. Pressupondo que seria cobrado US\$ 0,30 pelo litro de etanol FOB, o volume de divisas arrecadados pelo país ultrapassaria a barreira dos US \$ 30 bilhões no Cenário 1 e 60 bilhões no cenário 2.

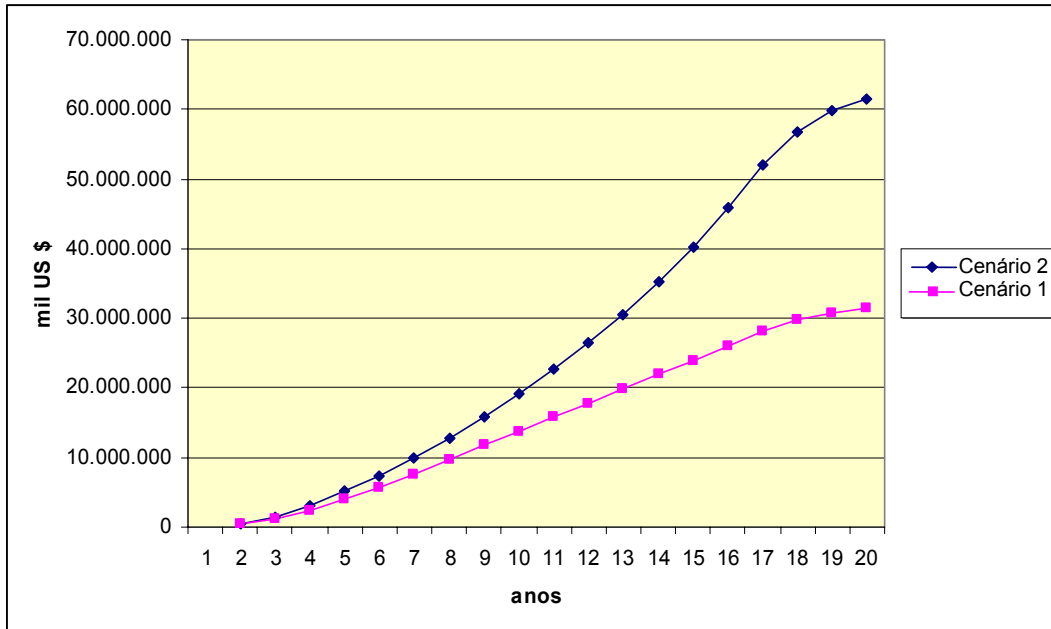


Figura 4.2-4: Valor das exportações Brasileiras de álcool nos Cenários 1 e 2

As exportações acumuladas, de dezembro de 2005 a novembro de 2006, elevaram-se a US\$ 136 bilhões. O valor das exportações de álcool lançados no Cenário 1 e 2 corresponderiam a 23% e a 45,2%, respectivamente, das exportações brasileiras de 2006. Tais valores, colocariam o álcool muito acima das exportações do complexo soja, que foram de US\$ 9,2 bilhões em 2005.

4.3 Conclusão

O balanço de terras construídos pela pesquisa (Tabela 4.1.2.4-3) indica que as terras disponíveis para cana-de-açúcar, com nível de produtividade alto, bom e médio, localizadas nas 17 áreas selecionadas, calculadas em 80,871 milhões de ha, são suficientes para abrigar a expansão dessa cultura em qualquer um dos cenários. Deve-se salientar que, nessa simulação dinamizada, a produção de cana-de-açúcar se destinaria não somente para a exportação de álcool (Cenários 1 e 2), mas também para atender às necessidades crescentes do mercado interno de álcool, liderado pelo aumento de veículos flex, e das exportações brasileiras de açúcar. A simulação embute também todas as novas necessidades de expansão de área das demais culturas temporárias e permanentes do país, embora não se tenha contabilizado especificamente o impacto que resultaria da expansão de culturas oleaginosas destinadas a atender as metas do programa do Biodiesel. Um exercício preliminar permite antever que este pode ser substancial, em torno de 4 milhões de ha. Ainda

assim, existe uma margem de terras superior a 30 milhões de hectares no Cenário 2, sem tecnologia, que permitiria contemplar com folga esse objetivo.

Os ganhos oriundos do progresso técnico foram adotados para a elaboração de cenários da oferta. Os avanços no cenário tecnológico advirão de melhoras tanto na fase agrícola quanto industrial. Estima-se que a produção de álcool por ha colhida de cana suba de 7.590 para 13.884 litros em um prazo de 20 anos (Tabela 4.1.2.1-2). Ficou evidenciado que o avanço tecnológico permitirá abaixar substancialmente a demanda de terras em mais de 6 milhões de ha, apenas para alcançar a meta de exportação do Cenário 2 (Tabela 4.1.2.4-2). Sendo assim, as terras de qualidade alta e boa seriam suficientes para alcançar as metas de exportação do Cenário 2 (Tabela 4.1.2.4-1). Essa economia de terras será ainda maior, se o progresso técnico, como é de se esperar, se irradiar para os demais usos da produção de cana-de-açúcar, álcool de mercado interno e açúcar. Nesse caso a economia de terras pode chegar a mais 9 milhões de ha (Tabela 4.1.2.4-3).

Os volumes de investimentos que serão requeridos para alcançar os cenários 1 e 2 não são desprezíveis. Esse investimento tenderá a aumentar, caso seja introduzida a tecnologia da hidrólise. Ainda assim esse volume de investimentos é perfeitamente compatível com o porte da economia brasileira. No caso do Cenário 2, que é o mais importante, estima-se que os investimentos ultrapassarão a barreira dos R\$ 35 bilhões em alguns anos. Esse volume de investimentos corresponde ao que a Petrobras se propõe investir anualmente nos próximos anos. Projetando-se uma expansão da economia de 3% a. a., estima-se que no ponto culminante, o esforço equivalha a menos de 6% do volume de investimento da economia brasileira para aquele ano (Figura 4.2-3).

Os impactos de um programa de expansão das exportações não são nada desprezíveis em termos de desconcentração econômica regional. Esses impactos seriam mais expressivos em regiões menos desenvolvidas do país, como o Nordeste, Norte e Centro-Oeste. Nesta última região, o impacto do Cenário 2 equivaleria a uma expansão do PIB de 2,44% a.a. durante 20 anos. Os impactos em termos da expansão do volume de exportações são significativos. Alcançariam no caso do Cenário 2 um valor superior a US\$ 60 bilhões, sendo aproximadamente 6 vezes superior às exportações do complexo soja em 2005.

4.4 Avaliação de riscos do mercado previsto não se concretizar

4.4.1 Introdução

A premissa deste projeto é que o Brasil poderá ser, em 20 anos (2025), o principal, ou até mesmo o único, fornecedor de etanol combustível no mercado internacional. O consumo de etanol associado à hipótese de que o mesmo possa deslocar 10% da demanda mundial projetada de gasolina é estimado em 102,5 ou 205,0 bilhões de litros em 20 anos (2025), nas hipóteses do Brasil suprir 50% ou 100% das demandas projetadas, respectivamente.

Os riscos de que tais hipóteses não se concretizem estão associados a um dos aspectos abaixo listados, exclusivamente, ou a uma combinação dos mesmos:

- (i) que os fatores que motivam o interesse observado nos últimos anos, e que induzem o aumento do consumo de etanol combustível, deixem de existir. Os possíveis fatores que induziriam tal fato são analisados na seqüência;
- (ii) que o Brasil não seja capaz de produzir, por qualquer uma das razões que serão analisadas ao longo do texto, os volumes estimados;
- (iii) que o Brasil não consiga vender, por qualquer uma das razões que serão também analisadas na seqüência, os volumes projetados para os anos de referência.

4.4.2 Riscos de que o etanol não seja importante alternativa

Nos últimos anos, três fatores têm induzido o aumento da produção e do consumo de etanol combustível. As justificativas apresentadas pelos países que recentemente definiram políticas específicas indutoras do consumo de etanol estão associadas aos seguintes aspectos (ROSILLO-CALLE E WALTER, 2006):

- (i) ambiental, devido à crescente priorização dessas questões nas diferentes esferas de governança. Um dos fatores motivadores é a desejada melhoria da qualidade do ar nas grandes cidades. Outro fator é a necessidade de substituição de substâncias que aumentam a octanagem do combustível e são ambientalmente problemáticas, como o MTBE. Entretanto, a razão recorrentemente citada é a necessidade de mitigação das emissões dos gases precursores do efeito estufa (GEE), com certa preocupação quanto ao cumprimento dos compromissos de mitigação definidos no Protocolo de Quioto;
- (ii) aumento da segurança de suprimento energético, uma vez que a dependência energética, principalmente de petróleo e de seus derivados, em um contexto de preços crescentes e de insegurança em importantes regiões produtoras, é ponto central das políticas da União Européia e dos Estados Unidos;
- (iii) pressões econômicas e sociais voltadas para a promoção do desenvolvimento rural e a criação de empregos, no caso dos países em desenvolvimento, e para a manutenção da renda e da qualidade de vida dos agricultores, no caso principalmente dos Estados Unidos e da União Européia⁴. Em associação a tal

⁴ Para a maioria dos países desenvolvidos o setor agrícola é extremamente importante. Os benefícios dados aos agricultores para a produção de bio-combustíveis são tidos como meio de reduzir os custos totais e as distorções das

aspecto, outras razões dizem respeito à necessidade de estabilização dos preços de commodities e à redução dos subsídios agrícolas (FAO, 2006).

Em síntese, para os países desenvolvidos, os bio-combustíveis são alternativa para a redução de emissão de poluentes e de GEE, bem como para a diversificação da matriz energética. Já os países em desenvolvimento tendem a priorizar o desenvolvimento rural, a criação de empregos e as economias geradas em moeda estrangeira. A segurança energética é mencionada como prioridade pela maioria dos países (ESMAP, 2005). Conjuntamente, outro importante fator a sustentar o debate que dado a o etanol trata-se da limitação da capacidade de refino que tem restringido o mercado de petróleo nos últimos anos (IEA, 2006).

A maioria dos estudos indica que a importância do transporte individual deve continuar nas próximas décadas, seja pelo aspecto cultural associado, seja pelos interesses das grandes indústrias (e.g., petrolífera e automobilística), e/ou ainda pela enorme inércia que há para a transformação de uma infra-estrutura criada durante décadas, e que para tanto exigiria investimentos fabulosos. No que diz respeito à busca de alternativas aos derivados de petróleo hoje utilizados no setor de transportes, Romm (2006) refere-se ao problema da criação da infra-estrutura necessária fazendo paralelo ao dilema "do ovo e da galinha": o que deve vir primeiro, a infra-estrutura de produção, transporte, armazenamento e distribuição, ou os veículos que demandariam os novos energéticos? Quem investiria na criação da infra-estrutura de abastecimento se o mercado consumidor não estiver garantido, e quem induziria a formação do mercado se o abastecimento não estiver assegurado?

Nesse sentido, uma importante vantagem dos bio-combustíveis é que as alterações necessárias na infra-estrutura existente são menores e em relação, por exemplo, às alternativas "veículos puramente elétricos" e "veículos com células a combustível". A alternativa de mistura de bio-combustíveis aos combustíveis fósseis tradicionais é mais fácil de se viabilizar do que o uso exclusivo de bio-combustíveis, embora os desafios associados não sejam de pequena monta. É de se esperar que no futuro as opções de motorização dos sistemas de transporte sejam muito mais diversificadas do que no presente, mas é improvável que mudanças substanciais sejam observadas em menos de 20 anos (GIELEN E UNANDER, 2005). Com efeito, estudo prospectivo da Agência Internacional de Energia (2003) indica que 20 anos é o período mínimo necessário para que haja clareza se uma infra-estrutura de transporte totalmente diferente da atual será necessária, ou não. Portanto, a importância dos combustíveis líquidos continuará grande durante pelo menos duas décadas.

Nesse sentido, um dos fatores de risco de que o etanol não tenha grande importância em nível mundial pode ser considerado improvável, pois dificilmente haverá, para uso em larga escala, alternativas de motorização melhores do que os combustíveis líquidos no horizonte considerado.

Ainda dentro da mesma lógica, outros fatores de risco estão associados ao fato de que o conjunto de "*driving-forces*" do etanol, anteriormente mencionadas, deixem de existir em vinte anos. Isso ocorreria, por exemplo, se as questões ambientais

políticas de apoio à agricultura praticadas pelos países membros da OECD, cujo montante de subsídios soma US\$ 320 bilhões por ano (Hazell e Pachauri, 2006).

deixassem de ser prioritárias, seja porque provar-se-ia nos próximos anos que a ameaça de aquecimento global não existe ou que, no outro extremo, nada mais pode ser feito para se evitar um desastre ambiental de dimensões planetárias. O conhecimento científico atual não permite descartar tais alternativas, mas é evidente que, por outro lado, o conhecimento científico atual também indica que ambas são pouco prováveis.

Outra possibilidade, em princípio igualmente remota em um horizonte de 20 anos, é que a questão da segurança de suprimento energético deixe de ser prioridade para grande parte dos potenciais países importadores de etanol. Uma variante é que os riscos associados ao suprimento de petróleo, tanto do ponto de vista do acesso físico ao produto quanto do ponto de vista de seus altos preços, sejam drasticamente reduzidos. Para tanto seria preciso que grandes reservas fossem encontradas e pudessem ser exploradas a baixo custo em países que hoje são altamente dependentes de petróleo importado. Mas tal alternativa só seria factível se, adicionalmente, as questões ambientais globais não tiverem a importância que se imagina venham ter nos próximos anos.

Por outro lado, um importante fator de risco está associado ao cenário em que haveria entendimento de que os bio-combustíveis, e em particular o etanol produzido no Brasil, não são alternativas adequadas do ponto de vista da sustentabilidade, em sentido amplo. Há diversos aspectos que devem ser considerados, incluindo (i) a pressão sobre a oferta e sobre os custos de produção de alimentos, (ii) os potenciais danos ambientais associados à produção de bio-combustíveis em larga-escala (e.g., desmatamento, ameaça a ecossistemas frágeis, erosão, excessivo consumo d'água, contaminação do solo e de corpos d'água, excessivo emprego de fertilizantes e de agrotóxicos, etc.), e (iii) o mesmo em relação à não existência de reais benefícios sociais (e.g., geração e melhor distribuição da renda, criação de empregos socialmente aceitáveis, respeito aos direitos das minorias, etc.). Tal questão pode ter certa dose de subjetividade, uma vez que, por um lado, existem posições pré-concebidas de certos atores e, por outro lado, existem aspectos que são muito mais importantes para alguns atores, tornando muito difícil a definição de uma posição consensual. A relação de forças entre os atores envolvidos pode induzir determinadas posições, não necessariamente as mais equilibradas do ponto de vista da própria sustentabilidade, em um sentido amplo. Possivelmente a melhor solução para tal problema potencial seria a definição e o atendimento de critérios mínimos para a certificação da produção, ponto que será analisado mais a frente.

4.4.3 Riscos de que a produção de etanol não ocorra como esperado

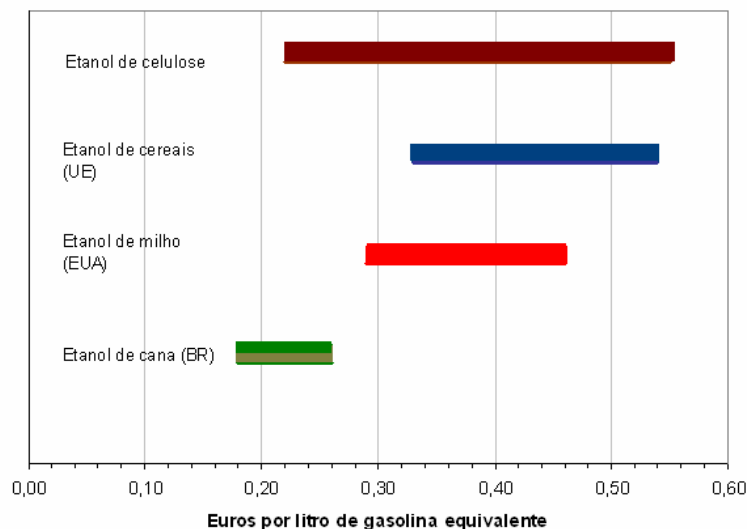
Um dos riscos a ser considerado é que o Brasil não possa produzir os volumes estimados de etanol no horizonte de 10-20 anos. Já foi demonstrado neste relatório de que esse risco não está associado à disponibilidade de terras e, conseqüentemente, no país não deve existir significativa pressão sobre a produção de alimentos e de matérias-primas.

Embora, no Brasil, haja tradição no desenvolvimento tecnológico no setor sucroalcooleiro, deve ser considerado o risco de que haja dificuldades na expansão da

atividade em regiões não tradicionais de produção. O risco é de que os níveis de produtividade sejam menores e, conseqüentemente, os custos de produção sejam maiores durante um período significativo, o que estimularia a entrada de novos produtores ou viabilizaria a consolidação de outros países produtores nos quais a atividade canavieira já existe.

Há vários estudos (e.g., HAMMELINCK et al., 2005) que apontam que a produção de etanol a partir da cana-de-açúcar, nas condições como hoje ocorre no Brasil, será imbatível quanto a seus custos, mesmo considerando o eventual sucesso no desenvolvimento de tecnologias como a produção de etanol a partir da celulose. Na Figura 4.4.3-1 é apresentada estimativa dos custos de produção de etanol e de outros combustíveis alternativos a pós 2010, considerando diferentes cenários de desenvolvimento das novas tecnologias.

Nota-se que, no futuro, mesmo que os custos da produção de etanol no Brasil sejam os mais baixos em relação a qualquer outra alternativa, certa produção de etanol a partir da celulose, na Europa e nos Estados Unidos, por exemplo, poderia ser competitiva. Do ponto de vista econômico, considerada a enorme produção prevista, os custos marginais de produção no Brasil da "n-ésima" unidade (em que $n = 102,5$ ou 205 bilhões de litros) poderiam ser maiores do que os custos de produção no trecho inicial da curva de oferta de etanol a partir de celulose. Também deve ser considerado que, diante de um mercado tão atrativo, outros países que tenham condições de produzir etanol a baixo custo a partir de cana-de-açúcar também o fariam, seja para atender o mercado interno, seja para exportação.



Fonte: IEA (2004)

Figura 4.4.3-1: Estimativa dos custos de produção de etanol em horizonte de 5-20 anos

Há de se considerar, por outro lado, que toda a infraestrutura de produção e de abastecimento terá de ser construída no Brasil sem que possam ser dadas aos investidores plenas garantias de venda do produto, uma vez que o mercado existirá em outros países. Assim, mesmo com o avanço nas negociações entre o Brasil e principais países consumidores, e com a definição de acordos, não será possível assegurar a venda de tão grande produção. Por outro lado, se houver crise de abastecimento, novos produtores terão oportunidade de entrar no mercado. Em tal mercado, as barreiras à entrada são relativamente pequenas e as mesmas não poderão ser impostas pelo Brasil. Não sendo possível garantir o mercado, os investidores potenciais identificarão riscos significativos, e deverão ser mais comedidos em suas decisões.

Ademais, a alternativa de diversificação e flexibilização da produção, como ocorre hoje entre a produção de açúcar e de etanol, será muito menor no contexto imaginado, uma vez que não existe mercado para tal quantidade de açúcar (equivalente a 102,5 ou 205 bilhões de litros de etanol/ano).

Finalmente, mesmo que a capacidade de produção de etanol seja viabilizada, o comércio internacional só existirá se não houver barreiras logísticas, tanto no Brasil quanto no exterior. Para tanto, a infraestrutura de transporte, de armazenamento e de embarque no Brasil deve ser construída de sorte a não impor restrições físicas ou econômicas à comercialização. Os investimentos necessários requerem planejamento e, possivelmente, só ocorrerão com a participação mais ativa do Governo Federal. Para os demais países o Brasil deveria oferecer seu know-how com vistas a facilitar o desenvolvimento do mercado.

4.4.4 Riscos de que o mercado internacional não absorva toda a produção potencial brasileira

Um dos riscos, e tal vez o principal, está associado ao fato de que o mercado internacional não queira, ou não possa, absorver toda a produção brasileira, em função da necessidade ou da conveniência de fomento à produção local ou, ainda, em função do interesse de se diversificar o fornecimento de etanol, induzindo a existência de mais países exportadores. Inclusive, para reduzir riscos, países com alta capacidade de investimento (e.g., EUA, Japão e UE), poderão induzir a formação de capacidade de produção de etanol em países que têm condições adequadas.

Uma vez que interesses específicos do setor agrícola têm grande peso nas decisões tomadas na União Européia e nos Estados Unidos, e como a política de apoio aos bio-combustíveis tem também no fomento à agricultura uma de suas principais fundamentações, é de se esperar que, enquanto possível, continuem a existir barreiras à importação ao etanol combustível do Brasil. Tal cenário deve persistir ao menos em um horizonte de cinco a dez anos (portanto, até aproximadamente 2015), para viabilizar a amortização dos investimentos já feitos na expansão da capacidade de produção a partir de milho (nos EUA), cereais e beterraba (na Europa) e, também, para justificar e viabilizar os investimentos no desenvolvimento de tecnologias de produção de bio-combustíveis a partir da celulose.

No final de 2005, a capacidade de produção de etanol combustível foi estimada em 16,2 GJ (bilhões de litros/ano) nos EUA (RFA, 2006) e 2,1 GJ na União Europeia (EBIO, 2006). No caso dos Estados Unidos, apenas considerando as unidades que estavam em construção em 2006 (RFA, 2006), a capacidade de produção chegará a 23 GJ nos próximos 2-3 anos. Já na União Europeia, a capacidade de produção em meados de 2008 deve chegar a 5 GJ (EBIO, 2006). Por outro lado, BERG (2005) estima que a capacidade de produção poderia chegar em 2010 a 26 GJ nos EUA e a 10,5 GJ na União Europeia. Considerados os consumos projetados para 2010, de 23 GJ nos EUA e 5,1 GJ na União Europeia (WALTER ET AL., 2007), teoricamente haveria condições de se atender as demandas de etanol desses mercados apenas com produção doméstica. Os custos, entretanto, seriam bem mais altos do que os ora observados no Brasil.

Com tal quadro, seria politicamente desgastante a total abertura dos mercados norte-americano e europeu para o etanol brasileiro. A partir de 2015, dependendo da premência da expansão do consumo de etanol, e também dependendo do estágio alcançado na produção local dos bio-combustíveis, um cenário possível é o de maior liberalização dos mercados.

Por outro lado, nos principais mercados potencialmente consumidores, exceto o Japão, e no curto prazo, é improvável um cenário em que a dependência externa do etanol combustível seja maior do que a atual dependência externa em relação ao petróleo: importação de 65% nos EUA, em 2005, e de 80% na União Europeia, no mesmo ano (BP, 2006). O Japão é excluído da análise porque o país já é totalmente dependente de petróleo importado. Principalmente nos EUA, onde o argumento da segurança de suprimento energético é priorizado, é improvável uma solução de alta dependência externa no suprimento de etanol, sobretudo em um eventual mercado quase monopolista e, sobretudo, em detrimento dos interesses dos agricultores locais. Assim, boa parte da produção local, embora cara e com balanço energético pouco favorável, deve ser preservada para atender a base da demanda nos mercados europeu e norte-americano.

Adicionalmente, a preservação de espaço para a produção local dará tempo para que a tecnologia de produção de bio-combustíveis a partir da celulose alcance estágio comercial e possa percorrer sua curva de aprendizado, com redução dos custos. Em um ambiente de livre mercado, seria mais cara a adoção de políticas de proteção às novas tecnologias de produção de etanol.

Adicionalmente, entende-se que a difusão da produção de bio-combustíveis nos países em desenvolvimento, e principalmente nos países menos desenvolvidos, é a melhor estratégia para aliviar a pobreza, criar oportunidades de desenvolvimento rural, reduzir a importação de petróleo importado e aumentar o acesso a serviços energéticos modernos (UNITED NATIONS FOUNDATION, 2006). Embora haja certa controvérsia, a posição mais aceita é de que a produção em países em desenvolvimento deve primeiro estar voltada ao atendimento do consumo próprio, e depois, desde que potencialmente competitiva, voltada à exportação. A estratégia apresentada pela Comissão Europeia relativa aos bio-combustíveis faz menção explícita ao fato de que suas políticas devem ter impacto benéfico na criação da capacidade de produção em outros países, e que o acesso preferencial ao mercado europeu deve ser dado a países Africanos, Caribenhos e Asiáticos (FÖRSTER ET AL.,

2006). Em alguns textos, inclusive, menciona-se que o Brasil é o único país que é competitivo com os regimes tarifários MFN⁵ aplicados ao etanol combustível pela União Européia e pelos Estados Unidos. Assim, apoios específicos à produção brasileira são, em princípio, considerados desnecessários.

Na mesma linha de raciocínio de induzir melhorias nas condições de vida em países menos desenvolvidos a partir do apoio à produção local de bio-combustíveis, tem sido recentemente citado na imprensa que os Estados Unidos entendem que a produção de bio-combustíveis em países em desenvolvimento fomentaria a geração de empregos em larga escala e, assim, haveria redução do fluxo migratório. Nesse sentido, mais do que priorizar a importação de etanol do Brasil, interessaria aos Estados Unidos diversificar geograficamente a produção em países da América Latina.

Förster et al. (2006) mencionam que uma política de livre mercado ao etanol na União Européia resultaria (i) no aniquilamento da capacidade de produção local, que não teria condições de competir com a produção brasileira (principalmente), (ii) na concentração da produção europeia no bió-diesel, com impactos indesejáveis na produção de países que almejam exportar esse energético para a Europa⁶, e (iii) o cerceamento do desenvolvimento da indústria de etanol em outros países, uma vez que, a exemplo do que ocorre com a produção de açúcar, poucos países podem ser realmente competitivos⁷. Os autores mencionam que a abordagem a ser seguida pela Comissão Européia deve balancear os interesses dos produtores locais com o dos parceiros comerciais. No caso do fomento à produção em outros países, menciona-se que seria inaceitável a União Européia expandir o uso de bio-combustíveis induzindo impactos ambientais e sociais negativos nos países em desenvolvimento. Tal argumento justificaria a necessidade de certificação da produção, aspecto que será analisado mais à frente.

4.4.5 Outros fatores de risco

Existem outros aspectos que impõem ou tendem a impor barreiras ao comércio internacional de etanol e, portanto, são fatores de risco. O primeiro ponto a ser destacado é a ausência de codificações apropriadas para os bio-combustíveis no Sistema Internacional Harmonizado (SH) (UNCTAD, 2006). O SH é um sistema de nomenclatura de produtos tarifários, dividido por tipo de produtos e estruturado em vários níveis. Cada país é responsável por apresentar, via SH, as tarifas empregadas à

⁵ O regime tarifário MFN (Most Favorable Nations), ao contrário do que poderia se supor, não confere vantagens particulares no comércio internacional. Todos os países membros da Organização Mundial do Comércio conferem regime MFN uns aos outros. Ter status MFN significa que uma dada nação não receberá tratamento discriminatório de outra nação, e a ela serão impostas as mesmas regras impostas às demais, exceto os países que têm tratamento especial assegurado por acordos firmados entre as partes interessadas. Segundo Hoekman et al. (2001), picos tarifários são impostos no âmbito do regime tarifário MFN a produtos considerados sensíveis para algumas nações, como produtos agrícolas, no caso da União Européia e os Estados Unidos.

⁶ O argumento é que a produção de bio-diesel na Europa é competitiva com a produção em outros países. Caso não haja espaço para a produção de etanol, os agricultores europeus se concentrariam na produção de oleaginosas, reduzindo em muito as chances de exportação de países que têm potencial de produção de óleos vegetais, mas não de etanol.

⁷ O argumento é que, em ambiente de livre comércio, a produção de etanol a partir da cana-de-açúcar – a rota mais barata de produção – teria o mesmo nível de concentração que é observado na produção de açúcar, inibindo o desenvolvimento da produção em países menos desenvolvidos.

importação de produtos estrangeiros. Cada categoria de produto tem um código definido por uma numeração, que cresce à medida que ocorre a especificação do produto. Na ausência de um código específico para o etanol combustível, e por força dos vários usos potenciais desse produto (como combustível, matéria-prima na indústria e na produção de bebidas), há, por um lado, pouca precisão quanto aos dados estatísticos relativos ao comércio internacional de etanol. Por outro lado, e pior, há margem para que os países imponham diferentes tarifas para produtos semelhantes (e.g., etanol denaturado e não denaturado de teor alcoólico acima de 80%⁸), resultando tratamentos discriminatórios, embora legais.

Outro aspecto extremamente importante diz respeito à divergência de especificações técnicas relativas ao etanol combustível. Existem iniciativas visando uma especificação única, e o Brasil tem participado dessas negociações, o que facilitará sua comercialização enquanto commodity. Entretanto, por enquanto, diferentes países têm especificações distintas, aspecto que pode ser usado como barreira não comercial (WALTER ET AL., 2007). Tal ponto deve fazer parte da agenda de discussões entre os Presidentes Lula e George W. Bush, nos encontros que ambos terão em março de 2007.

As questões associadas à certificação da produção de bio-combustíveis são mais complexas e estão, ainda, em estágio inicial de discussão. Por um lado, a sinalização de que a certificação da produção será exigida vem, por enquanto, apenas de alguns países europeus (principalmente Alemanha, Holanda, Reino Unido e França). Como anteriormente mencionado, na União Europeia existe uma posição relativamente consolidada de que seria inaceitável promover o aumento do consumo de bio-combustíveis com indução de impactos sociais e ambientais negativos nos países em desenvolvimento. Por outro lado, a certificação de biomassa sólida (e.g., chips de madeira e pellets) já é exigida pelos produtores europeus. Ademais, há percepção relativamente generalizada na União Europeia de que há riscos significativos de que a produção de bio-combustíveis ocorra, em países como o Brasil, com a indução de danos a ecossistemas frágeis, desmatamento (direto ou indiretamente induzido), concentração de renda e exploração de mão-de-obra infantil. Alguns casos que são frequentemente vinculados pela imprensa europeia, mesmo que esporádicos, são suficientes para disseminar tal percepção.

A tendência é que a União Europeia defina procedimentos únicos de certificação para qualquer biomassa, tendo por base critérios mínimos que deverão evoluir ao longo dos anos. Nas discussões fora das esferas governamentais diz-se que tais procedimentos e critérios terão de ser necessariamente discutidos entre todos os atores interessados, de forma a legitimá-los e para que não sejam vistos como novas barreiras não-comerciais. Os aspectos mais mencionados como focos de preocupações são: (i) assegurar que a expansão da produção de bio-combustíveis ocorra sem destruição de ecossistemas frágeis e sem induzir desmatamento, (ii) que a produção de bio-

⁸ Ao álcool denaturado é adicionado solvente, que é de difícil remoção (i.e., a remoção é cara). A adição de solvente tem como objetivo fazê-lo não potável (Rosillo-Calle e Walter, 2006). Tanto o etanol denaturado como o não denaturado podem ser utilizados como combustível. O consumo que tem crescido é o de etanol não denaturado, tendo seu comércio exterior representado 80% de todo o volume transacionado em 2005 (no total, cerca de 6 Gt) (FO Licht, 2006). O regime tarifário MFN imposto pela União Europeia às importações de etanol define tarifas de 192 Euro/m³ de etanol não denaturado e de 102 Euro/m³ de etanol denaturado (UNCTAD, 2006).

combustíveis não resulte pressões sobre a produção e os preços de alimentos, (iii) que o balanço de energia associado à produção seja favorável, implicando significativa redução de emissões de GEE, (iv) que a produção agrícola não ocorra com excessivo consumo de fertilizantes e agro-químicos, (v) que a produção de bio-combustíveis não implique pressão sobre os recursos hídricos, (vi) que a produção de bio-combustíveis induza benefícios sociais e econômicos aos segmentos sociais envolvidos, e (vii) que os direitos fundamentais do ser humano e do trabalhador sejam preservados (Hunt, 2006).

Esse fator de risco tem um agravante que diz respeito à percepção de certos atores sociais, que não acreditam que os sistemas de certificação sejam efetivos e/ou duvidam que legislações locais sejam realmente cumpridas. Nesse sentido, mais do que se preocupar em cumprir critérios de certificação, o Brasil deveria se preocupar em ter boa imagem enquanto produtor de bio-combustíveis, assegurando que essa atividade seja inequivocamente reconhecida como sustentável. É provável que a posição oposta, e que procura se firmar em princípios de autonomia (e.g., no país existem leis, e o cumprimento dessas leis é um problema exclusivo do Brasil), seja absolutamente ineficaz no contexto de crescentes preocupações quanto à sustentabilidade.

4.4.6 O papel das negociações

Vários dos fatores de risco acima mencionados podem ser minimizados através de negociações internacionais. O Brasil tem reivindicado e participado de negociações que visam a redução de barreiras tarifárias, a definição de especificações para o etanol combustível e a criação de condições para que tal produto seja aceito e tratado como commodity no mercado internacional. Os encontros dos presidentes do Brasil e dos Estados Unidos, em março de 2007, podem ser marcos nesse sentido. Da mesma forma, o Brasil, no contexto do Mercosul, tem tentando flexibilizar a posição da União Européia em relação às barreiras impostas à importação de etanol combustível.

Como a questão política associada é complexa e há vários fatores condicionantes, a rápida redução ou mesmo a eliminação das barreiras tarifárias não deve ser verificada em curto prazo, mas avanços podem ser observados. Em essência, o Brasil precisa exercer seu papel de liderança na produção de bio-combustíveis, e atuar nas negociações com priorização de seus interesses de longo prazo. As condições de produção de etanol são extrinsecamente favoráveis no Brasil (e.g., o clima, a disponibilidade de terra, o domínio da tecnologia, o balanço energético favorável, os benefícios quanto às emissões evitadas de GEE), e essas vantagens precisam ser bem utilizadas.

Além das negociações bilaterais visando a abertura dos principais mercados dos consumidores, a retomada das negociações no âmbito da Rodada de Doha, da Organização Mundial do Comércio, também precisa ser estrategicamente explorada. As negociações foram suspensas em meados de 2006 e não há data marcada para a retomada. A superação dos impasses dependerá da definição de uma nova postura com relação aos subsídios pagos aos produtores agrícolas e aos agricultores,

principalmente na União Europeia e nos Estados Unidos. O comércio internacional de bio-combustíveis deverá ser incluído na futura pauta de negociações.

Além da alternativa associada ao livre comércio de bens agrícolas, outra alternativa na mesma Rodada de Doha diz respeito à inclusão dos bio-combustíveis na categoria de bens e serviços ambientais, que poderiam ter seu comércio flexibilizado com mais facilidade. De qualquer forma, o caminho das negociações é sempre longo e o Brasil terá de ceder em alguns pontos para que tenha vantagens em outros.

4.4.7 Aspectos complementares

Uma alternativa, ou mesmo ação complementar à produção em larga escala de etanol combustível voltado à exportação, é o fornecimento de tecnologia de produção e de know-how. A ampliação do número de países fornecedores parece ser condição necessária à expansão do mercado internacional de etanol, ao menos porque haveria redução dos riscos de suprimento.

Por outro lado, a chegada de investidores estrangeiros para a produção de etanol no Brasil tem sido observada nos últimos anos. Por um lado, evidentemente que há aspectos positivos, uma vez que há aumento do número de investidores. Por outro lado, há necessidade de clara regulamentação, para que os riscos de abastecimento sejam minimizados e a sustentabilidade da produção seja assegurada. A indústria de bens de capital também tem manifestado preocupação de que os investimentos feitos por estrangeiros ocorram com prioridade aos fornecedores estrangeiros.

4.5 Análise socioeconômica dos impactos regionais da expansão da produção de etanol no IDH.

O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) representa um indicador relativo dos fatores longevidade, educação e renda de uma região. Trata-se de uma medida do bem-estar de uma população, sendo usado desde 1993 pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento – PNUD.

A Figura 4.5-1 mostra um mapa do IDH-M (municipal) para o ano de 2000.

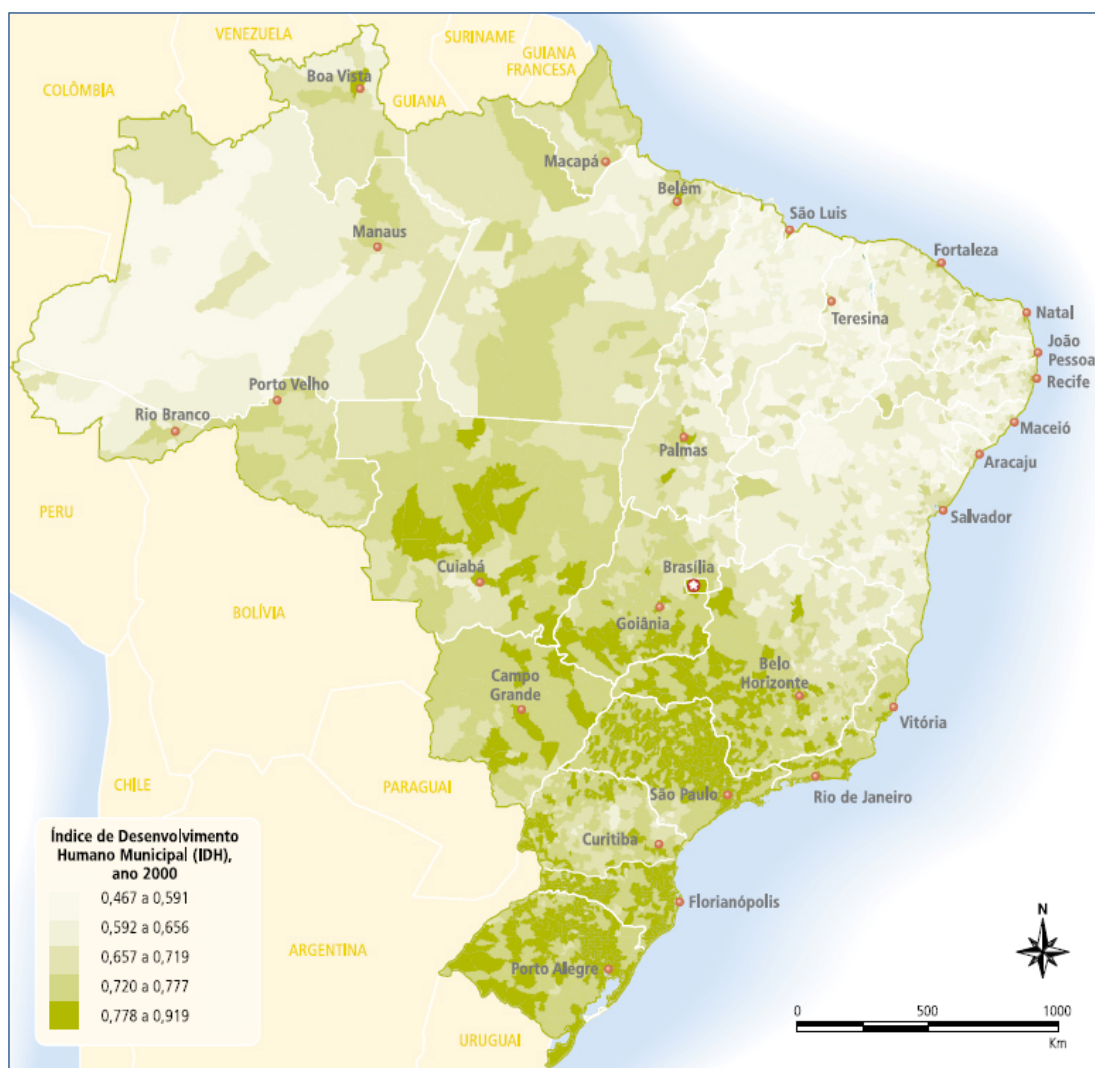


Figura 4.5-1: Mapa do IDH dos municípios brasileiros
Fonte: ANEEL (2005)

As relações estatísticas aproximadas (ajuste logarítmico) entre renda *per capita* (\bar{y}) e IDH (h) para as cinco macro-regiões do Brasil, respectivamente Norte (N), Nordeste (NE), Centro-Oeste (CO), Sudeste (SE) e Sul (S), são as seguintes:⁹

$$h = 0,1119 \ln(\bar{y}) + 0,138 \quad (4) \quad .5-1)$$

$$h = 0,1293 \ln(\bar{y}) + 0,0434 \quad (4) \quad .5-2)$$

$$h = 0,1083 \ln(\bar{y}) + 0,1638 \quad (4) \quad .5-3)$$

$$h = 0,12 \ln(\bar{y}) + 0,1073 \quad (4) \quad .5-4)$$

$$h = 0,1221 \ln(\bar{y}) + 0,1108 \quad (4) \quad .5-5)$$

Supondo-se pequenas variações de y , as mudanças causadas em h podem ser aproximadas tomando-se o diferencial total de (4.5-1)–(4.5-5):

⁹ Os dados referem-se ao ano de 2000. A análise estatística foi feita por Arnaldo C. S. Walter.

$$\Delta h \approx 0,1 \frac{\Delta \bar{y}}{\bar{y}} = 0,1 \Delta \% \bar{y}. \quad (4.5-6)$$

Embora a longevidade e educação componham também o IDH, esses fatores não deixam de ser funções da renda *per capita*, embora essa relação inclua a inércia temporal (razão pela qual a Argentina ainda apresenta IDH significativamente superior ao do Brasil, a despeito da séria crise econômica por que passou anos atrás); daí se poder, em longo prazo, resumir aproximadamente o IDH como mostrado em (4.5-6).

Considerando-se que a população não muda significativamente, então

$$\frac{\Delta \bar{y}}{\bar{y}} \approx \frac{\Delta y}{y}$$

onde y é o PIB total (ou renda da região), de forma que

$$\Delta h \approx 0,1 \frac{\Delta y}{y} = 0,1 \Delta \% y. \quad (4.5-7)$$

Caso a população cresça, o valor de Δh seria inferior ao calculado por (4.5-7). Assim, (4.5-7) representa um limite superior para a variação do IDH.

Por exemplo, supondo-se que a população venha crescendo a uma taxa baixa, se o PIB crescer 100%, então o IDH deve aumentar em 0,1. Assim, se a economia do Brasil crescer 3% a.a., então levará ao menos 23 anos para o IDH do Brasil crescer 0,1.¹⁰ Em 2004, o Brasil apresentou IDH de 0,792, ocupando a 69ª colocação entre todos os países do mundo. Serão necessários mais de 20 anos para o país atingir a marca de 0,9, alcançada em 2004 por Portugal (0,904) e Coréia do Sul (0,912).

A Tabela 4.5-1 exibe os dados sobre área territorial, população, densidade populacional e PIB *per capita* para as cinco macro-regiões do país (Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sul e Sudeste).

A Tabela 4.5-2 mostra os IDHs para os estados brasileiros. Não foi possível encontrar os IDHs para as macro-regiões do país.

Tabela 4.5-1: Quadro socioeconômico do Brasil por macro-região (2000)

	Área [km ²]	População	Densidade populacional	PIB <i>per capita</i> [R\$]
Norte 3.8	53.327	12.900.704	3,35	3.907
Nordeste 1.5	54.257	47.741.711	30,72	3.014
Centro-Oeste 1.6	06.372	11.636.728	7,24	6.559
Sudeste 924.511		72.412.411	78,33	8.774
Sul 576.410		25.107.616	43,56	7.692
Brasil	8.514.877	169.799.170	19,94	6.473

Fonte: ANEEL (2005)

¹⁰ Pode-se mostrar que o tempo de duplicação é aproximadamente a razão de 70 pela taxa de crescimento (expressa em percentual).

Tabela 4.5-2: Quadro socioeconômico do Brasil por unidade da federação (2000)

	<i>PIB per capita [R\$]</i>	<i>IDH</i>
Acre 3.	037	0,692
Alagoas 2.	485	0,633
Amapá 4.	098	0,751
Amazonas 6.	668	0,717
Bahia 3.	680	0,693
Ceará 2.	794	0,699
Distrito Federal	14.405	0,844
Espírito Santo	6.931	0,767
Goiás 4.	316	0,770
Maranhão 1.	627	0,647
Mato Grosso	5.342	0,767
Mato Grosso do Sul	5.697	0,769
Minas Gerais	5.925	0,766
Pará 3.0	41	0,72
Paraíba 2.	681	0,678
Paraná 6.	882	0,786
Pernambuco 3.	673	0,692
Piauí 1.	872	0,673
Rio de Janeiro	9.571	0,802
Rio Grande do Norte	3.343	0,702
Rio Grande do Sul	8.341	0,809
Rondônia 4.	065	0,729
Roraima 3.	417	0,749
Santa Catarina	7.902	0,806
São Paulo	9.995	0,814
Sergipe 3.	310	0,687
Tocantins 2.	110	0,721
Brasil	6.473	0,792

Fonte: ANEEL (2005)

A partir da equação (4.5-6) e da Tabela 5.6-6, são calculadas as variações absolutas dos IDH s de cada unidade da federação para cada uma das oito simulações consideradas no Capítulo 5 (item 5.5, Tabela 5.5-2). Seus valores finais são indicados na Tabela 4.5-3.

Tabela 4.5-3: Impactos no IDH

	1	2	3	4	5	6	7	8
Acre	0,697	0,697	0,704	0,704	0,698	0,698	0,710	0,709
Alagoas	0,639	0,639	0,648	0,648	0,642	0,642	0,670	0,669
Amapá	0,756	0,756	0,763	0,763	0,757	0,757	0,769	0,768
Amazonas	0,722	0,722	0,729	0,729	0,723	0,723	0,735	0,734
Bahia	0,699	0,699	0,708	0,708	0,702	0,702	0,730	0,729
Ceará	0,705	0,705	0,714	0,714	0,708	0,708	0,736	0,735
Distrito Federal	0,860	0,861	0,880	0,881	0,864	0,865	0,900	0,901
Espírito Santo	0,770	0,770	0,774	0,773	0,772	0,772	0,781	0,780
Goiás	0,786	0,787	0,806	0,807	0,790	0,791	0,826	0,827
Maranhão	0,653	0,653	0,662	0,662	0,656	0,656	0,684	0,683
Mato Grosso	0,783	0,784	0,803	0,804	0,787	0,788	0,823	0,824
Mato Grosso do Sul	0,785	0,786	0,805	0,806	0,789	0,790	0,825	0,826
Minas Gerais	0,769	0,769	0,773	0,772	0,771	0,771	0,780	0,779
Pará	0,725	0,725	0,732	0,732	0,726	0,726	0,738	0,737
Paraíba	0,684	0,684	0,693	0,693	0,687	0,687	0,715	0,714
Paraná	0,788	0,788	0,791	0,791	0,789	0,789	0,796	0,796
Pernambuco	0,698	0,698	0,707	0,707	0,701	0,701	0,729	0,728
Piauí	0,679	0,679	0,688	0,688	0,682	0,682	0,710	0,709
Rio de Janeiro	0,805	0,805	0,809	0,808	0,807	0,807	0,816	0,815
Rio Grande do Norte	0,708	0,708	0,717	0,717	0,711	0,711	0,739	0,738
Rio Grande do Sul	0,811	0,811	0,814	0,814	0,812	0,812	0,819	0,819
Rondônia	0,734	0,734	0,741	0,741	0,735	0,735	0,747	0,746
Roraima	0,754	0,754	0,761	0,761	0,755	0,755	0,767	0,766
Santa Catarina	0,808	0,808	0,811	0,811	0,809	0,809	0,816	0,816
São Paulo	0,817	0,817	0,821	0,820	0,819	0,819	0,828	0,827
Sergipe	0,693	0,693	0,702	0,702	0,696	0,696	0,724	0,723
Tocantins	0,737	0,738	0,757	0,758	0,741	0,742	0,777	0,778
Brasil	0,796	0,796	0,802	0,802	0,798	0,798	0,812	0,811

Na tabela a cima, supôs-se que o impacto no PIB de cada macro-região o – considerando-se os efeitos direto, indireto e induzido – pode ser aplicado aos estados que a compõem.

Note-se que sob a simulação 8, os estados de Goiás, Mato Grosso do Sul e Mato Grosso devem se beneficiar muito da expansão da produção de etanol, passando a ter IDHs muito próximos ao de São Paulo. O estado de São Paulo continua em segundo

lugar na classificação, em razão dos ganhos que ainda tem pelo efeito renda. Todos os estados do Sul saem perdendo. Já as unidades da federação que se encontram na região Nordeste apresentam ganhos de IDH, que não são suficientes, porém, para conduzi-los a posições mais significativas. Piauí, Maranhão e Alagoas continuam os estados com IDHs mais baixos no Brasil. Brasília, por ter sido considerada como parte da região Centro-Oeste passaria a ter IDH compatível com Portugal.

Em resumo, os estados de Goiás, Mato Grosso do Sul e Mato Grosso (além de Brasília) seriam os grandes ganhadores caso venha a prevalecer no Brasil uma "civilização da biomassa", como costuma dizer o economista Ignacy Sachs, da Escola de Altos Estudos em Ciências Sociais (França) e pesquisador visitante do IEA.

Como recomendação de política pública, os estados do Sul deveriam ser contemplados com medidas compensatórias, como ações para promover crescimento de seus setores-chave (usando-se a matriz de insumo produto inter-regional preparada para o estudo seria possível dizer quais são eles).

Tabela 4.5-4: IDH das unidades da federação sob a simulação 8 (estimado para 2025)

	<i>IDH (2025)</i>	<i>IDH (2000)</i>	<i>Posição</i>
Distrito Federal	0,901	0,844	↔
São Paulo	0,827	0,814	↔
Goiás 0,	827	0,770	↑
Mato Grosso do Sul	0,826	0,769	↑
Mato Grosso	0,824	0,767	↑
Rio Grande do Sul	0,819	0,809	↓
Santa Catarina	0,816	0,806	↓
Rio de Janeiro	0,815	0,802	↓
Paraná 0,	796	0,786	↓
Espírito Santo	0,780	0,767	↓
Minas Gerais	0,779	0,766	↔
Tocantins 0,	778	0,721	↑
Amapá 0,	768	0,751	↓
Roraima 0,	766	0,749	↓
Rondônia 0,	746	0,729	↓
Rio Grande do Norte	0,738	0,702	↑
Pará 0,	737	0,720	↓
Ceará 0,	735	0,699	↑
Amazonas 0,	734	0,717	↓
Bahia 0,	729	0,693	↔
Pernambuco 0,	728	0,692	↑
Sergipe 0,	723	0,687	↑
Paraíba 0,	714	0,678	↑
Acre 0,	709	0,692	↓
Piauí 0,	709	0,673	↔
Maranhão 0,	683	0,647	↔
Alagoas 0,	669	0,633	↔

5. AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS SOCIOECONÔMICOS RELACIONADOS À PRODUÇÃO EM LARGA ESCALA DE ETANOL NO BRASIL

A quantificação de indicadores socioeconômicos – como renda e emprego – exige que as alternativas para aproveitamento energético da biomassa sejam analisadas em um contexto mais amplo na economia. Toda a cadeia produtiva, desde a extração da biomassa até o uso final dos produtos energéticos, tem de ser representada – é necessário se olhar também para longe da roça, além da planta.

Muitos trabalhos técnico-econômicos em energia consideram apenas as receitas e custos como percebidos pelos agentes privados. Entretanto, é importante se considerar as externalidades econômicas e ambientais presentes na avaliação de empreendimentos em energia. Uma análise de benefício-custo mais abrangente se faz necessária, levando-se em consideração os diversos aspectos sociais envolvidos. Afinal, a energia é um bem essencial para toda a sociedade, sendo importante componente de indicadores de desenvolvimento.

A intensidade dos impactos socioeconômicos pode variar grandemente dependendo do tipo de empreendimento.

A instalação de um módulo de energia – caldeira e turbo gerador – para geração de eletricidade excedente em uma usina de açúcar e álcool é, certamente, dispendiosa. Entretanto, em operação, o sistema de geração de energia elétrica causará pequenos impactos sobre a renda e emprego. Os setores de produtos químicos e peças e equipamentos, por exemplo, irão fornecer os insumos necessários às atividades de manutenção (efeito direto). Ao aumentarem a escala de operação, tais setores irão também promover a produção em outras indústrias ligadas e eles, como extrativa mineral e siderurgia, e assim por diante (efeito indireto). Ao todo, mais serviços de capital e mais trabalho serão empregados, gerando renda para as famílias, que será gasta no consumo de bens e serviços, a ser atendido pela ampliação do nível de atividade em praticamente todos os setores da economia (efeito induzido ou renda).

Em comparação, instalar toda uma usina de açúcar e álcool em uma determinada região trará impactos diretos, indiretos e induzidos bem maiores. Localmente, haverá um aumento na atividade econômica em muitos setores, como o de serviços – comércio, educação, saúde, entre outros –, atraindo famílias para região. Mais renda e emprego serão gerados em toda parte e o país ao todo se beneficiará.

A quantificação dos impactos socioeconômicos diretos, indiretos e induzidos requer o emprego de uma metodologia capaz de representar toda a cadeia produtiva da economia. Os efeitos podem ser avaliados em diferentes métricas: nível de produção setorial, empregos, valor adicionado (PIB), oferta excedente de eletricidade, entre outras. O método comumente usado na prática para tal é o modelo de insumo-produto. Formulado por Wassily W. Leontief (1906–1999) na década de 1930, o modelo de insumo-produto descreve a relação do fluxo circular da renda entre os setores produtivos da economia, e vem sendo largamente usado em todo o mundo, desde sua concepção, nos mais diversos estudos sobre economia aplicada.

Este capítulo tem como objetivo aplicar um modelo estendido de insumo-produto para produzir indicadores socioeconômicos para a energia da biomassa de cana-de-açúcar, derivados de uma base de dados econômicos atualizada que inclui os principais setores produtivos de interesse. Os indicadores serão então usados para quantificar os impactos socioeconômicos sob diversos cenários considerados. Ao final, são feitas recomendações de políticas públicas baseadas nos resultados obtidos.

5.1 O modelo básico de insumo-produto

O modelo básico de insumo-produto pode ser disposto em forma matricial, como mostrado na Figura 5.1-1. Os setores produtivos (eventualmente chamados de indústrias ou atividades), dispostos como colunas no bloco "setores de destino", dependem em produtos dos outros setores da economia (consumo intermediário, matriz Z) e em bens e serviços importados (M), pagam impostos indiretos líquidos (T) e remuneram os fatores primários de produção trabalho e serviços de capital (valor adicionado a preço básico, W)¹. As receitas dos setores ocorrem ao longo das linhas do bloco "setores de origem"; cada indústria recebe dos outros setores pelo fornecimento de insumos (consumo intermediário, matriz Z), como também dos bens e serviços entregues à demanda final (Y), que tem, como componentes principais, o consumo das famílias, os gastos do governo, os investimentos e as exportações. Em equilíbrio, a economia tem de ter as despesas (soma ao longo das colunas do bloco "setores de destino") iguais às respectivas receitas (soma através das linhas do bloco "setores de origem"); essas somas são identificadas pelo vetor X (produção total ou valor da produção). O PIB pode ser calculado pelo valor adicionado, dado pela soma das componentes T e W .

As equações do modelo básico de insumo-produto são dadas pelas linhas do bloco "setores de origem", como mostrado na Figura 5.1-1:

$$\sum_{j=1}^n z_{ij} + C_i + G_i + I_i + E_i = X_i \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (5.1)$$

sendo

- z_{ij} : valor despendido pela indústria j na compra do insumo-produzido pelo setor i ;
- C_i : valor do produto do setor i consumido pelas famílias;
- G_i : gastos do governo no produto do setor i ;
- I_i : valor do produto do setor i destinado ao investimento (formação bruta de capital fixo);
- E_i : valor do produto do setor i que é exportado; e
- X_i : valor total das receitas do setor i .

¹ O valor adicionado a preço básico inclui os impostos diretos (sobre a produção).

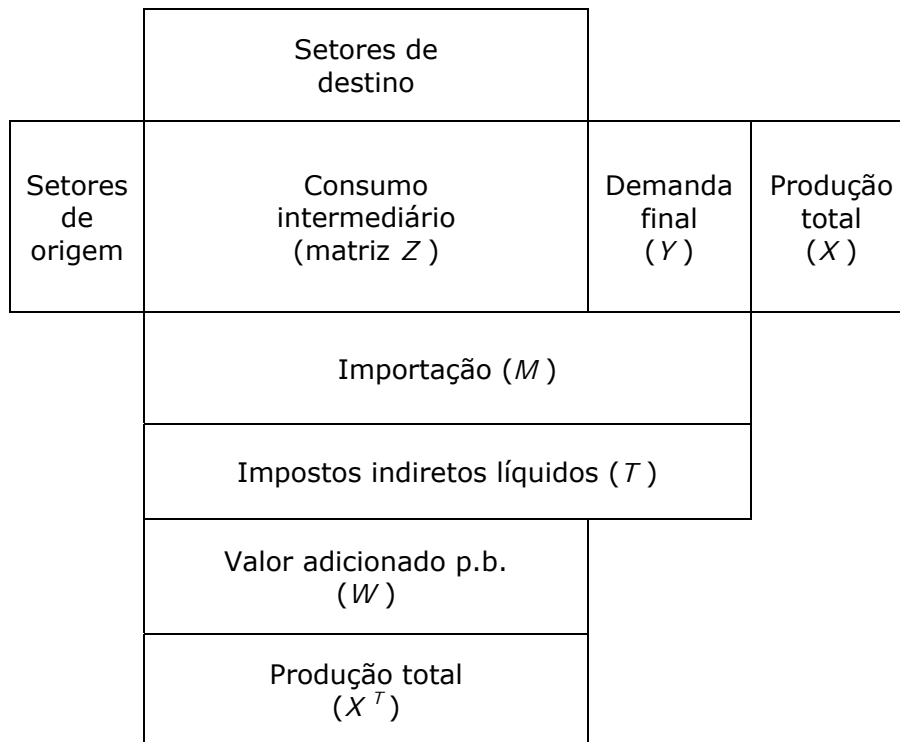


Figura 5.1-1: O modelo de insumo-produto

A demanda final doméstica do setor i é dada pela soma do consumo das famílias, gastos do governo e investimentos:

$$C_i + G_i + I_i$$

A demanda final pelo produto do i -ésimo setor é obtida acrescentando-se o valor das exportações:

$$Y_i = C_i + G_i + I_i + E_i \quad (5.2)$$

A equação 5.3 define o coeficiente técnico direto de produção, a_{ij} , que é a quantidade de insumo do setor i necessária para a produção de uma unidade de produto total do setor j , onde X_j é a produção total do setor j :

$$a_{ij} = \frac{z_{ij}}{X_j} \quad (5.3)$$

Como o modelo de insumo-produto supõe retornos constantes à escala, isto é, as funções de produção são lineares e homogêneas de grau 1, os elementos a_{ij} que formam a matriz de coeficientes técnicos A não dependem do valor da produção X_j .

O destino da produção de um setor i qualquer é dado pelo consumo intermediário somado à demanda final. Combinando-se as equações 5.1, 5.2 e 5.3 resulta

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} X_j + Y_i = X_i \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (5.4)$$

Em forma matricial, a equação 5.4 torna-se

$$AX + Y = X \quad (5.5)$$

em que X e Y são vetores coluna de ordem $n \times 1$ e $A = [a_{ij}]$ ($n \times n$) é a matriz dos coeficientes técnicos diretos.

Resolvendo-se a equação matricial 5.5, obtém-se

$$X = (I - A)^{-1} Y = BY \quad (5.6)$$

onde $B = (I - A)^{-1}$ é a matriz de coeficientes técnicos diretos e indiretos, conhecida como matriz inversa de Leontief.

A partir da equação 5.6, pode-se obter a produção total que é necessária para satisfazer a demanda final (Y), formada exogenamente. Pode-se, também, avaliar o impacto sobre a produção de todos os setores, decorrentes de um choque (diminuição ou aumento) na demanda final (MILLER e BLAIR, 1985).

Como exemplo didático, considere-se a matriz de insumo-produto estimada para o Brasil no ano de 2002², agregada em três setores: agropecuária, indústria e serviços (Tabela 5.1-1). A área sombreada na tabela corresponde ao chamado consumo intermediário (consumo entre os setores produtivos).

Tabela 5.1-1: Economia brasileira agregada em três setores, em 2002

Brasil 2002 [R\$ bilhões]	<i>Agro- pecuária</i>	<i>Indústria</i>	<i>Serviços</i>	<i>Demanda final (Y)</i>	<i>Demanda total (X)</i>
Agropecuária	29,71	90,34	6,19	68,56	194,80
Indústria	37,89	477,83	148,05	578,79	1.242,55
Serviços	13,33	102,31	246,47	743,81	1.105,91
Importação	4,16	86,12	34,71	55,57	
Impostos indiretos	4,81	26,65	35,57	79,86	
Trabalho	12,09	108,49	427,50		
Capital	93,01	292,36	178,95		
Impostos diretos	- 0,19	58,47	28,48		
Produção (X^T)	194,80	1.242,55	1.105,91		
Empregos [mil]	12.508,4	13.097,7	40.767,1		

Aplicando-se a equação 5.3, a seguinte matriz de coeficientes técnicos diretos (A) é obtida (Tabela 5.1-2).

² A estimação da matriz de insumo produto é explicada na seção "Base de dados", abaixo.

Tabela 5.1-2: Matriz de coeficientes técnicos diretos A

A	Agro- pecuária	Indústria	Serviços
Agropecuária	0,153	0,073	0,006
Indústria	0,194	0,385	0,134
Serviços	0,068	0,082	0,223

Assim, por exemplo, ao produzir R\$ 1, o setor de agropecuária terá que despender R\$ 0,153, R\$ 0,194 e R\$ 0,068 em insumos dos setores de agropecuária, indústria e serviços, respectivamente. O efeito direto decorrente de um aumento da demanda final pelo produto do setor de agropecuária em R\$ 1 é dado pela soma de R\$ 1 (efeito direto inicial), R\$ 0,153, R\$ 0,194 e R\$ 0,068, sendo igual a R\$ 1,415.

A matriz inversa de Leontief, $B = (I - A)^{-1}$, é mostrada na Tabela 5.1-3.

Tabela 5.1-3: A matriz inversa de Leontief

$(I - A)^{-1}$	Agro- pecuária	Indústria	Serviços
Agropecuária	1,217	0,148	0,034
Indústria	0,417	1,714	0,298
Serviços	0,151	0,195	1,321

A equação 5.6 permite obter os efeitos direto e indireto sobre os níveis de produção dos setores produtivos da economia se qualquer uma das componentes da demanda final – exportações, gastos do governo, consumo das famílias ou investimento – mudar.

Por exemplo, supor-se que as exportações do setor de agropecuária crescem em R\$ 1. Na terminologia da análise de insumo-produto, diz-se que foi aplicado um choque de R\$ 1 ao setor de agropecuária. Então os valores da produção de todos os setores aumentam como calculado pela equação 5.6:

$$\begin{bmatrix} 1,217 & 0,148 & 0,034 \\ 0,417 & 1,714 & 0,298 \\ 0,151 & 0,195 & 1,321 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1,217 \\ 0,417 \\ 0,151 \end{bmatrix}$$

Portanto, para atender a um crescimento de R\$ 1 na demanda final pelo produto do setor de agropecuária, as produções totais dos setores de agropecuária, indústria e serviços terão de aumentar de R\$ 1,217, R\$ 0,417 e R\$ 0,151, respectivamente, somando R\$ 1,785. Assim, ao todo, a economia terá de produzir R\$ 1,785, que é o efeito direto e indireto, juntos, resultantes de um choque de R\$ 1 no setor de agropecuária. Como calculado acima, o efeito direto apenas é de R\$ 1,415. Conseqüentemente, o efeito indireto é R\$ 0,370 nesse caso.

A razão entre R\$ 1,785 (efeito) e R\$ 1 (causa), igual a 1,785, é chamada multiplicador de produção, correspondente ao setor de agropecuária. Os multiplicadores que captam os efeitos direto e indireto envolvidos na cadeia produtiva são chamados multiplicadores tipo I. Analogamente, os multiplicadores de produção dos setores indústria e serviços são 2,057 e 1,653, respectivamente. Pode-se notar que os multiplicadores de produção são dados pela soma das linhas da matriz inversa de Leontief, B .

É possível, também, avaliar o chamado efeito induzido (ou efeito-renda), que corresponde ao acréscimo no nível de produção dos setores, devido ao aumento no consumo das famílias propiciado pelo ganho de renda resultante da remuneração dos fatores trabalho e capital.

Como visto acima, se as exportações do produto da agropecuária aumentarem em R\$ 1, os efeitos direto e indireto sobre os níveis de produção dos setores agropecuária, indústria e serviços são dados pelos multiplicadores de produção, respectivamente R\$ 1,217, R\$ 0,417 e R\$ 0,151. Quando acionados, esses setores irão remunerar os fatores primários mão-de-obra e serviços de capital, que constituem a renda das famílias (trabalhadores e capitalistas). As famílias alocam a renda no consumo dos bens e serviços produzidos pela economia, o que leva a um aumento imediato no nível de produção de todos os seus setores. O ciclo, então, se repete, indefinidamente, até que as perturbações resultantes se tornem desprezíveis. Agregando-se as sucessivas alterações no nível de produção de cada um dos setores, chega-se ao chamado efeito induzido ou efeito renda.

Suponha-se, novamente, que as exportações do produto da agropecuária aumentam em R\$ 1. Para se calcular matematicamente o efeito induzido, é necessário tornar as famílias endógenas ao modelo de insumo-produto. As famílias passam a ser tratadas como um setor adicional na economia. Seus gastos serão dados pelo vetor de consumo que consta da demanda final. Suas receitas são calculadas subtraindo-se parte dos pagamentos pelos serviços de capital (resto do capital) da remuneração dos fatores de produção. Os dispêndios são menores que os ganhos na Tabela 5.1-4, pois as famílias poupam um percentual – 5% no exemplo dado – de suas receitas.

Deve-se notar que as linhas “trabalho” e “capital”, na Tabela 5.1-1, e “famílias” e “resto do capital”, na Tabela 5.1-4, têm soma igual. A linha “resto do capital” da Tabela 5.1-4 é a parcela do valor adicionado que não é distribuída às famílias, podendo ser interpretada como investimentos e custos de depreciação.

Repetindo-se os mesmos passos vistos anteriormente para o cálculo dos multiplicadores do tipo I, pode-se obter a matriz inversa de Leontief correspondente à tabela 5.1-4, levando à Tabela 5.1-5.

Tabela 5.1-4: Tabela de transações com as famílias como setor, para o Brasil, em 2002

Brasil 2002 [R\$ bilhões]	<i>Agro-pecuária</i>	<i>Indústria</i>	<i>Serviços</i>	<i>Famílias</i>	<i>Resto da demanda final</i>	<i>Demanda total (X)</i>
Agropecuária	29,71	90,34	6,19	41,60	26,97	194,80
Indústria	37,89	477,83	148,05	216,92	361,87	1.242,55
Serviços	13,33	102,31	246,47	429,65	314,16	1.105,91
Famílias	57,28	250,55	514,46			
Importação	4,16	86,12	34,71	28,07	27,49	
Impostos indiretos	4,81	26,65	35,57	64,94	14,92	
Resto do capital	47,82	150,30	92,00			
Impostos diretos	- 0,19	58,47	28,48			
Produção (X^T)	194,80	1.242,55	1.105,91	781,17		
Empregos [mil]	12.508,4	13.097,7	40.767,1			

Tabela 5.1-5: A matriz inversa de Leontief para o cálculo dos multiplicadores tipo II

$(I - A)^{-1}$	<i>Agro-pecuária</i>	<i>Indústria</i>	<i>Serviços</i>	<i>Famílias</i>
Agropecuária	1,341	0,265	0,200	0,242
Indústria	1,076	2,331	1,178	1,285
Serviços	0,936	0,929	2,370	1,531
Famílias	1,046	0,980	1,399	2,042

A equação 5.6 torna-se, agora,

$$\begin{bmatrix} 1,341 & 0,265 & 0,200 & 0,242 \\ 1,076 & 2,331 & 1,178 & 1,285 \\ 0,936 & 0,929 & 2,370 & 1,531 \\ 1,046 & 0,980 & 1,399 & 2,042 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1,341 \\ 1,076 \\ 0,936 \\ 1,046 \end{bmatrix}$$

O resultado acima mostra que, para atender a um aumento de R\$ 1 do produto da agropecuária, no resto da demanda final – exportações, gastos do governo ou investimento –, as produções totais dos setores de agropecuária, indústria e serviços terão de aumentar, pela ordem, em R\$ 1,341, R\$ 1,076 e R\$ 0,936, somando R\$ 3,353. O quociente entre R\$ 3,353 (efeito) e R\$ 1 (causa), igual a 3,353, é chamado multiplicador de produção do tipo II, correspondente ao setor de agropecuária, captando os efeitos direto, indireto e induzido decorrentes do choque de R\$ 1 no setor de agropecuária. Como mostrado acima, os efeitos direto e indireto correspondem a R\$ 1,785. Portanto, o efeito induzido, isoladamente, é R\$ 1,568, mostrando claramente que não se pode ignorá-lo em análises de impacto. Analogamente, os multiplicadores do tipo II para os setores da indústria e de serviços são, respectivamente, 3,525 e 3,748.

Além dos efeitos sobre o nível de produção setorial, podem ser quantificados, também, os impactos sobre empregos, PIB e outros indicadores, como, por exemplo, emissões de gases de efeito estufa.

Os impactos sobre o pessoal ocupado (empregos) são obtidos multiplicando-se os níveis de produção resultantes de uma dada alteração na demanda final pelos respectivos coeficientes técnicos diretos de empregos, calculados de forma semelhante à equação 5.3. Pode-se mostrar, por exemplo, que um aumento de R\$ 1 bilhão nas exportações do produto da agropecuária resulta em um acréscimo de 131.953 postos de trabalho, considerando os efeitos direto, indireto e induzido.

Os impactos sobre o valor adicionado (PIB) são medidos de forma análoga. Basta lembrar que o PIB setorial nada mais é que a soma dos impostos (receitas do governo) com as remunerações dos fatores primários de produção. Por exemplo, o valor adicionado para o setor de agropecuária em 2002 foi de R\$ 109,72 bilhões, que é a soma de R\$ 4,81 bilhões, R\$ 12,09 bilhões, R\$ 93,01 bilhões e R\$ - 0,19 bilhão (subsídio) (Tabela 5.1-1). Portanto, o coeficiente técnico direto do PIB para o setor de agropecuária é $109,72/194,80 = 0,563$. Pode-se mostrar que, ao aumentar as exportações do produto do setor agropecuário em R\$ 1 bilhão, o PIB crescerá em R\$ 1,746 bilhão, levando-se em consideração os efeitos direto, indireto e induzido.

Em resumo, embora de concepção simples, o modelo de insumo-produto é capaz de capturar os efeitos direto, indireto e induzido, de alterações na demanda final, nem sempre intuitivos, em toda a estrutura produtiva da economia.

A seguir, é descrito o método aqui construído para a análise de impactos socioeconômicos, que traz avanços significativos em relação ao modelo básico de insumo-produto.

5.2 O modelo estendido de insumo-produto

Os impactos socioeconômicos foram avaliados através de um modelo estendido de insumo-produto especialmente construído para atender as características do sistema econômico abordado aqui.

O modelo de insumo-produto desenvolvido por Leontief na década de 1930 apresenta uma estrutura matemática simples e, assim, apresenta-se como ferramenta prática, própria para se analisar as ligações intersetoriais na economia. Como já discutido anteriormente, ele pode ser aplicado, por exemplo, para se avaliar os impactos, em toda a cadeia produtiva, de mudanças na demanda final.

Na prática, os setores econômicos tipicamente produzem diferentes bens e serviços. A indústria sucroalcooleira, por exemplo, produz açúcar, álcool e também excedentes de eletricidade. Além disso, é comum que um setor econômico disponha de uma variedade de opções tecnológicas. Assim, a cana-de-açúcar pode ser colhida manualmente ou através de máquinas colhedoras e o álcool pode ser produzido em destilarias anexas ou autônomas.

Entretanto, em seu formato básico, o modelo de insumo-produto não considera a possibilidade de produção conjunta nem permite a representação de setores usando diferentes tecnologias na obtenção de um mesmo bem ou serviço. Foi necessário, então, construir-se um modelo de insumo-produto com produção conjunta e tecnologias mistas, com o construto teórico sugerido por CUNHA (2005), o que permite, entre outras coisas, estudar os efeitos sobre o emprego da mecanização da colheita de cana-de-açúcar, uma questão social importante no Brasil.

Os setores de cana-de-açúcar e etanol são representados pela tecnologia linear, que permite combinar os insumos em qualquer proporção. Os setores restantes são caracterizados pela tecnologia Leontief usual. Os níveis das atividades para os setores de tecnologia linear são fixados exogenamente, evitando o uso de ferramentas matemáticas mais complicadas, como modelos computáveis de equilíbrio geral (SCARAMUCCI et al., 2005).

O modelo estendido de insumo-produto é explicado em detalhes, a seguir. Por simplicidade, suponha-se uma economia agregada em oito setores de produção:

- S_1 : cana-de-açúcar colhida manualmente;
- S_2 : cana-de-açúcar colhida mecanicamente;
- S_3 : geração de eletricidade pelo sistema hidrotérmico de potência existente;
- S_4 : geração de excedentes de eletricidade do bagaço de cana-de-açúcar;
- S_5 : cana-de-açúcar (total);
- S_6 : eletricidade (total);
- S_7 : álcool;
- S_8 : resto da economia.

Esses setores são mostrados na matriz de transações disposta na Tabela 5.2-1.

A Tabela 5.2-1 também contém:

- Y_i : demanda final pelo produto do setor i ;
- X_i : valor da produção do setor i ;
- W_j : agregado de importações, impostos e pagamentos dos fatores de produção (mão-de-obra e serviços de capital) usados no setor j .

Tabela 5.2-1: Tabela de transações para o modelo estendido de insumo-produto

	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	S ₈	Y	X
S ₁					X ₁					X ₁
S ₂					X ₂					X ₂
S ₃						X ₃				X ₃
S ₄						X ₄				X ₄
S ₅	a ₅₁ X ₁	a ₅₂ X ₂	a ₅₃ X ₃	a ₅₄ X ₄			a ₅₇ X ₇	a ₅₈ X ₈	Y ₅	X ₅
S ₆	a ₆₁ X ₁	a ₆₂ X ₂	a ₆₃ X ₃	a ₆₄ X ₄			a ₆₇ X ₇	a ₆₈ X ₈	Y ₆	X ₆
S ₇	a ₇₁ X ₁	a ₇₂ X ₂	a ₇₃ X ₃	a ₇₄ X ₄			a ₇₇ X ₇	a ₇₈ X ₈	Y ₇	X ₇
S ₈	a ₈₁ X ₁	a ₈₂ X ₂	a ₈₃ X ₃	a ₈₄ X ₄			a ₈₇ X ₇	a ₈₈ X ₈	Y ₈	X ₈
W	a _{w1} X ₁	a _{w2} X ₂	a _{w3} X ₃	a _{w4} X ₄			a _{w7} X ₇	a _{w8} X ₈	Y _w	
X ^T	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈		

As transações na Tabela 5.2-1 são expressas em termos dos coeficientes técnicos a_{ij} .

Por construção, a cana-de-açúcar e eletricidade fornecidas, como insumos, aos setores S₁-S₄ e S₇ e demanda final, são produzidos, respectivamente, por S₅ (cana-de-açúcar total) e S₆ (eletricidade total). É importante notar que toda a produção de S₁ (cana-de-açúcar colhida manualmente) e S₂ (cana-de-açúcar colhida mecanicamente) é alocada no consumo intermediário do setor S₅. Analogamente, para a eletricidade, toda a produção de S₃ e S₄ é usada somente no setor S₆.

A tecnologia usada nos setores S₅ e S₆ é linear, significando que os insumos necessários podem ser combinados em qualquer proporção. Já os setores restantes são descritos pela tecnologia Leontief usual. É esse o artifício que permite que um mesmo bem – no caso cana-de-açúcar ou eletricidade – possa ser produzido por múltiplos setores com tecnologias distintas.

O modelo estendido de insumo-produto pode incluir, também, a possibilidade de produção conjunta. Nesse caso, supõe-se que a produção de eletricidade de bagaço é uma fração do valor da produção do setor de álcool (S₇). O parâmetro referente à relação de proporcionalidade entre os valores da produção dos setores S₃ e S₇ pode ser alterado, permitindo, assim, simular a penetração da eletricidade excedente gerada pelo setor de álcool.

As relações econômicas representadas na Tabela 5.2-1 podem ser formuladas matematicamente, como mostrado abaixo.

A tecnologia usada no setor cana-de-açúcar total (S₅) é linear e, então,

$$X_1 = \delta_{15} X_5 \quad (5.7)$$

$$X_2 = \delta_{25} X_5 \quad (5.8)$$

$$\delta_{15} + \delta_{25} = 1, \quad 0 \leq \delta_{15}, \delta_{25} \leq 1.$$

Segue-se que

$$X_1 + X_2 = (\delta_{15} + \delta_{25}) X_5 = X_5$$

significando que o setor S_5 depende todo o valor da produção com a eletricidade gerada pelos setores S_1 e S_2 (condição associada à coluna de S_5 na Tabela 5.2-1).

Assim, o produto do setor S_5 pode ser obtido combinando-se os insumos de S_1 e S_2 em qualquer proporção, dada por δ_{15} e δ_{25} . Os parâmetros de composição setorial δ_{15} e δ_{25} são fixados exogenamente na construção dos cenários considerados. Por exemplo, se toda cana-de-açúcar é colhida mecanicamente, então $\delta_{15} = 0$ e $\delta_{25} = 1$. Obviamente, para os setores consumindo cana-de-açúcar, não importa qual tecnologia (S_1 ou S_2) foi empregada em sua produção.

Analogamente, para o setor de eletricidade total (S_6), tem-se:

$$X_3 + X_4 = X_6 \quad (5.9)$$

Porém, a composição setorial de S_6 não pode ser dada exogenamente, pois a geração de eletricidade de bagaço depende da produção de álcool:

$$X_4 = \delta_{47} X_7 \quad (5.10)$$

O modelo básico de insumo-produto se aplica às linhas correspondentes aos setores S_5 , S_6 , S_7 e S_8 na tabela de transações:

$$\begin{cases} a_{51} X_1 + a_{52} X_2 + a_{53} X_3 + a_{54} X_4 + a_{57} X_7 + a_{58} X_8 + Y_5 = X_5 \\ a_{61} X_1 + a_{62} X_2 + a_{63} X_3 + a_{64} X_4 + a_{67} X_7 + a_{68} X_8 + Y_6 = X_6 \\ a_{71} X_1 + a_{72} X_2 + a_{73} X_3 + a_{74} X_4 + a_{77} X_7 + a_{78} X_8 + Y_7 = X_7 \\ a_{81} X_1 + a_{82} X_2 + a_{83} X_3 + a_{84} X_4 + a_{87} X_7 + a_{88} X_8 + Y_8 = X_8 \end{cases} \quad (5.11)$$

Substituindo-se as equações (5.7), (5.8), (5.9) e (5.10) em (5.11) vem

$$\begin{cases} (a_{51} \delta_{15} + a_{52} \delta_{25}) X_5 + a_{53} X_6 + (-a_{53} \delta_{47} + a_{54} \delta_{47} + a_{57}) X_7 + a_{58} X_8 + Y_5 = X_5 \\ (a_{61} \delta_{15} + a_{62} \delta_{25}) X_5 + a_{63} X_6 + (-a_{63} \delta_{47} + a_{64} \delta_{47} + a_{67}) X_7 + a_{68} X_8 + Y_6 = X_6 \\ (a_{71} \delta_{15} + a_{72} \delta_{25}) X_5 + a_{73} X_6 + (-a_{73} \delta_{47} + a_{74} \delta_{47} + a_{77}) X_7 + a_{78} X_8 + Y_7 = X_7 \\ (a_{81} \delta_{15} + a_{82} \delta_{25}) X_5 + a_{83} X_6 + (-a_{83} \delta_{47} + a_{84} \delta_{47} + a_{87}) X_7 + a_{88} X_8 + Y_8 = X_8 \end{cases} \quad (5.12)$$

O sistema (5.12) é semelhante ao sistema (5.4), tendo, como variáveis exógenas, Y_5 , Y_6 , Y_7 e Y_8 , sendo endógenas X_5 , X_6 , X_7 e X_8 . Os parâmetros δ_{15} e δ_{25} servem para determinar diretamente a composição setorial de S_5 . Já a formação do parâmetro δ_{47} é um pouco mais complexa. Seu valor depende do percentual das destilarias de álcool que geram excedentes de eletricidade. Mas δ_{47} deriva também do rendimento de eletricidade excedente por unidade de cana-de-açúcar moída na produção de álcool.

Em forma matricial, (5.12) torna-se

$$\bar{A} X + \bar{Y} = \bar{X}$$

onde

$$\bar{A} = \begin{bmatrix} (a_{51} \delta_{15} + a_{52} \delta_{25}) & a_{53} & (-a_{53} \delta_{47} + a_{54} \delta_{47} + a_{57}) & a_{58} \\ (a_{61} \delta_{15} + a_{62} \delta_{25}) & a_{63} & (-a_{63} \delta_{47} + a_{64} \delta_{47} + a_{67}) & a_{68} \\ (a_{71} \delta_{15} + a_{72} \delta_{25}) & a_{73} & (-a_{73} \delta_{47} + a_{74} \delta_{47} + a_{77}) & a_{78} \\ (a_{81} \delta_{15} + a_{82} \delta_{25}) & a_{83} & (-a_{83} \delta_{47} + a_{84} \delta_{47} + a_{87}) & a_{88} \end{bmatrix}$$

$$\bar{X} = \begin{bmatrix} X_5 \\ X_6 \\ X_7 \\ X_8 \end{bmatrix}$$

$$\bar{Y} = \begin{bmatrix} Y_5 \\ Y_6 \\ Y_7 \\ Y_8 \end{bmatrix}$$

Portanto, os valores da produção para os setores S_5 , S_6 , S_7 e S_8 são dados por

$$\bar{X} = (I - \bar{A})^{-1} \bar{Y} \quad (5.13)$$

A matriz de coeficientes técnicos para o modelo estendido de insumo-produto (agregado) correspondente ao ano base de 2002 é dada na Tabela 5.2-2. Ela é derivada da base de dados mostrada no Apêndice D.

Deve-se notar que $a_{15} = X_1/X_5 = \delta_{15}$ e $a_{25} = X_2/X_5 = \delta_{25}$, de (5.7) e (5.8), respectivamente. Também

$$a_{36} = 1 - \frac{\delta_{47} X_7}{X_6}$$

$$a_{46} = \frac{\delta_{47} X_7}{X_6}$$

de (5.9) e (5.10). Assim, os coeficientes técnicos a_{36} e a_{46} são endógenos.

Na Tabela 5.2-2, M representa importações, VA é o valor adicionado e PO é o pessoal ocupado (número de empregos formais e informais) (a unidade de L é 1/R\$ 1.000).

A Tabela 5.2-3 mostra a matriz \bar{A} para o caso base, caracterizado por $\delta_{15} = 73\%$ (colheita manual), $\delta_{25} = 27\%$ (colheita mecânica) e $\delta_{47} = 0$ (significando que a geração de eletricidade excedente por unidade de valor da produção no setor de álcool é zero).

Tabela 5.2-2: Matriz de coeficientes tecnológicos do modelo estendido de insumo-produto

	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	S ₈	X
S ₁					a ₁₅				X ₁
S ₂					a ₂₅				X ₂
S ₃						a ₃₆			X ₃
S ₄						a ₄₆			X ₄
S ₅	0,0651	0,0695	0,0000	0,0000			0,4053	0,0017	X ₅
S ₆	0,0000	0,0000	0,0186	0,0000			0,0000	0,0091	X ₆
S ₇	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000			0,0000	0,0039	X ₇
S ₈	0,4078	0,4999	0,2395	0,1413			0,1936	0,4099	X ₈
M	0,0261	0,0228	0,0294	0,0000			0,0038	0,0491	
VA	0,5010	0,4078	0,7124	0,8587			0,3972	0,5264	
PO	0,0622	0,0103	0,0018	0,0035			0,0029	0,0263	
X ^T	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	

Tabela 5.2-3: Matriz \bar{A} para o caso base

	S ₅	S ₆	S ₇	S ₈
S ₅	0,0663	0,0000	0,4053	0,0017
S ₆	0,0000	0,0186	0,0000	0,0091
S ₇	0,0000	0,0001	0,0000	0,0039
S ₈	0,4326	0,2395	0,1936	0,4099

Mudanças tecnológicas podem ser simuladas alterando-se os parâmetros δ_{15} , δ_{25} e δ_{47} . Por exemplo, para medir os impactos da mecanização na colheita de cana-de-açúcar, basta fixar $\delta_{15} = 0$ e $\delta_{25} = 1$ e comparar o resultado com o caso base. Analogamente, para se introduzir todo o potencial de geração de eletricidade de bagaço no setor de álcool, faz-se $\delta_{47} = 0,0396$ (supondo-se que cada tonelada de cana-de-açúcar processada na obtenção de álcool é capaz de produzir 40 kWh de eletricidade excedente).

Aplicando-se um "choque paramétrico" dado por $\delta_{15} = 0\%$ (colheita manual), $\delta_{25} = 100\%$ (colheita mecânica) e $\delta_{47} = 0,0396$, então \bar{A} torna-se como mostrado na Tabela 5.2-4.

Tabela 5.2-4: Matriz \bar{A} para o caso de colheita mecanizada

	S ₅	S ₆	S ₇	S ₈
S ₅	0,0695	0,0000	0,4053	0,0017
S ₆	0,0000	0,0186	-0,0007	0,0091
S ₇	0,0000	0,0001	0,0000	0,0039
S ₈	0,4999	0,2395	0,1898	0,4099

Pode-se observar que somente as colunas de S₅ e S₇ se modificam. S₅ corresponde agora à coluna para S₂ na Tabela 5.2-2, pois toda a cana-de-açúcar agora é colhida mecanicamente.

Os valores de calibragem para 2002 são exibidos na Tabela 5.2-5.

Tabela 5.2-5: Valor da produção, valor adicionado, pessoal ocupado e eletricidade em 2002

	S ₅	S ₆	S ₇	S ₈	<i>Total</i>
Valor da produção [R\$ bilhão]	9,41	23,10	11,50	2.499,25	2.543,26
Valor adicionado [R\$ bilhão]	4,48	16,46	4,57	1.315,56	1.341,06
Pessoal ocupado [1.000]	453,00	41,40	33,07	65.845,73	66.373,20
Eletricidade [TWh]	0,00	6,03	0,00	318,33	324,37

Com a alteração nos coeficientes tecnológicos, mudam, em todos os setores, o valor da produção, o PIB, o pessoal ocupado e o consumo de eletricidade. As variações previstas pelo modelo estendido de insumo-produto são mostradas na Tabela 5.2-6.

Tabela 5.2-6: Variações absolutas do valor da produção, valor adicionado, pessoal ocupado e eletricidade

	S ₅	S ₆	S ₇	S ₈	<i>Total</i>
Valor da produção [R\$ bilhão]	0,04	0,00	0,00	1,08	1,07
Valor adicionado [R\$ bilhão]	-0,62	0,07	0,00	0,54	-0,01
Pessoal ocupado [1.000]	-355,75	0,76	0,01	27,10	-327,89
Eletricidade [TWh]	0,00	-0,12	0,00	0,13	0,01

Os valores da produção resultantes são calculados pela equação (5.13), usando a matriz de coeficientes diretos dada na Tabela 5.2-4, supondo-se que o vetor de demanda final seja o mesmo observado no caso base. As linhas de valor adicionado e pessoal ocupado são obtidas multiplicando-se os respectivos coeficientes técnicos (Tabela 5.2-2) pelos valores da produção correspondentes. Finalmente, o consumo de eletricidade foi determinado pela razão entre seu valor monetário e o preço médio da energia elétrica no ano base.

O setor de cana-de-açúcar (S_5) perde 355.750 empregos (cortadores manuais basicamente), uma queda de 79% (!), mas os setores restantes (S_6 , S_7 e S_8) tem um ganho de 27.870 postos de trabalho. Ao todo, são perdidos 327.890 empregos.

Como se pode perceber, o modelo estendido de insumo-produto pode ser uma ferramenta valiosa para a análise de impactos socioeconômicos de sistemas de produção tecnologicamente diversificados.

5.3 Base de dados

A construção de uma base de dados é freqüentemente a tarefa que mais exige cuidado e dedicação na modelagem de insumo-produto. Nas palavras de LEONTIEF (1989) [tradução dos autores]:

Teorizar requer inspiração e conhecimento técnico, enquanto o levantamento de dados – particularmente para a implementação de modelos de grande porte – necessita muito suor e lágrimas e sempre grandes quantias de dinheiro. Deparamo-nos freqüentemente com uma superprodução de modelos e um subinvestimento – intelectual e financeiro – na compilação das bases de dados necessárias à sua implementação. (LEONTIEF, 1989)

A estrutura matemática de um modelo de insumo-produto é razoavelmente simples e sua precisão depende sobremaneira do acerto dos dados usados.

Inicialmente, foi estimada uma matriz de insumo-produto (MIP) para o ano de 2002, contendo 42 setores e 80 produtos, através de um método próprio de atualização, usando dados preliminares das contas nacionais fornecidos pelo IBGE. Em seguida, os setores cana-de-açúcar, arroz em casca, álcool, geração de eletricidade, transmissão e distribuição de eletricidade, beneficiamento de arroz, indústria da madeira e gasoálcool (terminologia adotada pelo IBGE para a chamada gasolina C) foram desagregados, baseando-se em informações detalhadas de engenharia obtidas de expertos e publicações especializadas.

As MIPs mais recentes publicadas pelo IBGE referem-se ao ano de 1996. Entretanto, o IBGE fornece informações sobre transações avaliadas a preço de consumidor para anos mais recentes (atualmente até 2002 na forma consolidada) em seu sistema de contas nacionais (IBGE, 2005). Essas tabelas podem ser usadas para estimar uma MIP para 2002, como descrito abaixo.

No Brasil, as MIPs são compiladas presentemente de 15 tabelas dispostas no formato produto-setor, como mostrado na Tabela 5.3-1.

O IBGE fornece o conjunto completo de tabelas para os anos 1985 e 1990–1996. No entanto, para o período 1997–2002, somente as matrizes 1 e 2 se encontram disponíveis.³ O exercício de atualização consiste em obter estimativas para as tabelas restantes, usando a MIP completa de 1996 e as tabelas 1 e 2 para 1997–2002.

As tabelas 3–15 têm 80 linhas (produtos) e 48 colunas (os 42 setores classificados pelo IBGE, o chamado *dummy* financeiro⁴ e as cinco componentes da demanda final – exportação, gastos do governo, consumo das famílias, formação bruta de capital fixo (investimento) e variação de estoque). As classificações padronizadas do IBGE para setores e produtos são indicadas nos Apêndices A e B, respectivamente. O problema consiste, portanto, em estimar $80 \times 48 \times 13 = 49.920$ valores correspondentes às transações realizadas em um dado ano.

Tabela 5.3-1: As tabelas do sistema de contas nacionais no Brasil

1	Tabela de recursos
2	Tabela de usos a preço de consumidor
3	Tabela de usos de domésticos a preço básico
4	Tabela de usos de importados a preço básico
5	Tabela de imposto de importação
6	Tabela de ICMS sobre domésticos
7	Tabela de ICMS sobre importados
8	Tabela de IPI/ISS sobre domésticos
9	Tabela de IPI/ISS sobre importados
10	Tabela de margem de comércio sobre domésticos
11	Tabela de margem de comércio sobre importados
12	Tabela de margem de transporte sobre domésticos
13	Tabela de margem de transporte sobre importados
14	Tabela de margem e outros impostos sobre domésticos
15	Tabela de margem e outros impostos sobre importados

Obviamente, pode haver várias maneiras de se atualizar as MIPs para o Brasil. Por exemplo, o método *ad-hoc* sugerido por GUILHOTO e SESSO (2005) distribui em cada linha os totais de importações, impostos e margens sobre os produtos (obtidos da tabela 1), usando, como referência, os valores observados na tabela 2 das transações a preço de consumidor. Contudo, esse método, apesar de simples, pode produzir resultados inesperados. O método de múltiplas proporções de correção (MPC), usado aqui, se baseia na hipótese que as mudanças nos coeficientes técnicos podem ser aproximadas pelas correspondentes alterações dos valores das transações extraídos da tabela 2 (avaliadas a preço de consumidor). Isso é explicado detalhadamente em CUNHA e SCARAMUCCI (2006).

Em modelos de insumo-produto se supõe que há uma correspondência biunívoca entre setores e produtos. Entretanto, a matriz de produção fornecida pelo IBGE mostra setores produzindo mais de um produto. Conseqüentemente, foi necessário obter antes uma MIP normalizada considerando que cada setor produz apenas um produto. Foram adotadas a abordagem setor-setor e a hipótese de tecnologia baseada na indústria (MILLER e BLAIR, 1985).

³ As tabelas 1 e 2 de 2003 encontram-se ainda sob revisão do IBGE.

⁴ O *dummy* financeiro é usado pelo IBGE para a correção do PIB.

A chamada hipótese setor-setor considera que em cada setor os produtos (primários e secundários) são obtidos usando os mesmos insumos nas mesmas proporções, mas em quantidades que são proporcionais ao valor da produção. Os erros introduzidos por esse processo de normalização não são significantes, pois os produtos primários constituem cerca de 90% do total da produção em 40 dos 42 setores detalhados nas matrizes do IBGE.

O detalhamento dos setores de energia envolvidos foi feito a seguir.

Os setores cana-de-açúcar, arroz em casca, álcool, geração de eletricidade, transmissão e distribuição de eletricidade, beneficiamento de arroz, indústria da madeira e gasoálcool foram então desagregados das indústrias em que aparecem nas MIPs publicadas pelo IBGE. Cana-de-açúcar e arroz em casca se encontram no setor de agropecuária. O álcool é incluído no setor de elementos químicos. Os setores de eletricidade são parte dos serviços industriais de utilidade pública (SIUP). Finalmente, gasoálcool está do setor de comércio. Os 50 setores produtivos que compõe a base de dados são exibidos no Apêndice C.

A desagregação de um setor requer informações sobre o consumo intermediário, importações, impostos e remuneração dos fatores primários (serviços de capital e mão-de-obra).

O açúcar e álcool são incluídos entre os *produtos* classificados pelo IBGE, como indicado no Apêndice B, de forma que as linhas correspondentes da tabela de uso no formato produto-setor foram mantidas na matriz normalizada.

Um procedimento de abertura setorial confiável e bastante comum consiste em identificar os principais insumos usados pelo setor a ser desagregado e obter estimativas de engenharia – consultando expertos e publicações especializadas – a respeito das proporções do valor de cada um em relação ao custo total (coeficientes técnicos), o que dá uma estimativa inicial da coluna de consumo intermediário. O passo seguinte é subtrair essa coluna do setor de origem, verificando se nenhuma componente resulta negativa, o que pode acontecer eventualmente. Se isso não ocorrer, a desagregação estará concluída; caso contrário, é necessário reavaliar os coeficientes técnicos que produziram os valores negativos, e assim sucessivamente.

Todo o procedimento de inserção do tipo ascendente (*bottom-up*) acima descrito não exige ajustes numéricos subseqüentes, pois a desagregação – tanto das linhas quanto das colunas – foi obtida por subtração, mantendo, assim, a MIP equilibrada.

No Brasil, a cana-de-açúcar pode ser colhida manualmente ou através máquinas colhedoras e o álcool pode ser produzido em destilarias anexas ou autônomas. Essas diferentes tecnologias foram consideradas na base de dados.

Finalmente, a base de dados foi calibrada para ser consistente com os principais indicadores socioeconômicos observados em 2002, como o número de empregos e o rendimento médio de cada trabalhador. Observadas algumas inconsistências, fez-se necessário verificar com os especialistas consultados a exatidão das informações prestadas; em alguns casos, erros foram, de fato, identificados. Dessa forma, o procedimento de calibragem também serviu para ajudar os expertos a produzirem sistematicamente informações mais confiáveis.

Para a calibragem do modelo, foram usados os seguintes parâmetros que se supôs válidos para 2002:

- Modo de colheita da cana-de-açúcar: 27% mecanizada⁵ e 73% manual;
- Produção de cana-de-açúcar no Brasil: 320,65 milhões de toneladas, sendo 15,7% na região Norte-Nordeste e 84,3% na região Centro-Sul;
- Pessoal ocupado na produção de cana-de-açúcar: 58,7% na região Norte-Nordeste e 41,3% na região Centro-Sul;
- Rendimento médio obtido por trabalhador na produção de cana-de-açúcar: o da região Norte-Nordeste é 41,7% do correspondente à região Centro-Sul;
- Destilarias de álcool: 15% autônomas e 85% anexas (em volume de produção)⁶.

Os coeficientes diretos obtidos são mostrados no Apêndice D. Pode-se observar que a razão entre os coeficientes de emprego da colheita manual e mecanizada é cerca de 6. Produzir R\$ 100.000 de cana-de-açúcar requer seis trabalhadores no modo manual ou apenas um se a colheita for mecanizada.

5.4 O modelo de insumo-produto inter-regional

As aplicações iniciais do modelo de insumo-produto foram feitas nos Estados Unidos para analisar os impactos sobre alguns setores da economia decorrentes das mudanças esperadas ao final da II Guerra Mundial. Nos últimos anos, o interesse na análise econômica em nível regional induziu modificações no modelo de insumo-produto para que se pudesse atender às particularidades dos problemas regionais (MILLER E BLAIR, 1985).

Em trabalhos sobre economia aplicada, é importante tecer as análises em três níveis: o nacional, o regional e o setorial. Na primeira fase do presente estudo, a avaliação dos impactos socioeconômicos, decorrentes do aumento das exportações de etanol em 104,55 bilhões de litros ao ano foi mensurada no nível nacional, capturando-se os efeitos diretos, indiretos e induzidos sobre o nível da atividade, valor adicionado e empregos em toda a cadeia produtiva agregada em 45 setores. Completando esta tarefa, na segunda fase do projeto a análise nacional é estendida ao nível regional, compreendendo os impactos nas 5 macro-regiões do Brasil (regiões Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul).

O modelo de insumo-produto inter-regional possui praticamente a mesma concepção teórica do modelo de insumo-produto para uma única região, como apresentado na seção 5.1. Para facilitar seu entendimento, imagine-se a economia nacional dividida em duas regiões, região Sudeste (SE) e resto do Brasil (RB), e agregada em três setores: agropecuária (agp), indústria (ind) e serviços (svc), como mostra a Tabela 5.4-1.

⁵ Estima-se que o percentual de colheita mecanizada tenha atingido 35% para a safra de 2005-2006.

⁶ De um total de 318 usinas existentes em 2002, 199 tinham destilarias anexas, 104 eram autônomas e apenas 15 produziam somente açúcar.

A tabela de transações é um retrato agregado da economia brasileira em 2002, obtido a partir de uma matriz de insumo-produto estimada para as 5 regiões do país agregada em 46 setores em cada região. O processo de construção da matriz inter-regional é apresentado na seção posteriormente.

Tabela 5.4-1: Tabela de transações inter-regional

Brasil 2002 [R\$ bilhões]	<i>agp</i> (SE)	<i>Ind</i> (SE)	<i>svc</i> (SE)	<i>agp</i> (RB)	<i>ind</i> (RB)	<i>svc</i> (RB)	<i>Demanda</i> <i>Final</i> (Y)	<i>Demanda</i> <i>total</i> (X)
agp (SE)	9,269	31,684	1,578	0,001	3,987	0,095	23,638	70,251
ind (SE)	14,144	263,952	69,156	9,291	39,130	17,794	322,527	735,994
svc (SE)	5,079	53,685	85,899	2,133	10,393	17,942	452,610	627,740
agp (RB)	0,042	8,635	0,900	20,457	46,036	3,556	44,923	124,550
ind (RB)	0,135	20,085	3,895	14,293	154,353	57,529	256,267	506,556
agp(RB)	0,073	6,330	2,639	6,011	32,202	66,087	364,824	478,167
Importação (M)	1,474	53,440	16,614	2,685	32,682	16,832	56,827	
Valor adicionado (VA)	40,035	298,182	477,059	69,679	187,773	298,333	4,966	
Produção (X^T)	70,251	735,994	627,740	124,550	506,556	478,167		
Empregos [milhão]	2,403	7,095	22,295	10,105	6,003	18,472		

A área sombreada da tabela de transações corresponde ao consumo intermediário setorial, Y representa a demanda final, M as importações, VA o valor adicionado, PO o pessoal ocupado (empregos formais e informais) e X o valor da produção.

Observe-se que cada um dos três setores, em cada uma das duas regiões, está em equilíbrio (lucro econômico zero). Por exemplo, o setor da indústria (ind) na região Sudeste (SE) produziu, em 2002, R\$ 735,994 bilhões. As despesas desse setor aparecem na respectiva coluna, e suas receitas na linha correspondente. O consumo intermediário do setor é de R\$ 384,372 bilhões, dos quais R\$ 35,051 bilhões (9,1%) são provenientes do resto do Brasil.

Na matriz inter-regional é possível identificar, além do consumo inter-setorial, qual a região de origem do consumo intermediário dos setores da economia. A partir da matriz de transações, podem-se calcular os coeficientes técnicos diretos como descrito no modelo para uma única região. No exemplo considerado, a matriz A de coeficientes técnicos é mostrada na Tabela 5.4-2:

Tabela 5.4-2: Exemplo de matriz de coeficientes técnicos inter-regionais

A	<i>agp</i> (SE)	<i>ind</i> (SE)	<i>svc</i> (SE)	<i>agp</i> (RB)	<i>ind</i> (RB)	<i>svc</i> (RB)
agp (SE)	0,132	0,043	0,003	0,000	0,008	0,000
ind (SE)	0,201	0,359	0,110	0,075	0,077	0,037
svc (SE)	0,072	0,073	0,137	0,017	0,021	0,038
agp (RB)	0,001	0,012	0,001	0,164	0,091	0,007
ind (RB)	0,002	0,027	0,006	0,115	0,305	0,120
svc (RB)	0,001	0,009	0,004	0,048	0,064	0,138

Para produzir R\$ 1, o setor da indústria do Sudeste usa R\$ 0,359 de insumos da indústria do próprio sudeste e R\$ 0,027 da indústria do resto do Brasil. A equação básica do modelo para uma única região ($X=(I-A)^{-1}.Y$) continua sendo válida; a Tabela 5.4-3 mostra a matriz inversa de Leontief calculada a partir da matriz A da Tabela 5.4-2:

Tabela 5.4-3: Exemplo de matriz inversa de Leontief inter-regional

$(I - A)^{-1}$	<i>agp (SE)</i>	<i>ind (SE)</i>	<i>svc (SE)</i>	<i>agp (RB)</i>	<i>ind (RB)</i>	<i>svc (RB)</i>
agp (SE)	1,172	0,082	0,014	0,011	0,025	0,008
ind (SE)	0,395	1,624	0,211	0,187	0,226	0,113
svc (SE)	0,133	0,148	1,179	0,050	0,065	0,067
agp (RB)	0,009	0,031	0,007	1,224	0,167	0,036
ind (RB)	0,023	0,075	0,022	0,225	1,497	0,215
svc (RB)	0,008	0,024	0,010	0,087	0,122	1,180

Usando-se a equação básica do modelo de insumo-produto, onde a matriz inversa de Leontief está associada a uma matriz de transações inter-regional, é possível avaliar, por exemplo, qual seria o impacto em todos os setores da economia e em todas as regiões, resultante de um aumento na demanda final de R\$ 1 bilhão na indústria atendida somente pela região Sudeste. A quantificação dos impactos, em termos do valor da produção, é calculada pelo produto matricial:

$$\begin{bmatrix} 1,172 & 0,082 & 0,014 & 0,011 & 0,025 & 0,008 \\ 0,395 & 1,624 & 0,211 & 0,187 & 0,226 & 0,113 \\ 0,133 & 0,148 & 1,179 & 0,050 & 0,065 & 0,067 \\ 0,009 & 0,031 & 0,007 & 1,224 & 0,167 & 0,036 \\ 0,023 & 0,075 & 0,022 & 0,225 & 1,497 & 0,215 \\ 0,008 & 0,024 & 0,010 & 0,087 & 0,122 & 1,180 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,082 \\ 1,624 \\ 0,148 \\ 0,031 \\ 0,075 \\ 0,024 \end{bmatrix}$$

Então, para atender à demanda final de R\$ 1 bilhão na região sudeste, os impactos sobre os valores da produção nos setores do Sudeste seriam: R\$ 0,082 bilhão na agropecuária, R\$ 1,624 bilhão na indústria e R\$ 0,148 bilhão no setor de serviços; no resto do Brasil, R\$ 0,031 bilhão na agropecuária, R\$ 0,075 bilhão na indústria e R\$ 0,024 bilhão no setor de serviços. Observa-se que estes valores correspondem exatamente à 2ª coluna da matriz inversa de Leontief. Os impactos totais, capturando-se os efeitos diretos e indiretos, são dados pela soma dos valores constantes nesta 2ª coluna, a saber, R\$ 1,984 bilhão, sendo R\$ 1,854 (93,4%) na própria região Sudeste e R\$ 0,130 bilhão (6,6%) no resto do Brasil. Portanto, para atender a uma demanda para um setor em uma determinada região, há impactos em todos os setores e em todas as regiões. Este é o grande benefício do uso de um modelo de insumo-produto inter-regional, capturar os efeitos em todos os setores e em todas as regiões, mesmo quando o choque na demanda final ocorre em único setor em uma única região.

No exemplo didático apresentado, se o choque fosse de R\$ 1 bilhão na indústria, mas no resto do Brasil, os impactos (em termos do valor da produção) corresponderiam à 5ª coluna da matriz inversa de Leontief; na região Sudeste, o valor total seria de R\$ 0,316 bilhão (15,0%), e no resto do Brasil, R\$ 1,786 bilhão (85%).

Estas diferenças nas importações inter-regionais (6,6% para o Sudeste e 15,0% para o resto do Brasil) mostram que a região Sudeste é mais importante que o resto do Brasil em termos da interdependência econômico-regional no setor indústria, conseqüência das diferentes estruturas produtivas em cada região para o mesmo setor. O mesmo ocorre para os setores da agropecuária e serviços, onde os valores encontrados para o Sudeste são 2,3% e 2,7% respectivamente, e para o resto do Brasil, 13,9% e 11,6%.

Embora os exemplos apresentados refiram-se ao valor da produção, as análises em termos das diferenças setoriais e regionais podem ser estendidas para a quantificação do valor adicionado e dos empregos.

A matriz de insumo-produto usada no modelo foi estimada para as 5 grandes regiões do Brasil, constituindo-se em uma etapa de trabalho bastante árdua deste objetivo específico.

A estrutura da matriz é apresentada na Figura 5.4-1. Note-se a semelhança desta figura com a Tabela 5.4-1: a área sombreada corresponde ao consumo intermediário inter-regional, contemplando as transações intra e inter-regionais nas 5 regiões, sendo formada por um total de 25 submatrizes. Por exemplo, a submatriz CI_{CO-SE} apresenta o consumo intermediário dos setores da região Sudeste pelos setores da região Centro-Oeste.

Como a economia está agregada em 46 setores em cada região, cada uma das 25 submatrizes é de ordem 46, e, portanto, a matriz que contém todo o consumo intermediário possui ordem 230.

	<i>N</i>	<i>NE</i>	<i>CO</i>	<i>SE</i>	<i>S</i>	<i>DI</i>	<i>FAM</i>	<i>RY</i>	<i>X</i>		
<i>N</i>	CI_{N-N}	CI_{N-NE}	CI_{N-CO}	CI_{N-SE}	CI_{N-S}	DI_N	FAM_N	RY_N	X_N		
<i>NE</i>	CI_{NE-N}	CI_{NE-NE}	CI_{NE-CO}	CI_{NE-SE}	CI_{NE-S}		DI_{NE}	FAM_{NE}		RY_{NE}	X_{NE}
<i>CO</i>	CI_{CO-N}	CI_{CO-NE}	CI_{CO-CO}	CI_{CO-SE}	CI_{CO-S}		DI_{CO}	FAM_{CO}		RY_{CO}	X_{CO}
<i>SE</i>	CI_{SE-N}	CI_{SE-NE}	CI_{SE-CO}	CI_{SE-SE}	CI_{SE-S}		DI_{SE}	FAM_{SE}		RY_{SE}	X_{SE}
<i>S</i>	CI_{S-N}	CI_{S-NE}	CI_{S-CO}	CI_{S-SE}	CI_{S-S}		DI_S	FAM_S		RY_S	X_S
<i>CI</i>	CI_N	CI_{NE}	CI_{CO}	CI_{SE}	CI_S						
<i>M</i>	M_N	M_{NE}	M_{CO}	M_{SE}	M_S		M_{FAM}	M_{RY}			
<i>IIL</i>	IIL_N	IIL_{NE}	IIL_{CO}	IIL_{SE}	IIL_S		IIL_{FAM}	IIL_{RY}			
<i>L</i>	L_N	L_{NE}	L_{CO}	L_{SE}	L_S						
<i>K</i>	K_N	K_{NE}	K_{CO}	K_{SE}	K_S						
<i>ID</i>	ID_N	ID_{NE}	ID_{CO}	ID_{SE}	ID_S						
<i>PO</i>	PO_N	PO_{NE}	PO_{CO}	PO_{SE}	PO_S						
<i>X^T</i>	X_N^T	X_{NE}^T	X_{CO}^T	X_{SE}^T	X_S^T						

Figura 5.4-1: Estrutura da matriz inter-regional usada no modelo

Olhando as linhas abaixo do consumo intermediário, a linha identificada como CI representa o consumo intermediário setorial total em cada região. A linha M identifica a importação, e o valor adicionado (VA na Tabela 5.4-1) está desagregado em suas componentes IIL, que representa os impostos indiretos líquidos (como IPI e ICMS, por exemplo), L, correspondendo à remuneração sobre o fator primário de produção trabalho, K, identificando a remuneração sobre o fator primário capital, e ID, associada aos impostos diretos que incidem sobre as atividades produtivas (COFINS, por exemplo). A linha PO exibe o pessoal ocupado em cada uma das atividades nas 5 regiões, e, finalmente, X^T é o valor da produção setorial, que em condição de lucro econômico zero, corresponde às despesas totais de cada setor.

Em relação às colunas à direita da matriz de consumo intermediário, a coluna DI corresponde à demanda intermediária setorial total em cada região. A demanda final (Y) da Tabela 5.4-1, na Figura 5.4-1 está desagregada no consumo das famílias (FAM) e no resto da demanda final (RY), atendida por cada uma das 5 regiões. A última coluna (X) representa novamente o valor da produção setorial em cada região, sendo igual às receitas de cada setor na condição de lucro econômico zero.

A matriz de insumo-produto nacional com 50 setores, usada no modelo nacional para obter os resultados preliminares nacionais apresentados no relatório técnico de outubro/2006, foi agregada em 46 setores, sendo referência para o processo de estimação da matriz inter-regional. Isto quer dizer que a agregação regional da matriz inter-regional estimada é exatamente igual à matriz nacional.

Então, em relação ao consumo intermediário, isto quer dizer que cada transação na matriz nacional irá corresponder a 25 transações na matriz inter-regional. Por exemplo, em 2002, estimou-se que o setor da construção civil nacional consumiu R\$ 14,365 bilhões de insumos do setor produtos de minerais não-metálicos. Na matriz inter-regional, esta transação precisa ser desagregada em 25, ou seja, saber quanto o setor de construção civil, em cada uma das 5 regiões, consumiu de insumos do setor produtos de minerais não-metálicos também em cada uma das regiões. Deste modo, o setor de construção civil do Sudeste pode usar insumos do setor produtos minerais não-metálicos de cada uma das 5 regiões.

A base de dados usada para estimar a matriz inter-regional foi a seguinte:

- Sistema de Contas Nacionais: foram usadas as tabelas de recursos e usos de 1997 a 2002 para estimar a matriz de insumo-produto nacional para o ano de 2002, a partir da matriz de insumo-produto de 1996, agregada nos 42 setores apresentados pelo IBGE;
- Sistema de Contas Regionais: foram usadas as informações para 2002 nas 5 regiões sobre valor da produção, consumo intermediário total e valor adicionado para os seguintes setores: agropecuária, extrativa mineral, serviços industriais de utilidade pública (SIUP), construção civil, comércio, transportes, comunicações, instituições financeiras, aluguel de imóveis e administração pública;
- Censo agropecuário de 1995: informações sobre a participação do pessoal ocupado no setor entre as 5 regiões;

- Pesquisa Industrial Anual (PIA) 2002: consistiu na principal base de dados para a desagregação regional, colhendo-se valores para 28 setores da indústria da transformação. Foram consultadas as informações sobre o valor bruto da produção industrial, custos das operações industriais, salários, retiradas e outras remunerações, encargos sociais e trabalhistas e, finalmente, o pessoal ocupado;
- Pesquisa anual da indústria da construção (PAIC) 2002: desta fonte extraiu-se as informações regionais sobre o pessoal ocupado e remuneração sobre o fator trabalho do setor construção civil;
- Pesquisa anual do comércio (PAC) 2002: usou-se os dados sobre pessoal ocupado e remuneração do fator trabalho para o setor comércio;
- Pesquisa anual de serviços (PAS) 2002: computou-se os valores sobre pessoal ocupado e remuneração do fator trabalho para os setores transportes, comunicações, serviços prestados às famílias, serviços prestados às empresas e aluguel de imóveis;
- Relação Anual de Informações Sociais (RAIS) 2002: esta fonte foi usada para completar a estimativa do pessoal ocupado e da remuneração sobre o fator trabalho para os setores que não dispunham desta informação nas fontes citadas anteriormente;
- Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) 2002: foi usada para obter somente as informações sobre as diferenças regionais do pessoal ocupado e da renda para o setor produtor de cana-de-açúcar;
- Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF) 2002: base de dados usada para estimar o consumo regional das famílias

As etapas percorridas para a obtenção da matriz de insumo-produto inter-regional para o ano de 2002 foram as seguintes:

1. A partir das informações contidas na base de dados mencionada, construiu-se uma matriz, denominada **DadosSetoriais**, contendo o valor da produção, o pessoal ocupado, a remuneração sobre o fator trabalho e a remuneração sobre o fator capital (variáveis X, PO, L e K na Figura 5.4) para cada um dos 46 setores, em cada uma das 5 regiões;
2. Aplicando-se as proporções das variáveis X, PO, L e K encontradas na matriz **DadosSetoriais** sobre os valores correspondentes da matriz nacional, estimou-se seus valores regionais;
3. Usando-se as mesmas proporções em relação ao valor da produção setorial nacional, foram estimados os valores referentes aos impostos diretos (ID na Figura 5.4);
4. Cálculo do consumo intermediário a preço de consumidor, obtido pela subtração das variáveis L, K e ID do valor da produção (X);

5. Obtenção das importações (M) e dos impostos indiretos líquidos (IIL), usando-se as proporções dos respectivos valores setoriais sobre o consumo intermediário a preço de consumidor;
6. Cálculo do consumo intermediário (CI), obtido pela subtração das importações (M), impostos indiretos líquidos (IIL), remuneração sobre o fator trabalho (L), remuneração sobre o fator capital (K) e impostos diretos (ID) do valor da produção (X);
7. Avaliação do consumo regional das famílias, aplicando-se as proporções regionais para cada setor, obtidas na Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF), sobre o consumo das famílias nacional;
8. Estimativa do consumo inter-regional das famílias, admitindo que o consumo regional das famílias é atendido de forma proporcional à participação regional da produção para cada setor;
9. Agregação do consumo inter-regional das famílias em uma única coluna, obtendo-se o consumo das famílias atendido por cada uma das regiões (coluna Famílias na Figura 5.4);
10. Cálculo do resto da demanda final inter-regional (coluna RY na Figura 5.4), admitindo-se que é atendida de forma proporcional à participação regional da produção para cada setor;
11. Cálculo da demanda intermediária total (DI), subtraindo-se a demanda das famílias (Famílias) e o resto da demanda final (RY) do valor da produção setorial (X);
12. Após as etapas 2 a 11, resta estimar o consumo intermediário, que é a área sombreada na Figura 5.4-1. Inicialmente, admite-se que a tecnologia setorial regional é igual à tecnologia nacional. Aplicando-se os coeficientes técnicos diretos da matriz nacional sobre o valor da produção setorial regional, obtém-se a primeira estimativa do consumo intermediário total para cada setor, em cada região;
13. O consumo intermediário total em cada região é desagregado intra-regionalmente e inter-regionalmente. O consumo intra-regional é estimado empregando-se a técnica dos quocientes locacionais, explicada posteriormente. Subtraindo-se o consumo intermediário total do consumo intermediário intra-regional, obtém-se o consumo total inter-regional, cuja desagregação é feita proporcionalmente à participação da produção regional do insumo em relação à produção total do insumo em todas as regiões, exceto a própria região;
14. O consumo intermediário regional, assim obtido, irá resultar em uma matriz com alguns desequilíbrios, pois a soma de suas linhas não será exatamente igual ao consumo intermediário total (CI), e a soma de suas colunas não corresponderá precisamente à demanda intermediária total (DI). Para proceder a correção, é aplicado o método biproporcional de ajuste (RAS), explicado na Fase 1 do Projeto.

O emprego de quocientes locacionais para estimar as transações inter-regionais é recurso muito usado em trabalhos sobre economia regional, dada a escassez de informações sobre a configuração tecnológica local (no contexto do modelo de insumo-produto). Em Miller e Blair (1985), há uma explicação detalhada sobre o emprego dos diferentes tipos de quocientes.

Seja a_{ij}^{RR} o coeficiente técnico do setor j da região R em relação ao uso do insumo provido pelo setor i também da região R , ou seja, a_{ij}^{RR} é um coeficiente técnico intra-regional.

Seja o quociente inter-industrial definido como:

$$CIQ_{ij}^R = \left[\frac{X_i^R / X_i^N}{X_j^R / X_j^N} \right]$$

A estimativa dos coeficientes intra-regionais foi feita empregando-se a seguinte expressão:

$$a_{ij}^{RR} = \begin{cases} a_{ij}^N(CIQ_{ij}^R) & \text{se } CIQ_{ij}^R < 1 \\ a_{ij}^N & \text{se } CIQ_{ij}^R \geq 1 \end{cases}$$

A idéia é que se a participação do valor da produção regional do setor i , em relação ao valor da produção nacional do mesmo setor, é maior que a participação do valor da produção regional do setor j em relação ao valor da produção nacional do setor j

(isto é, $CIQ_{ij}^R > 1$), então todo o insumo necessário do setor i para suprir o consumo intermediário do setor j na região R pode ser totalmente atendido pelo setor i da própria região R .

5.5 Impactos socioeconômicos regionais

Os impactos socioeconômicos apresentados na Fase 1 do projeto foram calculados em um cenário correspondente à exportação de 104,55 bilhões de litros de álcool. Os efeitos – diretos, indiretos e induzidos – são medidos usando-se três métricas: valor da produção, valor adicionado (PIB) e postos de trabalho (empregos).

Na Fase 2, o estudo foi ampliado para avaliar os impactos nas 5 regiões do país, considerando-se um segundo cenário para exportar 205,00 bilhões de litros em 2025, adicionando-se a possibilidade da produção de álcool a partir de hidrólise, e quantificando-se, também, os impactos sobre a geração de eletricidade.

Os avanços apresentados nesta fase do estudo permitem simular uma quantidade considerável de combinações. O modelo estendido inter-regional desenvolvido está concebido para trabalhar com as seguintes variáveis exógenas:

- Volume das exportações de álcool;
- Configuração regional, nas 5 regiões do país, das seguintes variáveis:
 - Produção de álcool;
 - Participação da colheita mecanizada da cana;
 - Produção de álcool em destilarias autônomas ou por hidrólise;
 - Produção excedente de eletricidade a partir do bagaço da cana;
 - Aumento da produtividade da produção de cana.

Em função dos cenários apresentados no Capítulo 4 para a evolução das exportações de álcool e expectativas do aumento da produtividade na produção de cana, assim como as tecnologias mencionadas no Capítulo 2 para a produção de álcool por hidrólise, optou-se por quantificar os impactos socioeconômicos em 8 simulações distintas, que compreendem as seguintes comparações:

1. Exportar 104,55 bilhões de litros de etanol ao ano em 2025 (cenário 1);
2. Exportar 205,00 bilhões de litros de etanol ao ano em 2025 (cenário 2);
3. Quantificar os 2 impactos acima considerando um cenário sem evolução tecnológica, denominado cenário "Sem Tecnologia" no Capítulo 4 (sem evolução da produtividade da cultura de cana e destilarias produzindo 85 l/tc) e outro com evolução, sendo escolhido o cenário denominado "Tecnologia Progressiva" no Capítulo 4;
4. Quantificar todos os impactos com uma expectativa para o ano de 2015.

As 4 comparações resultam, então, em 8 simulações distintas, apresentadas na Tabela 5.5-1.

Tabela 5.5-1: Simulações realizadas para quantificar os impactos regionais

<i>Simulação</i>	<i>Descrição</i>
Simulação 1	Cenário 1, "Sem Tecnologia", em 2015
Simulação 2	Cenário 1, "Tecnologia Progressiva", em 2015
Simulação 3	Cenário 1, "Sem Tecnologia", em 2025
Simulação 4	Cenário 1, "Tecnologia Progressiva", em 2025
Simulação 5	Cenário 2, "Sem Tecnologia", em 2015
Simulação 6	Cenário 2, "Tecnologia Progressiva", em 2015
Simulação 7	Cenário 2, "Sem Tecnologia", em 2025
Simulação 8	Cenário 2, "Tecnologia Progressiva", em 2025

Foram admitidas 5 possíveis tecnologias para a produção de álcool nas simulações realizadas, a saber:

- Tecnologia convencional, produzindo 85,0 l/tc e gerando um excedente de 40,0 kWh/tc;
- Tecnologia convencional, produzindo 88,0 l/tc e gerando um excedente de 121,3 kWh/tc em 2015;
- Tecnologia convencional, produzindo 88,0 l/tc e gerando um excedente de 160,2 kWh/tc em 2025;
- Hidrólise I: produção de 91,0 l/tc pelo processo convencional + 12,6 l/tc pelo processo de hidrólise (totalizando 103,6 l/tc), além da geração de um excedente de 49,3 kWh/tc;
- Hidrólise II: produção de 92,5 l/tc pelo processo convencional + 31,8 l/tc pelo processo de hidrólise (totalizando 124,3 l/tc), além da geração de um excedente de 54,7 kWh/tc;

A Tabela 5.5-2 exibe, em detalhes, as hipóteses assumidas em cada uma das simulações.

Tabela 5.5-2: Hipóteses assumidas em cada simulação

<i>Item</i>	<i>Simul. 1</i>	<i>Simul. 2</i>	<i>Simul. 3</i>	<i>Simul. 4</i>	<i>Simul. 5</i>	<i>Simul. 6</i>	<i>Simul. 7</i>	<i>Simul. 8</i>
Exportação álcool [bi I]	45,90	45,90	104,55	104,55	63,75	63,75	205,00	205,00
Norte	7,9%	7,9%	7,7%	7,7%	6,4%	6,4%	5,0%	5,0%
Nordeste	27,5%	27,5%	29,4%	29,4%	27,5%	27,5%	39,9%	39,9%
Centro-Oeste	55,5%	55,5%	53,9%	53,9%	49,4%	49,4%	41,5%	41,5%
Sudeste	9,1%	9,1%	8,9%	8,9%	16,7%	16,7%	13,6%	13,6%
Sul	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Tecnologia convencional (l/tc) e participação	85,0 100,0%	88,0 66,1%	85,0 100,0%	88,0 33,8%	85,0 100,0%	88,0 64,8%	85,0 100,0%	88,0 24,0%
Participação Hidrólise I	0,0%	33,9%	0,0%	57,2%	0,0%	35,2%	0,0%	62,3%
Participação Hidrólise II	0,0%	0,0%	0,0%	9,0%	0,0%	0,0%	0,0%	13,7%
Litros/tc equivalente	85,0	93,3	85,0	100,2	85,0	93,5	85,0	102,7
Aumento produtividade da cana (N)	0,0%	21,9%	0,0%	48,6%	0,0%	21,9%	0,0%	48,6%
Aumento produtividade da cana (NE)	0,0%	21,9%	0,0%	48,6%	0,0%	21,9%	0,0%	48,6%
Aumento produtividade da cana (CO)	0,0%	14,6%	0,0%	31,4%	0,0%	14,6%	0,0%	31,4%
Aumento produtividade da cana (SE)	0,0%	10,8%	0,0%	22,7%	0,0%	10,8%	0,0%	22,7%
Aumento produtividade da cana (S)	0,0%	10,8%	0,0%	22,7%	0,0%	10,8%	0,0%	22,7%

Como pode ser observado, cada uma das simulações contempla arranjos regionais completamente distintos. Os impactos quantificados, separando-se os efeitos diretos e indiretos dos efeitos totais (que inclui o efeito renda), são mensurados sempre no nível regional, em termos do valor da produção (em R\$ bilhões de 2005), do PIB (também em R\$ bilhões de 2005), do número de empregos (formais e informais) e da eletricidade excedente total (em TWh).

Para os resultados apresentados a seguir, são destacados (áreas sombreadas nas tabelas) os cenários para o ano de 2025 "Sem Tecnologia" e "Tecnologia Prudente", considerando-se um volume de exportações de 104,55 bilhões de litros e 205,00 bilhões, respectivamente, as simulações 3, 4, 7 e 8.

A Tabela 5.5-3 mostra os resultados em relação aos impactos sobre o valor da produção.

Tabela 5.5-3: Impactos sobre o valor da produção (R\$ bilhão de 2005)

EFEITOS DIRETOS E INDIRECTOS								
Região	Simul. 1	Simul. 2	Simul. 3	Simul. 4	Simul. 5	Simul. 6	Simul. 7	Simul. 8
Norte	9,5	8,8	21,2	18,9	10,9	10,2	27,8	24,6
Nordeste	30,8	28,7	74,5	66,8	42,6	39,8	192,8	172,7
Centro-Oeste	48,4	46,5	107,1	100,4	59,9	57,5	162,1	151,1
Sudeste	24,9	22,4	56,0	47,1	44,5	40,6	126,3	107,5
Sul	4,1	3,6	9,3	7,6	5,4	4,8	16,7	13,7
Brasil	117,7	110,1	268,1	240,9	163,3	152,8	525,8	469,6
EFEITOS DIRETOS, INDIRECTOS E INDUZIDOS								
Região	Simul. 1	Simul. 2	Simul. 3	Simul. 4	Simul. 5	Simul. 6	Simul. 7	Simul. 8
Norte	12,2	11,6	27,4	25,1	14,7	14,0	39,9	36,7
Nordeste	38,6	36,6	92,4	84,5	53,5	50,8	227,9	207,4
Centro-Oeste	53,3	51,4	118,1	111,3	66,6	64,3	183,8	172,6
Sudeste	62,9	60,6	142,7	132,9	97,5	93,8	296,2	275,5
Sul	17,5	17,1	39,8	37,8	24,1	23,6	76,5	72,9
Brasil	184,5	177,3	420,3	391,7	256,3	246,4	824,2	765,1

O valor da produção setorial tem importância como sendo um indicador do aumento do nível da atividade de cada um dos setores da economia. Na Tabela 5.5-3, pode-se observar que o nível de atividade dos cenários que contemplam avanço tecnológico é sempre inferior àqueles sem avanço, quantificados os efeitos diretos e indiretos e os efeitos totais. Esta diferença, para o Brasil, está entre 6% e 10% inferior quando se computam os efeitos diretos e indiretos, e entre 4% e 7% inferior no caso dos efeitos totais. Em cada uma das regiões, estas diferenças também variam.

Em todas as simulações, as regiões Centro-Oeste e Nordeste respondem em torno de 80% da produção de álcool para as exportações, constituindo-se nas regiões mais intensamente atingidas pelos efeitos diretos. Os impactos diretos e indiretos refletem esta situação, embora a região sudeste, contemplada com 8,9% (simulações 3 e 4) e 13,6% das exportações (simulações 7 e 8), responde aproximadamente por 20% e 23% do total (em relação ao Brasil); quando se consideram os efeitos totais, a participação da região Sudeste no nível de atividade sobe para 34% e 36%, respectivamente. A participação expressiva da região Sudeste nos impactos é explicada pela importância da região na economia nacional, que responde por 55% do PIB nacional, sendo sempre acionada mesmo quando a demanda final deve ser atendida por outra região do país.

Observe-se que em todas as simulações a região Sudeste é a penúltima a ser afetada diretamente; quando se computam os efeitos diretos e indiretos ela passa para a 3ª posição, e para os efeitos totais, ela passa ao 1º lugar, superando até mesmo as regiões Centro-Oeste e Nordeste, como já mencionado, responsáveis aproximadamente por 80% das exportações de álcool em cada simulação.

Em relação ao ano de 2005, a estimativa do aumento do nível de atividade regional (valor da produção) em cada uma das simulações é apresentada na Tabela 5.5-4.

Nota-se que as regiões Centro-Oeste, Nordeste e Norte são aquelas que apresentam os aumentos mais expressivos. Analisando-se os efeitos totais, as regiões Sudeste e Sul também apresentam aumentos significativos, mesmo com a região Sul não contribuindo para as exportações de álcool em todos os cenários. O intenso aumento no nível de atividade das regiões Centro-Oeste, Nordeste e Norte, motivado por um programa em um cenário que aciona diretamente a indústria do álcool e da cana-de-açúcar em condições tecnológicas superiores às atuais, irá ter reflexo no PIB e nos empregos de cada região, diminuindo as desigualdades regionais, como será apresentado adiante.

Tabela 5.5-4: Estimativa do aumento do valor da produção regional em relação a 2005 (%)

EFEITOS DIRETOS E INDIRECTOS								
Região	Simul. 1	Simul. 2	Simul. 3	Simul. 4	Simul. 5	Simul. 6	Simul. 7	Simul. 8
Norte	5,6	5,3	12,6	11,3	6,5	6,1	16,6	14,7
Nordeste	6,8	6,3	16,4	14,7	9,4	8,8	42,5	38,1
Centro-Oeste	16,5	15,9	36,5	34,3	20,4	19,6	55,3	51,6
Sudeste	1,2	1,1	2,7	2,3	2,2	2,0	6,1	5,2
Sul	0,6	0,5	1,4	1,1	0,8	0,7	2,5	2,0
Brasil	3,2	3,0	7,3	6,6	4,5	4,2	14,4	12,8

EFEITOS DIRETOS, INDIRECTOS E INDUZIDOS								
Região	Simul. 1	Simul. 2	Simul. 3	Simul. 4	Simul. 5	Simul. 6	Simul. 7	Simul. 8
Norte	7,3	6,9	16,3	15,0	8,7	8,3	23,8	21,9
Nordeste	8,5	8,1	20,4	18,6	11,8	11,2	50,2	45,7
Centro-Oeste	18,2	17,6	40,3	38,0	22,7	22,0	62,7	58,9
Sudeste	3,0	2,9	6,9	6,4	4,7	4,5	14,3	13,3
Sul	2,6	2,5	5,8	5,5	3,5	3,5	11,2	10,7
Brasil	5,0	4,8	11,5	10,7	7,0	6,7	22,5	20,9

A Tabela 5.5-5 mostra os resultados em relação aos impactos sobre o PIB em cada região. Analogamente ao que se nota em relação ao nível de atividade, as simulações que contemplam evolução do cenário tecnológico apresentam um PIB pouco inferior em relação aos cenários sem evolução, exceto na região Centro-Oeste, que possui a maior participação nas exportações de álcool simuladas. Embora os resultados sejam bastante expressivos nas regiões Centro-Oeste e Nordeste, novamente a região Sudeste é muito influenciada em valores absolutos, sendo a mais importante quando se computam os efeitos totais, respondendo por aproximadamente 36,5% (simulações 3 e 4) e 38,5% (simulações 7 e 8) do total.

Tabela 5.5-5: Impactos sobre o PIB (R\$ bilhão de 2005)

EFEITOS DIRETOS E INDIRECTOS								
Região	Simul. 1	Simul. 2	Simul. 3	Simul. 4	Simul. 5	Simul. 6	Simul. 7	Simul. 8
Norte	4,2	4,1	9,4	8,9	4,8	4,7	12,3	11,6
Nordeste	13,1	12,9	31,8	30,7	18,2	17,8	82,5	80,4
Centro-Oeste	21,4	21,8	47,3	48,1	26,5	27,0	71,7	73,1
Sudeste	11,5	10,5	25,9	22,3	20,4	19,0	58,3	51,2
Sul	1,6	1,5	3,7	3,1	2,2	1,9	6,8	5,6
Brasil	51,9	50,7	118,2	113,1	72,1	70,4	231,6	221,9

EFEITOS DIRETOS, INDIRECTOS E INDUZIDOS								
Região	Simul. 1	Simul. 2	Simul. 3	Simul. 4	Simul. 5	Simul. 6	Simul. 7	Simul. 8
Norte	5,5	5,4	12,4	11,9	6,7	6,5	18,2	17,4
Nordeste	17,0	16,8	40,7	39,5	23,6	23,3	99,9	97,6
Centro-Oeste	23,6	24,0	52,4	53,2	29,6	30,1	81,7	82,9
Sudeste	32,2	31,3	73,1	69,0	49,3	48,1	150,9	142,9
Sul	8,0	7,8	18,1	17,4	11,0	10,8	35,1	33,7
Brasil	86,4	85,4	196,8	191,0	120,1	118,8	385,7	374,6

Em relação ao ano de 2005, a estimativa do aumento do PIB regional em cada uma das simulações é apresentada na Tabela 5.5-6.

Colocado em prática um programa para as exportações de álcool como apresentado neste estudo, os resultados mostram que o impacto sobre o PIB é enorme, em particular nas regiões Centro-Oeste, Nordeste e Norte. Por exemplo, na simulação 8, que considera um cenário de exportação de 205,00 bilhões de litros em 2025 com evolução tecnológica, a região Centro-Oeste experimentaria, na média, um crescimento de 2,3% ao ano quando se consideram os efeitos totais, quase metade da meta do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) anunciado no princípio deste ano pelo Governo Federal.

Para o crescimento do PIB regional, as diferenças entre os efeitos totais e os efeitos diretos e indiretos são mais expressivas para as regiões Norte, Sudeste e Sul, com as menores participações nas exportações de álcool, mas que ainda assim experimentariam um crescimento vigoroso de suas economias, principalmente quando se mensuram os efeitos totais. Na simulação 8, considerando os efeitos totais, a região Sul teria um crescimento médio de 0,50% ao ano (mesmo sem exportar álcool); o crescimento médio do Brasil seria de 0,9% ao ano, quase um quinto da meta do PAC.

Tabela 5.5-6: Estimativa do aumento do PIB regional em relação a 2005 (%)

EFEITOS DIRETOS E INDIRECTOS								
Região	Simul. 1	Simul. 2	Simul. 3	Simul. 4	Simul. 5	Simul. 6	Simul. 7	Simul. 8
Norte	4,1	4,0	9,2	8,7	4,7	4,6	12,0	11,3
Nordeste	4,8	4,7	11,7	11,3	6,7	6,5	30,3	29,5
Centro-Oeste	14,7	15,0	32,5	33,1	18,2	18,5	49,3	50,2
Sudeste	1,1	1,0	2,4	2,1	1,9	1,8	5,5	4,8
Sul	0,5	0,4	1,0	0,9	0,6	0,5	1,9	1,6
Brasil	2,7	2,6	6,1	5,8	3,7	3,6	12,0	11,5

EFEITOS DIRETOS, INDIRECTOS E INDUZIDOS								
Região	Simul. 1	Simul. 2	Simul. 3	Simul. 4	Simul. 5	Simul. 6	Simul. 7	Simul. 8
Norte	5,4	5,3	12,1	11,6	6,5	6,4	17,7	17,0
Nordeste	6,2	6,2	14,9	14,5	8,7	8,5	36,7	35,8
Centro-Oeste	16,2	16,5	36,0	36,5	20,3	20,7	56,1	57,0
Sudeste	3,0	2,9	6,9	6,5	4,6	4,5	14,2	13,4
Sul	2,3	2,2	5,1	4,9	3,1	3,1	9,9	9,5
Brasil	4,5	4,4	10,2	9,9	6,2	6,1	19,9	19,3

A Tabela 5.5-7 mostra os resultados em relação aos impactos regionais sobre os empregos.

A simulação 3 corresponde ao cenário estudado na Fase 1 do Projeto; naquela ocasião, os impactos sobre os empregos foram estimados em 1,719 milhão (devido aos efeitos diretos e indiretos) e 5,343 milhões (devido aos efeitos totais). Na Tabela 5.5-7, pode-se ver que os valores correspondentes nesta fase do trabalho são 1,723 milhão e 5,374 milhões, números que são somente 0,2% e 0,6% superiores aos encontrados anteriormente.

A diferença entre os empregos quando se computa o efeito renda é expressiva em relação àqueles quando se leva em consideração somente os efeitos diretos e indiretos. A explicação, como já mencionado no relatório final da Fase 1 deste estudo, é explicada porque a maior parte dos empregos gerados pelo efeito renda encontram-se no setor de serviços.

Tabela 5.5-7: Impactos regionais sobre os empregos (em milhares de pessoas)

EFEITOS DIRETOS E INDIRECTOS								
Região	Simul. 1	Simul. 2	Simul. 3	Simul. 4	Simul. 5	Simul. 6	Simul. 7	Simul. 8
Norte	63	52	141	99	73	60	187	130
Nordeste	219	180	530	376	304	250	1.364	949
Centro-Oeste	264	224	585	433	328	278	891	647
Sudeste	170	149	385	306	287	250	844	659
Sul	37	32	83	67	50	44	156	124
Brasil	753	637	1.723	1.281	1.042	882	3.443	2.510

EFEITOS DIRETOS, INDIRECTOS E INDUZIDOS								
Região	Simul. 1	Simul. 2	Simul. 3	Simul. 4	Simul. 5	Simul. 6	Simul. 7	Simul. 8
Norte	138	127	311	268	177	165	521	461
Nordeste	553	516	1.290	1.129	769	718	2.854	2.425
Centro-Oeste	373	333	833	678	479	430	1.377	1.128
Sudeste	944	926	2.145	2.051	1.363	1.333	4.295	4.076
Sul	349	347	795	773	485	482	1.552	1.507
Brasil	2.357	2.249	5.374	4.899	3.273	3.127	10.599	9.597

Observa-se, como esperado, que há uma redução no número de empregos quando se comparam os cenários com evolução tecnológica com aqueles sem evolução. Ainda assim, o total de empregos com o avanço tecnológico no setor produtor de álcool e de cana continua elevado, atingindo quase 5 milhões de empregos quando se exporta 104,55 bilhões de litros de etanol ao ano (simulação 4), e próximo de 10 milhões de empregos quando a exportação é de 205,00 bilhões (simulação 8).

Novamente, a participação da região Sudeste é significativa quando são avaliados os efeitos diretos e indiretos, apresentando valores próximos aos da região Centro-Oeste, que é muito dependente daquela região para o fornecimento de seus insumos no consumo inter-setorial. Sendo ainda o Sudeste a região que responde por 55% do PIB nacional, quando se adiciona o efeito renda aos efeitos diretos e indiretos, a região Sudeste passa a responder por praticamente 40% dos empregos em todos os cenários, mesmo participando com valores que variam entre 8,9% a 16,7% das exportações de etanol nas diversas simulações.

Em relação ao ano de 2005, a estimativa do aumento dos empregos regionais em cada uma das simulações é apresentada na Tabela 5.5-8.

Tabela 5.5-8: Estimativa do aumento dos empregos regionais em relação a 2005 (%)

EFEITOS DIRETOS E INDIRECTOS								
Região	Simul. 1	Simul. 2	Simul. 3	Simul. 4	Simul. 5	Simul. 6	Simul. 7	Simul. 8
Norte	1,8	1,4	3,9	2,8	2,0	1,7	5,2	3,6
Nordeste	1,4	1,2	3,4	2,4	2,0	1,6	8,9	6,2
Centro-Oeste	5,3	4,5	11,7	8,6	6,5	5,5	17,8	12,9
Sudeste	0,5	0,4	1,1	0,9	0,8	0,7	2,5	1,9
Sul	0,3	0,2	0,6	0,5	0,4	0,3	1,2	0,9
Brasil	1,1	0,9	2,4	1,8	1,5	1,2	4,8	3,5

EFEITOS DIRETOS, INDIRECTOS E INDUZIDOS								
Região	Simul. 1	Simul. 2	Simul. 3	Simul. 4	Simul. 5	Simul. 6	Simul. 7	Simul. 8
Norte	3,8	3,5	8,7	7,5	4,9	4,6	14,6	12,9
Nordeste	3,6	3,4	8,4	7,3	5,0	4,7	18,6	15,8
Centro-Oeste	7,4	6,6	16,6	13,5	9,5	8,6	27,4	22,5
Sudeste	2,8	2,7	6,3	6,0	4,0	3,9	12,5	11,9
Sul	2,6	2,6	6,0	5,8	3,6	3,6	11,7	11,3
Brasil	3,3	3,1	7,5	6,8	4,6	4,4	14,8	13,4

Deve-se chamar a atenção para o aumento percentual expressivo dos empregos como um todo, mas em particular, Centro-Oeste e Nordeste, ainda que os números nas regiões Norte, Sudeste e Sul sejam também elevados.

Considerando-se os efeitos totais (diretos, indiretos e induzidos) e comparando-se os aumentos regionais do PIB com os aumentos regionais dos empregos, pode-se calcular o aumento da produtividade (razão entre o PIB e o número de empregos) em cada região, e usar este índice como *proxy* para o PIB *per capita* regional, avaliando o impacto na redução das desigualdades regionais. A Tabela 5.5-9 exibe o aumento da produtividade regional em cada uma das simulações.

Na simulação 8, que corresponde ao cenário para exportar 205,00 bilhões de litros de álcool em 2025, prevendo avanço tecnológico na produção de álcool e de cana-de-açúcar, vê-se que o aumento da produtividade nacional seria de 5,2%. Nota-se que os aumentos da produtividade são sempre superiores nas simulações que contemplam avanço tecnológico, exceto nas regiões Sudeste e Sul, sendo as que menos sofrem os impactos diretos das exportações de etanol.

Tabela 5.5-9: Estimativa do aumento da produtividade regional (PIB/empregos) em relação a 2005 (%)

EFEITOS DIRETOS, INDIRECTOS E INDUZIDOS								
Região	Simul. 1	Simul. 2	Simul. 3	Simul. 4	Simul. 5	Simul. 6	Simul. 7	Simul. 8
Norte	1,5	1,7	3,1	3,8	1,5	1,7	2,8	3,6
Nordeste	2,6	2,7	6,0	6,7	3,5	3,7	15,3	17,3
Centro-Oeste	8,2	9,3	16,7	20,3	9,8	11,1	22,5	28,2
Sudeste	0,3	0,2	0,6	0,5	0,6	0,6	1,5	1,4
Sul	-0,4	-0,4	-0,8	-0,8	-0,5	-0,5	-1,6	-1,6
Brasil	1,1	1,2	2,5	2,8	1,6	1,7	4,4	5,2

Nitidamente, os resultados mostram que os aumentos nas produtividades das economias das regiões Centro-Oeste, Nordeste e Norte seriam bem superiores aos experimentados nas regiões Sudeste e Sul. Os aumentos na produtividade da região Sudeste seriam quase nulos, explicados pelo fato desta região já possuir a maior produtividade do país; as pequenas quedas de produtividade na região Sul são explicadas porque a região não participa diretamente das exportações de álcool, sendo mais atingida pelos efeitos induzidos sobre os setores de serviços.

Portanto, o grande aumento nas produtividades das regiões Centro-Oeste e Nordeste mostra que um programa para expansão da produção de álcool nestas regiões, como tratado neste projeto, seria uma alternativa viável para reduzir as desigualdades regionais.

A Tabela 5.5-10 mostra os resultados em relação aos impactos sobre o excedente de eletricidade na economia em cada região.

A exportação de álcool em uma determinada região aciona os demais setores da economia da própria região e de outras também, devidos aos efeitos diretos, indiretos e induzidos em toda a cadeia produtiva. Muitos destes setores, e particularmente as famílias, irão consumir eletricidade, gerando, então, uma demanda de energia elétrica que foi estimulada pela exportação de um produto, em particular, o etanol.

Os excedentes de geração de eletricidade, mostrados na Tabela 5.5-10, são obtidos subtraindo-se do excedente de eletricidade, fornecido pela queima do bagaço de cana na produção de álcool em cada região, do consumo de eletricidade em toda a economia para atender as respectivas exportações de álcool. Logo, os excedentes apresentados na tabela tratam de um excedente líquido de eletricidade, podendo ser interpretado como um parâmetro referente à sustentabilidade energética do setor vista de forma muito mais ampla, ou seja, contemplando o balanço elétrico de toda a economia.

Tabela 5.5-10: Impactos sobre o excedente de eletricidade em toda a economia (TWh)

EFEITOS DIRETOS E INDIRETOS								
Região	Simul. 1	Simul. 2	Simul. 3	Simul. 4	Simul. 5	Simul. 6	Simul. 7	Simul. 8
Norte	1,408	3,492	3,143	6,123	1,534	3,805	3,607	5,667
Nordeste	5,487	12,686	13,420	25,224	7,626	17,387	36,116	56,968
Centro-Oeste	11,800	27,031	26,077	50,737	14,550	32,973	39,225	65,724
Sudeste	1,298	3,722	2,885	6,470	4,075	10,293	10,188	18,386
Sul	-0,675	-0,864	-1,530	-2,472	-0,928	-1,252	-2,917	-5,013
Brasil	19,318	46,068	43,995	86,082	26,856	63,206	86,219	141,732
EFEITOS DIRETOS, INDIRETOS E INDUZIDOS								
Região	Simul. 1	Simul. 2	Simul. 3	Simul. 4	Simul. 5	Simul. 6	Simul. 7	Simul. 8
Norte	0,491	2,568	1,055	4,046	0,258	2,520	-0,486	1,596
Nordeste	4,433	11,649	11,020	22,875	6,159	15,942	31,410	52,338
Centro-Oeste	11,003	26,262	24,262	48,988	13,440	31,901	35,666	62,263
Sudeste	-1,462	1,103	-3,400	0,503	0,234	6,642	-2,131	6,556
Sul	-3,337	-3,531	-7,591	-8,479	-4,631	-4,966	-14,797	-16,803
Brasil	11,128	38,051	25,345	67,932	15,461	52,039	49,663	105,950

Os números negativos que aparecem na Tabela 5.5-10 indicam que, naquela simulação e na respectiva região, há a necessidade de oferta de eletricidade pelo sistema hidrotérmico de potência para atender o consumo de eletricidade em toda a economia da região, que, eventualmente, não pode ser atendido pelos excedentes gerados pela queima do bagaço e palha de cana-de-açúcar. Por exemplo, olhando-se para os efeitos diretos e indiretos, observa-se que há a necessidade de oferta de eletricidade pelo sistema hidrotérmico na região Sul, o que é facilmente explicado pelo fato desta região não ter sido contemplada com as exportações de etanol nos cenários considerados. Quando se computam os efeitos induzidos (efeito renda), a região Sudeste também irá demandar uma complementação do sistema hidrotérmico nos cenários sem avanço tecnológico, fato que também ocorre na região Norte na simulação 7, que supõe a exportação de 205,00 bilhões de litros em 2025.

Chama a atenção que os excedentes são muito maiores nos cenários que contemplam evolução tecnológica, quando comparados àqueles sem a evolução. Isto é explicado porque no cenário "Tecnologia Progressiva" há um grande aumento das tecnologias que oferecem mais excedentes de eletricidade por tonelada de cana moída, como descrito logo após à Tabela 5.5-1.

Nota-se que os grandes excedentes encontram-se nas regiões Centro-Oeste e Nordeste. Portanto, para que possam ser aproveitados, é essencial que as destilarias instaladas na região estejam próximas às subestações, como apontado no Capítulo 3. Os excedentes líquidos em toda a economia são bastante reduzidos quando se comparam os efeitos totais com os efeitos diretos e indiretos, mostrando a importância de se abordar o efeito renda também no campo energético. Ainda assim, uma observação sobre os cenários com mudança tecnológica para 2025 (simulações 4 e 8), mostra que haveria um excedente líquido de 67,9 TWh para uma exportação de 104,55 bilhões de litros de etanol ao ano, e de 106,0 TWh se a exportação for de 205,00 bilhões. Estes valores contemplam os efeitos totais, e representam 18,1% e 28,3%, respectivamente, do consumo total de eletricidade do Brasil em 2005.

Finalmente, uma comparação dos impactos socioeconômicos das exportações de álcool foi feita em relação às exportações de produtos do refino do petróleo. Supôs-se uma situação com os mesmos parâmetros da simulação 4, entretanto, ao invés de se exportar 104,55 bilhões de litros de etanol distribuídos regionalmente como mostrado na Tabela 5.5-2, foi feito um choque exportando produtos do refino do petróleo com os mesmos valores monetários das exportações de etanol, concentrada totalmente na região Sudeste. Na Tabela 5.5-11 podem-se comparar os resultados.

Além do PIB setorial ser 18,2% superior, no caso das exportações de álcool, seriam gerados praticamente 2 milhões de empregos a mais, representando uma diferença da ordem de 60%. Em relação ao balanço de energia elétrica em toda a cadeia econômica, as exportações de álcool representariam um excedente líquido para a sociedade de 67,9 TWh, enquanto para atender as exportações de refino do petróleo haveria um déficit de 26,8 TWh, que deveria ser atendido pelo sistema hidrotérmico de potência.

Tabela 5.5-11: Comparação dos impactos socioeconômicos das exportações de 104,55 bilhões de litros de etanol com o equivalente monetário em produtos do refino do petróleo

Resultado agregado Brasil com os efeitos totais			
Item	PIB setorial (R\$ bilhão de 2005)	Empregos (milhão)	Eletricidade excedente (TWh)
Exportação de etanol	191,0	4,9	67,9
Exportação de refino do petróleo	161,6	3,1	-26,8
Vantagem do álcool	18,2%	58,1%	Sem comparação!

5.6 Recomendação de políticas públicas

A Tabela 5.6-1 mostra que a região Centro-Sul respondeu por 90% da produção de etanol do Brasil em 2005. Somente o estado de São Paulo tem participação de cerca de 62%. Deve-se notar que 87,1% da cana-de-açúcar foi colhida no Centro-Sul, como indicado na Tabela 5.6-2.

Tabela 5.6-1: Produção de etanol (2005) [bilhão de litros]

Norte-Nordeste	1,59	10,0%
Centro-Sul	14,34	90,0%
Brasil	15,94	100%

Tabela 5.6-2: Colheita de cana-de-açúcar (2005) [milhão de toneladas]

Norte-Nordeste	49,73	12,9%
Centro-Sul	336,86	87,1%
Brasil	386,58	100%

A Figura 4-1 (Capítulo 4 da Fase 1) apresenta um mapa recente da localização das unidades produtoras de açúcar e álcool no Brasil. Embora exista uma concentração de usinas na linha litorânea de Pernambuco e Alagoas, a produção na região Norte-Nordeste é pequena, como mostrado na Tabela 5.6-2, sugerindo a prevalência ali de empreendimentos de pequeno porte.

Cabe destacar também que os grupos empresariais com origem nos estados de Pernambuco e Alagoas já produzem no Centro-Sul – principalmente na região Centro-Oeste – o equivalente à cana-de-açúcar que colhem no Nordeste. Por outro lado, entre 1992 e 2003, 94% da expansão total na região Centro-Sul deu-se nas unidades existentes.

Em 2005, a distribuição das usinas era como exibido na Tabela 5.6-3.

Tabela 5.6-3: Usinas de açúcar e álcool no Brasil (2005)

Norte-Nordeste	126	36,5%
Centro-Sul	219	63,5%
Brasil	345	100%

A Tabela 5.6-4 mostra que se planeja construir 136 plantas de açúcar e álcool entre 2006 e 2014. A distribuição regional aparece na Tabela 5.6-5.

Tabela 5.6-4: Entrada em operação das unidades planejadas

2006	21
2007	25
2008-2014	90
Total	136

Tabela 5.6-5: Distribuição regional das unidades planejadas

Norte-Nordeste	17	12,5%
Centro-Sul	119	87,5%
Brasil	136	100%

A Figura 5.6-1, adaptada do Capítulo 4, exibe a localização de cerca de 50 usinas projetadas para a região Centro-Sul. É nítida a tendência de uma grande concentração no oeste de São Paulo e uma tendência de expansão dali para o norte, no sentido de Minas Gerais e Goiás.

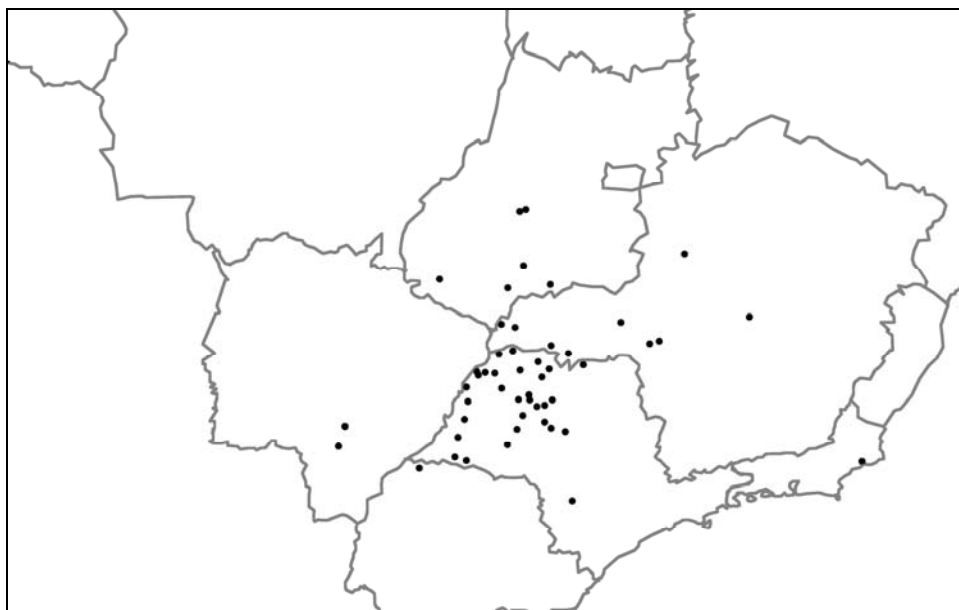


Figura 5.6-1: Localização de empreendimentos recentes na região Centro-Sul

Das Tabelas 5.6-3 e 5.6-5 vêm as taxas de crescimento, por região (Tabela 5.6-6).

Tabela 5.6-6: Taxas de crescimento

Norte-Nordeste	13,5%
Centro-Sul	54,3%
Brasil	39,4%

O quadro descrito acima mostra nitidamente que a já ampla concentração do setor sucro-alcooleiro na região Centro-Sul deve se intensificar ainda mais até 2014.

A tendência mostrada pela expansão recente da agroindústria da cana-de-açúcar contribui para aumentar as disparidades regionais de renda no Brasil, como será discutido abaixo. É importante identificar os principais determinantes para a localização das unidades produtoras de açúcar e álcool para, então, propor instrumentos de políticas públicas com o objetivo de influenciar o processo de expansão.

Existem quatro modos básicos de organização da atividade produtiva, chamados “mundos de produção” (STORPER e SALAIS, 1997)⁷, como mostrado na Figura 5.6-2 (adaptada de KLINK (2001)⁸).

No mundo industrial (4), prevalece a produção em grande escala de produtos homogêneos (*commodities*, por exemplo), caracterizando o chamado modelo tradicional fordista.

Já o mundo de produção flexível (2) representa um modelo pós-fordista, que busca a diferenciação do produto (economia de escopo), tendendo a organizar em agrupamentos (*clusters*), uma vez que promove uma intensa interação entre os atores envolvidos (produtores, fornecedores, consumidores finais, órgãos governamentais e não-governamentais, entre outros) na troca de informações e experiências, formando um “patrimônio relacional”. Exemplos frequentemente citados são o do Vale do Silício, na Califórnia, Terceira Itália e Vale dos Sinos, no Brasil (*cluster* do setor manufatureiro de calçados).

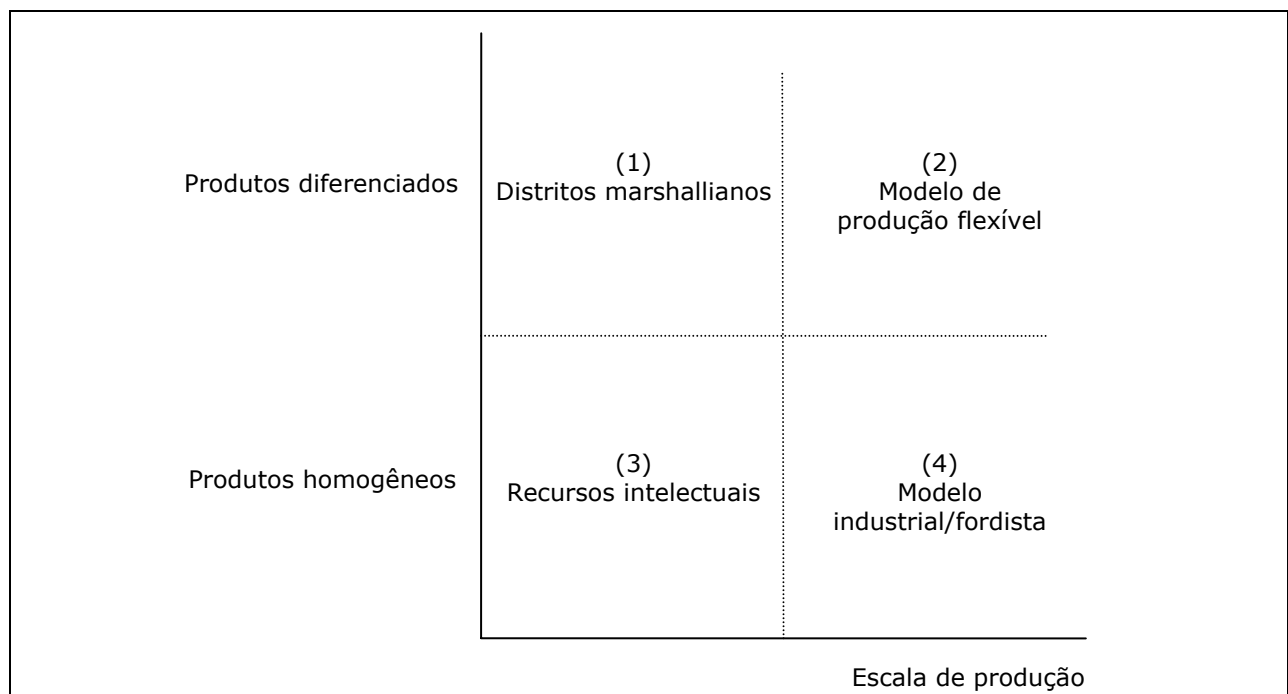


Figura 5.6-2: Os mundos de produção de Storper

⁷ STORPER, M., e SALAIS, R. *Worlds of production*. Harvard University Press, 1997.

⁸ KLINK, J. J. *A cidade-região: regionalismo e reestruturação no Grande ABC Paulista*. DP&A Editora, 2001.

O chamado mundo marshalliano (1) traduz-se na produção personalizada em pequenos lotes seguindo especificações de clientes. No início do século XX Marshall⁹ estudou aglomerações econômicas conhecidas como distritos industriais, que se formam em razão de promover uma grande disponibilidade de mão-de-obra qualificada, a formação de uma rede próxima entre produtores e fornecedores e, finalmente, a possibilidade de difusão tecnológica.

Finalmente, o mundo de produção intelectual (3) busca fornecer, em pequena escala, inovações que possam ser usadas posteriormente nos mundos industrial ou de flexibilidade. Ao constituírem um *milieu* inovador, as empresas podem se apropriar de sobrelucros schumpeterianos¹⁰, ao não terem de recorrer a estratégias, eventualmente predatórias, de redução de preços e custos.

Deve-se destacar que esses diferentes mundos podem coexistir de alguma maneira. Por exemplo, o Vale do Silício, na Califórnia, exhibe propriedades dos mundos de recursos intelectuais e de flexibilidade.

Cabe indagar a qual desses mundos pertence a agroindústria da cana-de-açúcar. Claramente a região de Ribeirão Preto, por exemplo, se caracteriza mais como um mundo industrial. Existem ali também tímidas tentativas de entrada no mundo de flexibilidade, de diferenciação de produtos e processos (economia de escopo) – um exemplo é o açúcar produzido por processos orgânicos. No futuro, a introdução da tecnologia para produção de álcool de bagaço irá permitir a entrada da região no mundo de recursos intelectuais, com o aparecimento de pequenas empresas que irão fornecer celulases, por exemplo.

Sem poder recorrer à diferenciação do produto, o mundo industrial baseia, essencialmente, suas estratégias de competitividade na redução de preços e custos. No caso do setor sucro-alcooleiro, existe tal estratégia em nível inter-regional (em relação aos produtores no Nordeste) e internacional (açúcar produzido na Austrália). As margens de lucro são baixas (não há sobrelucros), sendo que a lucratividade deriva do grande nível de produção. Assim, o mundo industrial tem de responder a inseguranças preparando projeções de mercado de curto e médio prazo – esse nicho de mercado na agroindústria da cana-de-açúcar é explorado por algumas consultorias, como a Datagro. As inter-relações na cadeia produtiva se dão no âmbito estritamente comercial, o que permite sua representação por modelos de insumo-produto. Devido à sua estrutura verticalizada, a administração do negócio tende a ser hierarquizada. Além de Ribeirão Preto, exemplos de mundos industriais incluem a região do ABC e o vale do Ruhr, na Alemanha.¹¹

⁹ Alfred Marshall (1842–1924), matemático e economista inglês, é considerado um dos mais influentes pensadores da escola neoclássica de economia.

¹⁰ Joseph A. Schumpeter (1883–1950), economista austríaco nascido na Morávia (hoje República Tcheca), introduziu o conceito do “empreendedor inovador”, que, ao criarem novos produtos ou processos, podem obter lucros acima do custo dos serviços de capital (sobrelucro). Outros empreendedores não-inovadores não tardam a imitar as inovações (difusão tecnológica), iniciando um ciclo de expansão econômica, que tende a se extinguir com a eliminação dos sobrelucros.

¹¹ As estratégias de competitividade nos outros mundos são bastante diferentes. Alguns pontos em comum são: preocupação com a diferenciação do produto, qualidade e aprendizagem; descentralização; confiança, parcerias e estreitos laços sociais na comunidade local; relações comerciais e não-comerciais; intensa cooperação e promoção de iniciativas conjuntas; e apropriação de sobrelucros.

KLINK (2001) pesquisou as estratégias de localização dos estabelecimentos industriais atuando no estado de São Paulo, usando a base de dados da RAIS e a PAEP da Fundação SEADE. Os resultados são muito interessantes. Os fatores que mais influenciaram na decisão de localização foram, pela ordem decrescente, infraestrutura urbana, proximidade de consumidores, qualidade de vida, acesso ao sistema de transporte e proximidade de fornecedores. Para 65% dos sujeitos entrevistados, a infraestrutura urbana é muito importante. Fatores como centros de pesquisa e difusão tecnológica (19%) (!), incentivos fiscais (20%) e qualificação da mão-de-obra (37%) pouco contribuíram para a decisão de localização. Segundo o autor:

Lembremos que teóricos como STORPER, dentro do arcabouço do novo regionalismo, enfatizam o surgimento de outros mundos de produção regional. Isso levaria à substituição do modelo industrial-fordista – estritamente baseado na estratégia de concorrência em termos de custos – por um conjunto alternativo de normas e convenções para a coordenação da atividade econômica. Se um arranjo desse tipo estivesse surgindo na região do ABC [os resultados para o estado de São Paulo são muito próximos], isso seria também refletido na própria estratégia de localização das empresas, aumentando a importância dos fatores como a existência de serviços técnicos de apoio, a presença de uma bacia de mão-de-obra qualificada e diversificada e de centros de pesquisa e de disseminação de conhecimento científico na região. Não encontramos evidência clara de que esses fatores storperianos desempenhassem um papel particularmente crucial na estratégia locacional das empresas, nem na região do Grande ABC nem no resto do estado de São Paulo. (KLINK, 2001: p. 135)

De fato, a indústria brasileira, em grande parte, parece se organizar ainda no rígido modelo tradicional fordista. Suas estratégias de localização buscam principalmente a minimização dos custos – salariais, fiscais e fundiários. Cabe lembrar que a manutenção de um ultrapassado mundo fordista contribuiu para o colapso de grandes centros industriais – no mundo todo (por exemplo, Pittsburgh, nos Estados Unidos, e Manchester, na Inglaterra) e também no Brasil (como a região do Grande ABC) –, levando ao surgimento de galpões vazios em áreas industriais degradadas (imagem associada aos chamados *brownfields* e *rustbelts*), com crescimento acentuado da exclusão social e pobreza urbana.

Como explorar, então, essas idéias na formulação de políticas públicas para a agroindústria da cana-de-açúcar?

Autores como STORPER fazem basicamente três recomendações de caráter geral: (i) as políticas públicas devem sempre procurar estimular as parcerias privada-privadas, buscando a criação de redes de cooperação entre empresas, fornecedores e consumidores finais; (ii) é importante também promover parcerias público-privadas, quando externalidades econômicas estiverem presentes (por exemplo, o estabelecimento de uma primeira usina de açúcar e álcool em uma determinada região traz a necessidade de grandes investimentos externos à planta e pode haver o receio que parte dos benefícios gerados sejam eventualmente capturados sem custo por empreendedores oportunistas); (iii) finalmente, é essencial se construir laços de confiança através da interação entre os diversos atores envolvidos – que incluem as lideranças governamentais, empresariais e sociais. Um instrumento para tal é mapear as posições e aspirações existentes, para servirem de subsídios para as chamadas ações de responsabilidade social – construção de escolas, postos de atendimento de saúde e até infra-estrutura urbana (como parques públicos de lazer e estádios de futebol) (KLINK, 2001).

Em resumo, iniciativas simples como as discutidas acima podem ser capazes de iniciar significativas transformações socioeconômicas que podem não ser obtidas através de ações tradicionais baseadas, por exemplo, em grandes investimentos na implementação de agências governamentais para a promoção do desenvolvimento. A formação de capital relacional pode ser mais importante que a criação de instituições burocráticas.

Para o já estabelecido setor de açúcar e álcool no estado de São Paulo e em outras partes do Centro-Sul, as políticas públicas deveriam buscar emprestar algumas características dos mundos de produção flexível e de recursos intelectuais ao atual arranjo industrial-fordista. De certa forma isso já ocorre, como, por exemplo, na estreita rede de cooperação técnica existente entre unidades produtoras e a indústria de bens de capital.

Em particular, o mundo de recursos intelectuais poderia ter importante papel no desenvolvimento de tecnologias para a produção do álcool de bagaço. Entretanto, observa-se que não existe ainda um ambiente de confiança entre instituições de pesquisa e a indústria no Brasil. Recentemente, em um evento organizado por uma tradicional universidade pública de São Paulo, um conhecido representante da indústria automobilística mencionou – para a surpresa de muitos ali presentes – que não havia pesquisas no Brasil para o desenvolvimento de células de combustível com a reforma do etanol. Quando abordado com a informação que tais pesquisas eram realizadas na Unicamp há pelo menos 20 anos, ele se limitou a dizer que o trabalho não era importante e que a indústria automobilística iria buscar soluções de fora no momento de implementar a inovação em veículos produzidos no Brasil. Novamente, é preciso investir em capital relacional para assistir ao diálogo dos mundos industrial-fordista (literal no exemplo dado) e o de recursos intelectuais.

Já as políticas públicas para influenciar a expansão da agroindústria da cana-de-açúcar devem, obviamente, seguir objetivos socioeconômicos – como a correção das desigualdades regionais – sem, no entanto, ignorar os fatores de localização mencionados anteriormente: infra-estrutura urbana, proximidade de fornecedores e consumidores, qualidade de vida e acesso ao sistema de transporte. Assim, devem ser priorizados em um primeiro momento municípios dentro de um raio de até 100 km de centros urbanos desenvolvidos. E as unidades industriais devem, dentro dos limites regulatórios, investir nas chamadas ações de responsabilidade social, como as discutidos por BARBOSA (2005)¹². Tais ações irão contribuir para a formação de um capital relacional importante para o desenvolvimento regional. É interessante citar o depoimento de uma profissional que participou diretamente na instalação de uma unidade industrial de uma montadora francesa no interior do estado do Rio de Janeiro. Por se tratar de um município pequeno, a empresa teve de cooptar profissionais especializados em outros centros do país; porém, muitos desses técnicos, frustrados com a precária infra-estrutura urbana existente, preferiram retornar depois a suas cidades de origem, pondo em risco a própria sustentabilidade do empreendimento.

Para o mundo industrial-fordista, a redução de custos constitui elemento principal em suas estratégias competitivas; assim, a disponibilidade nas proximidades de infra-estrutura de transporte pode se revelar um determinante fator de localização. Portanto, investir na construção de alcoodutos pode ser uma alternativa interessante. Mas sempre lembrando que investimentos em capital físico podem ser necessários, mas dificilmente se constituirão uma condição suficiente para o desenvolvimento regional. Da Índia vem o exemplo clássico da construção de uma ferrovia que se supunha iria iniciar o desenvolvimento de uma província distante; construído o caminho-de-ferro, porém, se percebeu que pouca coisa era transportada. A razão era muito simples: não havia renda suficiente localmente para que o comércio com outras regiões pudesse se firmar – talvez um modelo econômico pudesse ter antecipado isso. Dessa experiência resultaram os primeiros programas de assistência de renda no mundo.

Mesmo sendo possíveis as condições para a instalação de um *cluster* de destilarias em regiões mais distantes do Sudeste, os resultados da análise de impactos socioeconômicos revelam que metas de redução de disparidades regionais podem não se cumprir como desejado. A estrutura econômica inter-regional no Brasil é perversa, como será visto a seguir.

As Tabelas 5.6-7, 5.6-8 e 5.6-9 mostram os impactos totais (efeitos direto, indireto e induzido) no pessoal ocupado (empregos formais e informais), valor adicionado (produto regional bruto) setorial e oferta excedente de eletricidade, respectivamente, nas regiões Norte-Nordeste e Centro-Sul, resultantes da instalação de uma destilaria que processa um milhão de toneladas de cana-de-açúcar instalada alternativamente nas regiões Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul do Brasil.

¹² BARBOSA, M. L. "Responsabilidade social e benefícios". In: MACEDO, I. C. (org.), *A energia da cana-de-açúcar*. Unica, 2005.

É importante observar na Tabela 5.6-7 que uma destilaria instalada no Nordeste irá trazer mais empregos na região Centro-Sul (!). Já destilarias construídas no Centro-Sul deixam vaziar poucos postos de trabalho para a região Norte-Nordeste. De qualquer forma, obviamente, os efeitos sobre o emprego no Norte-Nordeste são maiores se a destilaria estiver localizada na própria região.

Tabela 5.6-7: Impactos totais no pessoal ocupado [%]

	<i>Norte-Nordeste</i>	<i>Centro-Sul</i>
Norte	48,3%	51,7%
Nordeste	46,0%	54,0%
Centro-Oeste	19,4%	80,6%
Sudeste	19,5%	80,5%
Sul	17,9%	82,1%

A Tabela 5.6-8 indica que os vazamentos de renda seriam menores. Mesmo assim, a região Centro-Sul sempre irá se beneficiar muito de empreendimentos localizados no Norte e Nordeste.

Tabela 5.6-8: Impactos totais no valor adicionado setorial [%]

	<i>Norte-Nordeste</i>	<i>Centro-Sul</i>
Norte	63,5%	36,5%
Nordeste	58,1%	41,9%
Centro-Oeste	8,2%	91,8%
Sudeste	7,1%	92,9%
Sul	6,7%	93,3%

A queima do bagaço em caldeiras permite às usinas de açúcar e álcool obter toda a energia – térmica, mecânica e elétrica – requerida pelos processos industriais. Contudo, caldeiras mais eficientes (de no mínimo 60 bar) são necessárias para que se possam gerar sobras de eletricidade. Poucas plantas no Brasil são capazes de gerar eletricidade excedente atualmente, pois é comum usar-se caldeiras de baixa pressão nominal (cerca de 20 bar). Porém, a produção de açúcar e álcool tem impactos nas necessidades de energia em todas as regiões, como exibido na Tabela 5.6-9. A Tabela 5.6-9 resume, em última instância, os efeitos inter-regionais sobre emprego e renda na oferta e demanda de energia elétrica. Por exemplo, uma destilaria com capacidade de um milhão de toneladas de cana-de-açúcar operando no Nordeste terá como efeito um aumento de 13,7 GWh nas necessidades de eletricidade no Centro-Sul, o que irá exigir investimentos ali na geração de energia.

Tabela 5.6-9: Impactos totais na oferta excedente de eletricidade [GWh]

	<i>Norte-Nordeste</i>	<i>Centro-Sul</i>	<i>Brasil</i>
Norte	37,3	-12,4	24,9
Nordeste	37,0	-13,7	23,3
Centro-Oeste	-4,6	27,9	23,2
Sudeste	-4,6	28,3	23,7
Sul	-4,0	26,8	22,8

Como uma recomendação de política pública, seria importante dar ao setor sucro-alcooleiro incentivos para produzir eletricidade excedente de bagaço, evitando, assim, os custos sociais, econômicos e ambientais decorrentes do uso de fontes não-renováveis de energia.

Acredita-se que a produção de álcool de bagaço por processo de hidrólise será viável economicamente em cerca de cinco anos. Vai haver então a competição da eletricidade e do etanol pelo bagaço. Porém, resultados preliminares indicam que será mais vantajoso usar o bagaço para produzir álcool. Instrumentos de política deverão ser introduzidos então para dar suporte à geração de eletricidade de bagaço – por exemplo, as usinas de açúcar e álcool poderiam receber, na forma de subsídio, um pagamento pela palha recolhida do campo, que seria usado como combustível nas caldeiras (tal incentivo já é usado em alguns países para outras formas de biomassa).

Concluindo, é recomendável que a expansão do setor sucro-alcooleiro seja conduzida de forma a se dar de forma mais equilibrada, em todas as regiões do país, para atenuar os impactos socioeconômicos inter-regionais desiguais, como mostrado acima.

APÊNDICE A – CLASSIFICAÇÃO PADRÃO DE SETORES DO IBGE

<i>Código</i>	<i>Descrição</i>
1	Agropecuária
2	Extrativa mineral
3	Extração de petróleo e gás
4	Minerais não-metálicos
5	Siderurgia
6	Metalurgia – não-ferrosos
7	Outros metalúrgicos
8	Máquinas e tratores
10 (*)	Material elétrico
11	Equipamentos eletrônicos
12	Automóveis, caminhões e ônibus
13	Outros veículos e peças
14	Madeira e mobiliário
15	Papel e gráfica
16	Indústria da borracha
17	Elementos químicos
18	Refino do petróleo
19	Químicos diversos
20	Farmacêutica e de perfumaria
21	Artigos de plástico
22	Indústria têxtil
23	Artigos do vestuário
24	Fabricação de calçados
25	Indústria do café
26	Beneficiamento de produtos vegetais
27	Abate de animais
28	Indústria de laticínios
29	Indústria de açúcar
30	Fabricação de óleos vegetais
31	Outros produtos alimentares
32	Indústria – diversas
33	Serviços industriais de utilidade pública (SIUP)
34	Construção civil
35	Comércio
36	Transportes
37	Comunicações
38	Instituições financeiras
39	Serviços prestados às famílias
40	Serviços prestados às empresas
41	Aluguel de imóveis
42	Administração pública
43	Serviços privados não-mercantis

(*) O setor 9 não existe.

APÊNDICE B – CLASSIFICAÇÃO PADRÃO DE PRODUTOS DO IBGE (CNAE/80)

<i>Código</i>	<i>Descrição</i>	<i>Código</i>	<i>Descrição</i>
0101	Café em coco	2001	Produtos farmacêuticos e de perfumaria
0102	Cana-de-açúcar	2101	Artigos de plástico
0103	Arroz em casca	2201	Fios têxteis naturais
0104	Trigo em grão	2202	Tecidos naturais
0105	Soja em grão	2203	Fios têxteis artificiais
0106	Algodão em caroço	2204	Tecidos artificiais
0107	Milho em grão	2205	Outros produtos têxteis
0108	Bovinos e suínos	2301	Artigos do vestuário
0109	Leite natural	2401	Produtos de couro e calçados
0110	Aves vivas	2501	Produtos do café
0199	Outros produtos agropecuários	2601	Arroz beneficiado
0201	Minério de ferro	2602	Farinha de trigo
0202	Outros minerais	2603	Outros produtos vegetais beneficiados
0301	Petróleo e gás	2701	Carne bovina
0302	Carvão e outros	2702	Carne de aves abatidas
0401	Produtos minerais não-metálicos	2801	Leite beneficiado
0501	Produtos siderúrgicos básicos	2802	Outros laticínios
0502	Laminados de aço	2901	Açúcar
0601	Produtos metalúrgicos não-ferrosos	3001	Óleos vegetais em bruto
0701	Outros produtos metalúrgicos	3002	Óleos vegetais refinados
0801	Fabricação e manutenção de máquinas e equipamentos	3101	Outros produtos alimentícios e rações
0802	Tratores e máquinas de terraplanagem	3102	Bebidas
1001	Material elétrico	3201	Produtos diversos
1101	Equipamentos eletrônicos	3301	Serviços industriais de utilidade pública
1201	Automóveis, caminhões e ônibus	3401	Produtos da construção civil
1301	Outros veículos e peças	3501	Margem de comércio
1401	Madeira e mobiliário	3601	Margem de transporte
1501	Papel, celulose, papelão e artefatos	3701	Comunicações
1601	Produtos derivados da borracha	3801	Seguros
1701	Elementos químicos não-petroquímicos	3802	Serviços financeiros
1702	Álcool de cana e de cereais	3901	Alojamento e alimentação
1801	Gasolina pura	3902	Outros serviços
1802	Óleos combustíveis	3903	Saúde e educação mercantis
1803	Outros produtos do refino	4001	Serviços prestados às empresas

1804	Produtos petroquímicos básicos	4101	Aluguel de imóveis
1805	Resinas	4102	Aluguel imputado
1806	Gasoálcool	4201	Administração pública
1901	Adubos	4202	Saúde pública
1902	Tintas	4203	Educação pública
1903	Outros produtos químicos	4301	Serviços privados não-mercantis

APÊNDICE C – CORRESPONDÊNCIA SETORIAL

<i>Agregação em 14 setores</i>	<i>Agregação em 50 setores</i>
Cana-de-açúcar	Cana-de-açúcar
Resto da agropecuária	Arroz em casca; resto da agropecuária
Açúcar	Açúcar
Álcool	Álcool
Eletricidade	Geração de eletricidade; transmissão e distribuição de eletricidade
Extrativa mineral	Extrativa mineral
Siderurgia, mineração e metalurgia	Siderurgia; minerais não-metálicos; metalurgia não-ferrosos; outros da metalurgia
Máquinas, veículos e peças	Máquinas e tratores; automóveis, caminhões e ônibus; outros veículos e peças
Petróleo e gás	Extração de petróleo e gás; refino do petróleo
Setor químico	Elementos químicos não-petroquímicos; químicos diversos; farmacêutica e perfumaria
Alimentos	Indústria do café; beneficiamento de arroz; beneficiamento de outros produtos vegetais; abate de animais; indústria de laticínios; fabricação de óleos vegetais; outros produtos alimentares
Construção civil	Construção civil
Resto da transformação	Material elétrico; equipamentos eletrônicos; indústria da madeira; mobiliário; papel e gráfica; indústria da borracha; artigos de plástico; indústria têxtil; artigos do vestuário; fabricação de calçados; indústrias diversas; saneamento básico
Comércio e serviços	Gasoálcool; resto do comércio; transportes; comunicações; instituições financeiras; serviços prestados às famílias; serviços prestados às empresas; aluguel de imóveis; administração pública; serviços privados não-mercantis

APÊNDICE D – COEFICIENTES TÉCNICOS DIRETOS (2002)

<i>Código</i>	<i>Descrição</i>	<i>CM</i> (*)	<i>CE</i> (*)	<i>DA</i> (*)	<i>DS</i> (*)	<i>EB</i> (*)
1	Cana-de-açúcar	0,0651	0,0695	0,3956	0,4608	0,0000
2	Resto da agropecuária	0,0141	0,0124	0,0000	0,0000	0,0000
3	Açúcar	0,0000	0,0000	0,0701	0,0000	0,0000
4	Álcool	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
5	Eletricidade	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
6	Extrativa mineral	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
7	Siderurgia, mineração e metalurgia	0,0057	0,0051	0,0000	0,0000	0,0008
8	Máquinas, veículos e peças	0,0133	0,0328	0,0274	0,0261	0,0529
9	Petróleo e gás	0,1588	0,1880	0,0036	0,0040	0,0000
10	Setor químico	0,1107	0,0962	0,0178	0,0255	0,0567
11	Alimentos	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
12	Construção civil	0,0000	0,0000	0,0023	0,0023	0,0000
13	Resto da transformação	0,0063	0,0062	0,0104	0,0102	0,0182
14	Comércio e serviços	0,0988	0,1591	0,0717	0,0707	0,0127
	Importação	0,0261	0,0228	0,0038	0,0038	0,0000
	Impostos indiretos líquidos	0,0239	0,0239	0,0043	0,0043	0,0336
	Mão-de-obra	0,2905	0,0835	0,0462	0,0462	0,1226
	Serviços de capital	0,1866	0,3005	0,3069	0,3060	0,9764
	Impostos diretos	0,0000	0,0000	0,0400	0,0400	-0,2739
	Pessoal ocupado [1/R\$1.000]	0,0622	0,0103	0,0030	0,0021	0,0035

(*) CM: colheita manual; CE: colheita mecanizada;
 DA: destilaria anexa; DS: destilaria autônoma;
 EB: eletricidade de bagaço.

6. PROJEÇÃO DAS MELHORIAS DE PRODUTIVIDADE E EFICIÊNCIA NO PERÍODO 2005-2025 E SUA INSERÇÃO NO CENÁRIO DE CRESCIMENTO DA PRODUÇÃO DE ETANOL

Este capítulo apresenta a evolução tecnológica, no período de 2005 -2025, considerando a melhoria das tecnologias já existentes. Desta forma, foram quantificados os impactos no período proposto e apresentados com o podem ser inseridas de acordo com o crescimento da produção de etanol. Um estudo detalhado do excedente de geração de energia elétrica completa o cenário aqui proposto. Uma evolução significativa que pode vir a ocorrer neste período, dar-se-á em função da obtenção de outros produtos da cana. Alguns desses produtos também são apresentados neste capítulo, incluindo sua situação tecnológica atual, seus impactos e desafios e custos envolvidos. Em uma visão mais geral, propõe-se uma usina modelo, utilizando a melhoria da tecnologia atual. Um exercício que poderia vir a ser realizado, em uma etapa futura, seria a integração das melhorias da tecnologia convencional com as novas tecnologias, incluindo, neste mesmo cenário, a produção de novos produtos da cana.

6.1 Seleção e quantificação dos impactos das melhorias nas tecnologias em uso atualmente

As principais tecnologias atualmente em uso, com impacto na produtividade, e as áreas ocupadas pela cana-de-açúcar envolvem o melhoramento, a mecanização e gerenciamento agrônomo; seus impactos podem ser resumidos como segue:

a) Melhoramento

As técnicas convencionais de melhoramento tendem a produzir aumentos lentos de produtividade, mesmo que programas extensivos sejam implantados nas áreas de expansão. Nesse caso a tendência de crescimento histórica pode ser esperada num horizonte de 20 anos e as áreas de expansão serão as previstas no estudo, com reduções da ordem de 20 %.

b) Mecanização

O sistema de mecanização utilizado atualmente, baseado em tratores de bitola estreita e colhedoras com capacidade de corte de apenas uma linha, apresenta um potencial de evolução restrito. Essa evolução deve incluir pequenos alargamentos da bitola dos tratores convencionais e aumento da largura de corte das colhedoras de cana picada, passando a cortar duas linhas simultaneamente. Essas modestas evoluções, mesmo que combinadas com a colheita de cana crua, não serão suficientes para viabilizar o plantio direto e com isso fica eliminada a possibilidade de ganhos de produtividade associados a uma maior disponibilidade de água no solo.

c) Tecnologia da informação

As usinas que atualmente conseguem as melhores produtividades dispõem de equipes técnicas próprias ou assessorias com larga experiência acumulada durante um período longo de observação e análise, através do qual conseguem um manejo de variedades, adubação e tratamentos culturais mais aprimorados ou próximos de uma condição otimizada. A extensão desse modelo às diversas áreas de expansão da cana-de-açúcar não parece viável e conseqüentemente pode-se antecipar um quadro de grande variabilidade nas produtividades obtidas nas diversas regiões produtoras do país, nos moldes do que acontece atualmente.

6.2 Inserção das melhorias no cenário de crescimento de produção

A expansão da produção de etanol e a implantação de novas destilarias exigem que as mesmas sejam projetadas para atingir alta eficiência de conversão dos açúcares redutores totais extraiáveis da cana. Também é necessário que as unidades não apresentem deficiências em equipamentos e na incorporação de tecnologia de ponta. Ênfase deve ser dada à correção ou redução de práticas inadequadas do ponto de vista ambiental. Esta transição de aumento da produção deve ser acompanhada de uma reformulação das unidades, focadas também na redução de emissão de efluentes, sólidos líquidos e gasosos, e no uso racional e sustentável dos recursos naturais: terra e água.

Os valores médios das eficiências de conversão, de uma amostra representativa de unidades localizadas na região Centro-Sul, que atendem a boas práticas de fabricação e estão instaladas sem deficiências de equipamentos, representam uma referência para estabelecer a eficiência atual das destilarias de etanol.

A Tabela 6.2-1 apresenta os valores médios de alguns parâmetros que caracterizam a produção de etanol. Os valores correspondem a registros do Programa de Controle e Mútuo (Safrá 2005-2006), gerido pelo Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), que cedeu as informações aqui apresentadas.

A natureza das perdas de ART pode ser analisada através dos dados da Tabela 6.2-1. As perdas mais importantes e que merecem mais atenção estão associadas à extração (26,38%) e à fermentação (36,56%). Quanto às perdas indeterminadas é necessário fazer a ressalva que os dados aqui apresentados provêm de usinas com destilaria anexa, nas quais um valor próximo de 60% da cana moída é direcionada à fabricação de açúcar. Como o processo de fabricação de açúcar envolve um maior número de operações (concentração do caldo a xarope, cristalizações sucessivas, separação dos cristais, etc.) quando comparado a uma destilaria autônoma, as perdas indeterminadas (assim denominadas pela incerteza na identificação das fontes) serão comparativamente menores.

Tabela 6.2-1: Perdas de ART no processo de produção do etanol

Natureza das perdas de ART	Valor atual (%)	Contribuição (%)
Perda na lavagem de cana	0,47	3,32
Perda na extração	3,73	26,38
Perda na torta	0,54	3,82
Perda na fermentação	5,17	36,56
Perda na destilação (devido à vinhaça)	0,18	1,27
Perdas indeterminadas	4,05	28,64
Total 1	4,14	

Nos relatórios anteriores (Fase 1 e parcial da Fase 2), apresentou-se as inovações tecnológicas que a destilaria deve incorporar para atingir a excelência, no que diz respeito à conversão dos açúcares extraíveis da cana em etanol.

Este relatório apresenta um modelo para incorporação destas mudanças tecnológicas de uma forma gradativa. No mesmo são apresentados três cenários, traçados sobre a destilaria padrão, como abordada na Fase 1, com uma moagem diária de 12.000 toneladas de cana por dia:

- A destilaria de etanol de cana-de-açúcar empregando a tecnologia atual, porém otimizada, no limite atingível desta tecnologia;
- A unidade padrão incorporando uma série de inovações e melhorias que deverão ser adotadas até 2015;
- A destilaria padrão com uma nova incorporação de melhorias que deverão acontecer até 2025.

As mudanças tecnológicas que se considera aqui tratam de tecnologias provadas, que estão disponíveis e não são adotadas por diversos motivos, tais como:

- Serem intensivas em recursos de capital;
- Não existirem atrativos à implantação pela baixa margem de contribuição que oferecem na situação atual;
- A legislação ambiental não exigir, ainda, adequação das práticas operacionais;
- Falta de incentivos governamentais para promover as inovações;
- Decisão empresarial do setor sucroalcooleiro que prioriza recursos para melhoramento de variedades de cana e operações agrícolas em detrimento da eficiência industrial.

Nesta análise da incorporação de tecnologias para o melhoramento do desempenho industrial, tomou-se o rendimento agrícola como os valores médios fixados no estabelecimento das bases da destilaria padrão. Isto permite visualizar o impacto da introdução das melhorias tecnológicas na destilaria. Os aumentos dos rendimentos agrícolas são aplicáveis proporcionalmente.

Um resumo dos estudos de melhoramento das tecnologias envolvidas com a produção de etanol, realizado em trabalhos anteriores apresentados ao CGEE, são apresentados em seqüência.

A lavagem de cana será eliminada, sendo substituída por procedimentos de limpeza a seco. O resultado desta ação será a extinção das perdas de açúcar associadas a esta lavagem.

Os processos de preparo e extração serão aprimorados para passar das eficiências de extração atuais, gradativamente, a 98%. Esta meta será atingida através do aprimoramento dos conjuntos de moagem e pela introdução dos difusores com maior potencial de extração. Também, alternativa ainda em estágio de desenvolvimento, a extração hidrodinâmica poderá estar disponível no futuro. Neste estudo de cenários ela não foi considerada, pois o estágio atual de desenvolvimento em que se encontra não permite afirmar que irá se consolidar como alternativa à moenda e ao difusor.

A fermentação alcoólica, sobre a qual pesam as maiores perdas, terá que passar por mudanças radicais, a fim de reverter o quadro de eficiência desfavorável. As mudanças na fermentação alcoólica, que aqui foram consideradas, não são de substituição da tecnologia atual (fermentação considerada em batelada alimentada ou contínua em múltiplos estágios, ambas com reciclo de levedura) e sim, o aprimoramento da tecnologia existente, a qual permite uma eficiência de conversão de até 91,5%. Estas mudanças podem ser resumidas nas seguintes ações:

- Reformulação do processo de tratamento de caldo e preparo de mosto para remoção de matéria em suspensão e esterilização do mosto;
- Introdução da dupla centrifugação para a eliminação de microorganismos contaminantes;
- Otimização dos sistemas de resfriamento para redução da temperatura de fermentação (dos atuais 34-35°C para no mínimo 30°C)
- Operação com alto grau alcoólico final (no mínimo até 12-13°GL), com redução do volume de vinhoto e do consumo energético na destilação;
- Reativação do fermento que permita estabilidade operacional;
- Fermentação com linhagens selecionadas de levedura;
- Eliminação do emprego do ácido sulfúrico;
- Banimento do emprego de antibióticos;
- Introdução de monitoramento através de sensores e automação do processo.

Não considerou-se neste estudo de cenários a introdução de novas tecnologias de fermentação, pois no estágio de desenvolvimento em que se encontram, não é possível fazer uma previsão tecnológica de que elas estarão disponíveis nas datas dos cenários considerados.

Isto não significa que alguns dos processos propostos como: emprego de leveduras flocculantes, fermentação a vácuo, fermentação extrativa, processos com leveduras imobilizadas em suportes não tenham potencial para superar e substituir os processos existentes. Estas propostas estão ainda em fase de desenvolvimento em laboratório e ainda não foram provadas num grau de maturidade que permita arriscar previsões tecnológicas sobre seu possível emprego industrial.

Quanto aos processos de destilação em uso, a tecnologia empregada por nas destilarias é um projeto antigo, desenvolvido para produção de álcool etílico industrial a partir de melão, operando com baixo grau de automação, aparelhos de porte pequeno que exigem multiplicidade de unidades para atender a capacidade da destilaria padrão. Os sistemas em operação têm limitações para redução do consumo energético. A maioria das unidades empregam a desidratação por destilação azeotrópica com ciclohexano num único estágio. Algumas unidades estão começando a ampliar sua capacidade através de incorporação do processo de destilação extrativa com mono-etileno-glicol e algumas poucas empregam a absorção em peneiras moleculares.

A reformulação da destilação é crítica para redução do consumo de vapor de processo e para disponibilizar vapor de processo para pré-concentração do caldo, necessária para operar a fermentação em alto grau alcolico. A substituição por aparelhos maiores (1.000.000 litros por dia) e completamente automatizados para reduzir perdas de etanol junto ao vinho deverá ser introduzida.

Os processos por destilação e retificação em múltiplos efeitos permitem uma redução do consumo de vapor de processo e da demanda de água de resfriamento.

Da mesma forma a desidratação através de alternativas como a destilação extrativa com mono-etileno-glicol, peneiras moleculares e destilação extrativa com ciclohexano em múltiplos efeitos se traduzem em redução significativa do consumo de vapor de processo.

Esta redução do consumo de vapor se torna determinante para geração de excedentes de bagaço e de energia elétrica, também para viabilizar a operação de processos de concentração térmica de vinho, considerando que a introdução dos mesmos será necessária para reduzir volume de efluentes e a captação de água para o processo, além do fato de que não é possível prever a disponibilidade de tecnologia para concentração de vinho por membranas. Completando as alternativas de desidratação com baixa demanda de vapor pode-se fazer uma previsão da entrada dos processos de desidratação por per-vaporação através de membranas. Estes processos já se provaram eficientes e de baixo consumo energético, ficando limitado seu uso pelo custo elevado das membranas. A evolução rápida da tecnologia de membranas, bem como os estudos consultados sobre a tecnologia de per-vaporação, conduzem a expectativa de que entre o primeiro e segundo cenário proposto esta tecnologia estará disponível.

A Tabela 6.2-2 apresenta o desempenho dos processos de destilação retificação, convencional e em dois e três efeitos, no referente ao consumo de vapor e energia elétrica por litro de etanol final, assim como para as alternativas de desidratação a etanol anidro carburante.

Tabela 6.2-2: Comparação dos consumos energéticos para diversas tecnologias de desidratação

Tecnologia empregada	Consumo de vapor kg/m ³ de AEHC	Consumo de energia elétrica kwh/m ³ de AEAC	Energia primária total kcal/m ³ de AEAC	
Destilação com ciclohexano convencional	1750	-	1272,5	Vapor de escape
Destilação com ciclohexano otimizada	1450	-	1062,5	Vapor de escape
Destilação com ciclohexano a 3 efeitos	580 23		435,5	Vácuo, vapor de escape e vapor de baixa pressão
Absorção com MEG	750	15	572,5	Vapor a 10 kg/cm ²
Pervaporação 110		34,5	124,5	Vapor de escape e vácuo
Peneiras moleculares	550 19		432,5	Vapor a 10 kg/cm ² e vácuo

A Tabela 6.2-2 compara o desempenho dos processos de desidratação para obtenção de AEHC, levando em conta consumo de vapor, de energia elétrica e de energia total empregada.

O processo de destilação azeotrópica, empregando ciclohexano como agente ternário quando aplicado na forma convencional é o mais desfavorável desde o ponto de vista energético. Uma primeira otimização do mesmo aumentando o número de estágios na coluna de desidratação e na regeneradora da fase rica em água reduzem este consumo, porém ainda ele se mostra desfavorável quando comparado aos outros processos. Já uma reformulação do mesmo através da operação em múltiplos estágios, empregando três níveis de pressão (média, atmosférico e vácuo) coloca este processo numa condição muito favorável com consumos de energia equivalente ao das peneiras molecular e mais vantajoso que a destilação extensiva com mono-etileno-glicol.

Desde o ponto de vista de consumo energético o processo mais eficiente é o de per-vaporação.

Esta análise leva em conta unicamente os consumos totais de energia, falando à incidência do investimento por m³ de AEHC, para concluir qual é o processo que oferece melhor relação custo/benefício.

Outros fatores devem ser levados em consideração tais como:

- As peneiras moleculares produzem o etanol anidro de maior pureza e sem contaminantes;
- A possibilidade de empregar destilação azeotrópica em múltiplos efeitos se torna viável para destilarias de grande porte como é o caso da destilaria padrão (1.000.000 litros/dia), apresentando consumo energético da mesma magnitude do MEG e as Peneiras Moleculares;
- A destilação com ciclohexano e absorção com MEG deixam resíduos de compostos químicos no AEAC, o ciclohexano é tóxico e resíduos do MEG encontrados no AEAC têm sido apontados como perigosos;
- O processo de destilação extrativa pode ser otimizado com redução do consumo energético;
- As peneiras moleculares também são passíveis de otimização;
- O processo de destilação azeotrópica poderia ser reformulado para substituição do ciclohexano por parafinas cujo residual ficaria incorporado ao AEAC.
- A per-vaporação é a tecnologia mais eficiente desde o ponto de vista do consumo energético, o AEAC obtido é de alta pureza. Sendo a mais recente das tecnologias (encontra-se em estágio de demonstração) justifica-se um estudo mais detalhado da mesma.

A inserção das novas tecnologias acima descritas na destilaria padrão irá se dar de uma forma gradativa, primeiro incorporando melhorias de eficiência nas unidades existentes e, em seqüência, reformulando o projeto das novas unidades que irão ser implantadas.

A Tabela 6.2-3 apresenta os parâmetros de desempenho através dos quais pode ser caracterizada a destilaria padrão, tomando como base valores típicos da região Centro-Sul. Nesta condição é possível recuperar 85 litros de AEAC por tonelada de cana. Nesta tabela e nos estudos comparativos do impacto de introdução de novas tecnologias fixou-se o rendimento agrícola, a riqueza em açúcares redutores totais e o teor de fibra na cana. Estudos futuros introduzindo uma projeção da evolução destes parâmetros poderão levar a ganhos incrementais no rendimento industrial.

Tabela 6.2-3: Destilaria padrão, desempenho conforme a tecnologia industrial praticada

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)	11.976
Rendimento industrial (litros etanol /tonelada de cana)	85
Produção diária (litros)	1.017.964
Produção safra/usina (litros)	170.000.000
Área agrícola da Destilaria (ha)	35.000
ART na cana posta na Usina (kg/ tonelada de cana)	159
Fibra na cana posta na Usina (kg/ tonelada de cana)	140
Bagaço total em cana (kg/ tonelada de cana)	280
Eficiência na extração (%)	96
Eficiência no tratamento do caldo (%)	97
Rendimento na fermentação (%)	89,26
Rendimento na destilação (%)	99
Rendimento global (%)	82,29

Uma otimização deste processo melhorando fundamentalmente o desempenho da extração e da fermentação, já colocado em prática por algumas destilarias de ponta, permite um ganho para 88 litros de AEAC por tonelada de cana, referidos novamente a um rendimento agrícola de 71 toneladas de cana por hectare. Este ganho é obtido fundamentalmente por uma pequena melhora na eficiência de extração e de fermentação. Estes resultados são apresentados na Tabela 6.2-4.

Tabela 6.2-4: Destilaria padrão, desempenho conforme a tecnologia industrial praticada otimizada

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)	11.976
Rendimento industrial (litros etanol /tonelada de cana)	88
Produção diária (litros)	1.057.234
Produção safra/usina (litros)	176.558.050
Área agrícola da Destilaria (ha)	35.000
ART na cana posta na Usina (kg/ tonelada de cana)	159
Fibra na cana posta na Usina (kg/ tonelada de cana)	140
Bagaço total em cana (kg/ tonelada de cana)	280
Eficiência na extração (%)	96,3
Eficiência no tratamento do caldo (%)	99,5
Rendimento na fermentação (%)	89,7
Rendimento na destilação (%)	99,5
Rendimento global (%)	85,50

O estudo apresentado fixa a produtividade agrícola em 71 toneladas por hectare. Com o objetivo de examinar os impactos da produtividade agrícola sobre estes ganhos de eficiência, foi tomada como referência a destilaria atual otimizada e recalculada a produção de etanol para as produtividades agrícolas (alta, média e baixa) para as três regiões canavieiras do Brasil (São Paulo, Centro-Oeste e Norte-Nordeste).

A Tabela 6.2- 5 apresenta os resultados deste estudo. Mantendo a área agrícola prevista na destilaria (35.000 hectares) para as regiões de produtividade mais favoráveis será necessário estender os dias de safra para poder processar toda a cana plantada. Para as regiões de baixa produtividade será necessário aumentar a área agrícola para processar 2.000.000 de toneladas de cana previstas.

Estes estudos não consideram futuros ganhos de teor de açúcares redutores totais na cana, futuramente dispondo de mais dados que permitam projetar esse ganho será possível avaliar o impacto dos mesmos na produção no aumento da produção de etanol.

Tabela 6.2-5: Impacto do rendimento agrícola na produção total de etanol, dias de safra e área agrícola requerida

Região		Rendimento Agrícola (ton/ha)	Cana moída/safra (mil ton)	AEAC/safra (m ³)	Área de cultivo (mil ha)	Dias de safra	Total de área agrícola requerida (mil ha)
São Paulo	Alto	81,40	2.279,2	201.205,6	28,0	190	35,0
	Bom	73,10	2.046,8	180.689,5	28,0	171	35,0
	Médio	64,80	2.000,0	176.558,0	30,9	167	38,5
Centro-Oeste	Alto	75,70	2.000,0	187.116,2	28,0	177	35,0
	Bom	68,00	2.000,0	176.558,0	29,4	167	36,8
	Médio	60,26	2.000,0	176.558,0	33,2	167	41,5
Norte/Nordeste	Alto	59,40	2.000,0	176.558,0	33,7	167	42,1
	Bom	53,34	2.000,0	176.558,0	37,5	167	46,9
	Médio	47,29	2.000,0	176.558,0	42,3	167	52,9

Base de cálculo: Módulo industrial para 1 2000 toneladas de cana por dia, na condição da tecnologia atual otimizada.

6.3 Estudo da inserção da geração de eletricidade excedente para cada área selecionada, incluindo os aspectos de marco regulatório do mercado nacional de energia

Considerada a moagem de cana referente ao Cenário 2 (substituição de 10% da demanda mundial de gasolina) estimada nas 17 áreas selecionadas para a expansão da produção de etanol nos horizontes 2015 e 2025, o potencial de geração de eletricidade excedente nas destilarias foi então calculado. A distribuição da moagem para os cenários "Prudente" e "Progressivo" nos dois períodos analisados, de acordo com a tecnologia empregada nas destilarias, seguiu a distribuição apresentada na Tabela 6.3-1.

Os resultados do potencial são apresentados na Tabela 6.3-2, para os quatro cenários tecnológicos considerados no Capítulo 4.

Tabela 6.3-1: Distribuição da moagem para os cenários tecnológicos "Prudente" e "Progressivo"

Cenário	2015			2025		
	Otimizada ¹	Hidrólise I ²	Hidrólise II ³	Otimizada ¹	Hidrólise I ²	Hidrólise II ³
Prudente 10	0,00%	0%	0%	34,57%	65,43%	0%
Progressivo 6	4,78%	35,22%	0%	23,98%	62,32%	13,70%

¹ referente a destilarias sem planta de hidrólise com produção de etanol de 88 l/t cana

² referente a destilarias com planta de hidrólise com produção de etanol de 103,6 l/t cana

³ referente a destilarias com planta de hidrólise com produção de etanol de 124,3 l/t cana

A produção de eletricidade no Brasil em 2005 foi igual a 40.2938 GWh, sendo o consumo final estimado em 375.193 GWh. Considerando um simples modelo de crescimento tendencial do consumo de eletricidade no país, tendo por base as taxas de crescimento do consumo de eletricidade nos últimos anos, pode-se estimar o consumo de 56.42 TWh em 2015 e de 781,4 TW em 2025. Portanto, os resultados apresentados na Tabela 6.3-2 indicam que a geração de eletricidade excedente nas destilarias contribuiria com 5,3% do consumo projetado em 2015 no caso do cenário "Sem Tecnologia", e poderia chegar a 15,6% no caso do cenário "Prudente", no qual há maior número de destilarias sem planta de hidrólise, e que possuem maior índice de geração de excedente de eletricidade. Para 2025, considerando os mesmos cenários, a geração de eletricidade excedente representaria, respectivamente, 12,3% e 23,6% do consumo projetado.

Considerando o cenário "Progressivo", que se estima ser o mais realista, uma vez que prevê uma introdução gradual das novas tecnologias, o excedente de eletricidade gerado nas destilarias previstas representaria 11,6% da demanda elétrica nacional em 2015 e 19,6% em 2025.

Em função das áreas selecionadas para a expansão da produção de etanol, em 2015 o potencial de geração de eletricidade excedente estaria 45% concentrado nas áreas 6, 9, 10 e 14 para os cenários Sem tecnologia e Progressivo. Em 2025 a participação dessas áreas chegaria a 54% para os mesmo cenários. Outras áreas, como as identificadas como 1, 2, 7, 12 e 16, também possuem potenciais significativos, contribuindo com mais de 43% do total projetado pelos cenários Sem Tecnologia e Progressivo em 2015, porém apresentam redução de sua participação para 35% em 2025.

No caso do cenário "Progressivo", a concentração da geração de eletricidade excedente nas áreas 6, 9, 10, 12 e 14 seria equivalente a 60,7% do potencial estimado em 2015 (aproximadamente 7% da geração elétrica estimada para o Brasil) e a 62,8% do potencial em 2025 (12,3% da geração elétrica total).

Tabela 6.3-2: Eletricidade excedente gerada (GWh/ano) nas áreas de expansão selecionadas, segundo cenários tecnológicos

	Sem tecnologia		Prudente		Progressivo		100% Tecnológico	
	2015	2025	2015	2025	2015	2025	2015	2025
Área 1 - MT (NE)	5	.993		6.440		9.506		5.609
Área 2 - MT (SO)	5	.969		6.415		9.469		5.587
Área 3 - MT (C)	1	.199		1.288		1.901		1.122
Área 4 - GO (S)	1.200	2.397	3527	580	2.617	380	2	2.243
Área 5 - MS (S)	1.200	1.199	3527	4512	2.617	190	1	1.122
Área 6 - MS (E)	7.198	14.430	21.160	34.852	15.700	22.889		13.505
Área 7 - MG (SO)	3.623	7.238	10.649	17.515	7.901	11.482		6.774
Área 8 - CE+PB+RN								
Área 9 - BA+PI+MG	13	.584	14	.597	21	.547		12.713
Área 10 - MA(S)+TO(N)	3.623	12.973	10.649	23.677	7.901	20.578		12.141
Área 11 - TO+GO	1.223	1.222	3596	4601	2.668	193	8	1.144
Área 12 - GO (C)	4.775	8.367	14.037	21.825	0.416	13.271		7.830
Área 13 - BA (C)	3	.572		3.839		5.666		3.343
Área 14 - BA-MG	2.614	11.260	7.685	19.127	5.702	17.861		10.538
Área 15 - BA; MG (SE)	1	.222		1.313		1.938		1.144
Área 16 - BA (SE)	4.543	5.855	13.355	18.502	9.909	9.287		5.480
Área 17 - RR								
Total	30.000	96.480	88.185	184.302	65.432	153.037		90.294

Na Figura 6.3-1 é mostrada em destaque a localização dessas cinco áreas. Pode-se ver que as áreas 6 e 12, as de maior potencial até 2015, ficam próximas dos centros de carga elétrica, o que significa que os custos de transmissão poderiam ser significativamente reduzidos em relação à alternativa de expansão da capacidade de geração com a construção de hidroelétricas na região norte do país. Já em 2025, além da área 6, as áreas 9, 10 e 14 seriam as de maior potencial, indicando a possibilidade de geração elétrica em larga-escala nas regiões Centro e Nordeste do Brasil, o que seria muito importante para induzir a descentralização do crescimento econômico.

Já no caso do cenário "Prudente", a concentração da geração de eletricidade excedente nas áreas 6, 9, 10, 12, 14 e 16 seria equivalente a 75,8% do potencial estimado em 2015 (aproximadamente 12% da geração elétrica estimada para o Brasil) e a 71,9% do potencial em 2025 (17% da geração elétrica total). Na mesma

Figura 6.3-1 pode-se ver que a área 16, que teria significativo potencial de geração de eletricidade excedente, localiza-se próxima aos centros de carga na região Nordeste.

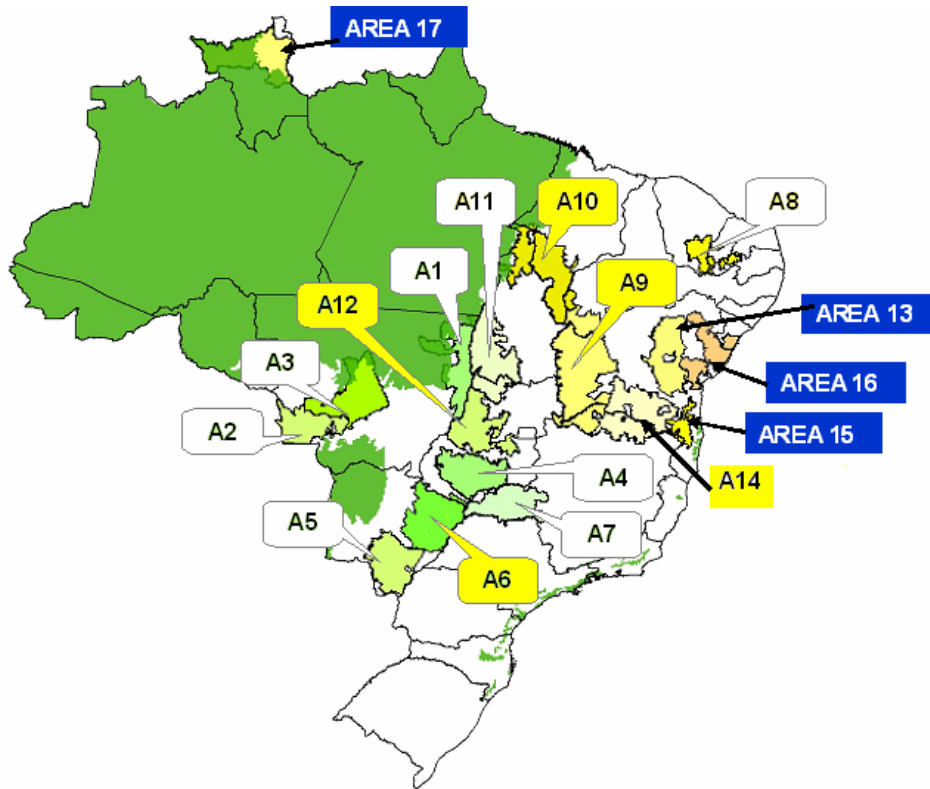


Figura 6.3-1: Regiões com maior potencial de produção de eletricidade excedente (identificadas em amarelo)

A viabilização desse potencial de produção de eletricidade excedente requer a adoção de uma política de fomento direcionada. Primeiro, é preciso viabilizar os investimentos em sistemas baseados na geração de vapor a 90 bar, 520°C, que hoje é tecnologia disponível, mas que ainda não é empregada. A geração de vapor a temperaturas maiores resultaria em potencial ainda maior, mas para tanto seria também preciso vencer os problemas econômicos relacionados ao custo de geradores de vapor com aços especiais. Investimentos em larga escala em equipamentos padronizados resultarão significativa redução dos custos.

Segundo ponto, é necessário que os futuros empreendimentos estejam fisicamente concentrados, o que viabilizaria a construção de linhas de transmissão para escoar a eletricidade gerada. Como mencionado, a indução da expansão da produção de etanol em determinadas regiões do país teria a vantagem adicional de também induzir a viabilização de um significativo potencial de geração de energia elétrica em locais próximos dos atuais centros de carga, e em regiões nas quais poderiam ser induzidos pólos de desenvolvimento.

Terceiro, é preciso que uma fração significativa desse potencial seja viabilizado no âmbito de um programa de fomento específico, direcionado unicamente à geração de eletricidade a partir da biomassa residual da cana, em áreas pré-definidas, e com emprego de tecnologias de maior eficiência. O potencial estimado será significativamente sub-aproveitado se forem adotados os procedimentos atuais de comercialização da eletricidade excedente gerada em usinas de açúcar e etanol.

Finalmente, em função da expressiva – potencial – contribuição da geração de eletricidade com biomassa residual da cana-de-açúcar, da possibilidade de que os custos sejam relativamente baixos, e também da necessidade de que esses investimentos sejam induzidos, é preciso que a geração de eletricidade no setor sucroalcooleiro seja explicitamente considerada no planejamento da expansão do setor elétrico brasileiro.

6.4 Impacto da recuperação e beneficiamento de subprodutos e obtenção de outros produtos da cana

No Capítulo 2 foi tratado especificamente de novas tecnologias a serem incorporadas na destilaria, nas áreas agrícolas e industriais com impactos favoráveis na eficiência de conversão, na redução dos custos de produção e dos consumos energéticos. Optou-se também por apresentar a inserção destas tecnologias na destilaria, nesse mesmo capítulo para apresentar as vantagens comparativas destas tecnologias. Neste capítulo é apresentada a possibilidade de recuperação de subprodutos associados ao processo de produção de etanol.

Utilizando a cana-de-açúcar como matéria-prima, obtém-se: etanol, açúcar, energia elétrica, xarope, melaço, bagaço, torta de filtro, levedura seca, cera refinada de torta, óleo fusel, vinhoto, plástico biodegradável, etc. Dentre os subprodutos da cana-de-açúcar, decorrentes do processo de fabricação do etanol, serão abordados dois deles: a cera refinada e a levedura seca. A escolha destes subprodutos apoiou-se nos seguintes pontos: tecnologia já desenvolvida e disponível, investimento inicial para implantação, potencial de mercado.

Levedura seca

Através processo de produção de etanol, obtém-se como subproduto, em média, 20 kg de levedura seca por metro cúbico de etanol (valor máximo de 30 kg/m³). A levedura seca é uma fonte de proteínas e vitaminas do complexo B, sendo empregada para ração em: avicultura, suinocultura, piscicultura e pequenos animais.

O processo de obtenção da levedura consiste em retirar uma fração da levedura empregada na fermentação, e submetê-la a um processo de respiração endógena para aumento da proteína. A retirada de parte da levedura é chamada de sangria.

Imediatamente após, ocorre a deflagmação em coluna de destilação para recuperação do etanol e inativação térmica. Este processo de recuperação do etanol é bastante importante para viabilizar a escassez da levedura, estima-se obter 1 litro de etanol para cada três quilos de levedura seca, considerando um leite de 8.0 °GL.

A seguir o leite é concentrado por centrifugação, depois passa por um processo de secagem em secador por atomização (Spray Dryer) ou turbo secador de leite fluidizado (Turbo Dryer). Processos mais modernos e eficientes usam Spray Dryer, garantindo padronização do produto, permitindo a exportação; entretanto, tem custo de investimento e manutenção bastante alto. Uma alternativa é o Turbo Dryer que tem custo menor e resguarda a qualidade do produto alcançada pelo Spray Dryer.

Após a secagem o produto é armazenado em silos ou embalado em sacos de papel, geralmente de 40 kg de levedura, devendo ser resguardado de insetos e umidade.

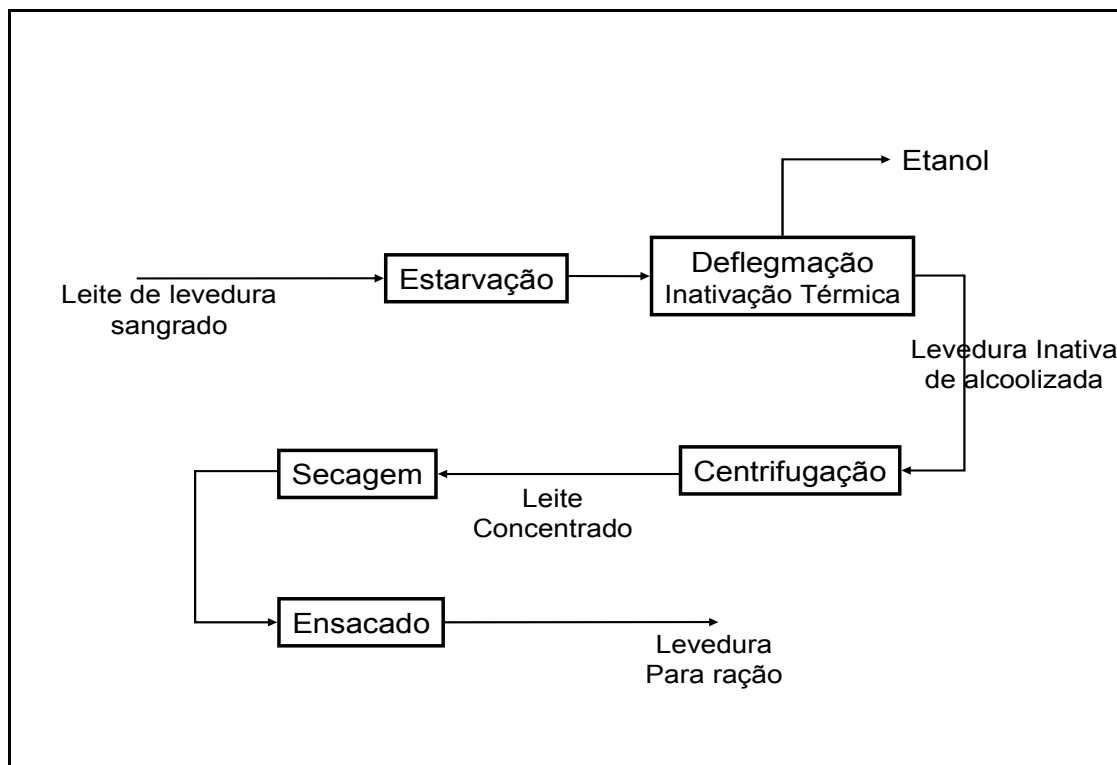


Figura 6.4-1: Diagrama de blocos do processo

É importante frisar que o sangramento do leite de levedura, retirado nos parâmetros estabelecidos (20 kg/m³ etanol), não altera o rendimento da fermentação alcoólica. O processo de obtenção da levedura está consolidado. Nas usinas do centro sul, viabilidades técnicas e econômicas estão demonstradas. Existem, aproximadamente, 35 unidades (usinas e destilarias) produzindo levedura seca para ração, atualmente.

Está disponível, embora ainda não tenha sido levada à prática, uma tecnologia que adiciona um estágio de autólise da levedura com melhor aproveitamento da mesma e que incorpora maior valor agregado ao produto.

Dentre os impactos da recuperação da levedura destacam-se: o investimento que representa uma pequena fração do investimento total na unidade produtora; o aproveitamento de um subproduto, normalmente desperdiçado; tecnologia e fabricação de equipamentos inteiramente nacional.

Para uma unidade padrão, tem-se os seguintes números:

- Produção diária de 20 toneladas de levedura seca;
- Produção anual 3.340 toneladas;
- Produção por tonelada de cana 1,7 kg;
- Potencial de recuperação 4.000.000 t/ano;
- Valor do mercado interno R\$ 550,00/ tonelada;
- Investimentos nos equipamentos, por unidade padrão, é equivalente a R\$ 721.205,00;
- Potencial de geração de 14 empregos diretos, o que corresponde a, aproximadamente, 4 % do total dos funcionários de uma unidade padrão.

Cera refinada de torta

A cera da cana-de-açúcar localiza-se principalmente perto dos nós e das bainhas foliares da planta, e tem como função protegê-la da perda de água pela respiração. A torta de filtro é um dos resíduos da fabricação de etanol, bastante utilizada como fertilizantes por conter cálcio, nítrógeno e potássio, em quantidades variáveis, de acordo com a variedade da cana-de-açúcar e sua maturação. Sendo, também, utilizada na preparação de ração animal. Outro componente é a cera, que fica concentrada na torta de filtro após a moagem da cana.

A grande disponibilidade de torta de filtro na fabricação de etanol torna viável a extração da cera deste resíduo. Dentre as utilizações da cera de cana-de-açúcar, destaca-se o uso nas indústrias químicas e alimentícias, para fabricação de remédios (pois contém policosanol – PPG - que age como regulador do metabolismo das gorduras e também como suplemento alimentício em situações de esforço ou desgaste físico), cosméticos, tintas, produtos de limpeza e polimentos. A expectativa é que este subproduto da fabricação de etanol possa substituir a cera de carnaúba, a cera de abelha e ceras sintéticas.

A concentração da cera está relacionada ao tipo de solo, idade da cana e tipo de colheita (cana crua ou queimada). Apesar da qualidade do produto final não apresentar alterações significativas em relação ao tipo de colheita utilizado, o rendimento cai em aproximadamente 40% quando a cana é queimada. Dentre os métodos de extração com solventes, o mais eficiente é com hexano, e pode resultar em rendimento de até 7,11%, considerando cana crua, em cera bruta.

Este solvente, hexano, é utilizado nas indústrias de óleos e gorduras, para extração de óleo de grão, tendo assim boa aceitação. Considerando, em média, 30 kg de torta de filtro por tonelada de cana-de-açúcar, o rendimento da extração da cera, com hexano, é de 1,30 a 2,13 kg de cera bruta para cada tonelada de cana.

Tabela 6.4-1: Determinação preliminar do custo de produção da cera - capacidade de produção de 1.236t de cera/ano

Item	Investimento Total (US\$)	Valor Unitário (US\$/t Cera)	Análise Vertical (%)
Obras civis	370.679,87	36,26	3,46%
Equipamentos	2.815.313,34	210,95	20,14%
Mão de Obra		400,51	38,24%
Insumos		281,29	26,86%
Manutenção		77,33	7,38%
Custos financeiros		26,47	2,53%
Custos comercialização		14,54	1,39%
Custo de produção		1.006,34	100%

Assim, é importante reforçar que:

- A cera da cana pode ser uma alternativa de diversificação com investimento representando uma pequena fração do investimento total;
- Cada unidade padrão pode gerar, aproximadamente, 57 empregos diretos com a recuperação e o beneficiamento da cera;
- Utiliza uma tecnologia de complexidade média, sendo compatível com as usinas e destilarias;
- Existe um mercado potencial que foi explorado 3 décadas atrás e que agora com a corrida a fontes de matéria prima renovável, volta a se tornar atrativo;
- A implantação de um processo de recuperação e beneficiamento da cera poderá vir a estimular a eliminação das queimadas, já que o rendimento é, aproximadamente, 40% menor com cana queimada.

6.5 Caracterização de uma usina modelo com a tecnologia convencional de modo a assegurar as vantagens competitivas (cogeração, mecanização agrícola, automação etc.)

Com o propósito de examinar o impacto da inserção de novas tecnologias foi realizado um anteprojeto para a Destilaria padrão otimizada. No módulo objeto deste estudo de ampliação da produção de etanol (2.000.000 de toneladas de cana por safra), foi dimensionada uma destilaria que incorpora, numa forma otimizada, as tecnologias mais atuais, procurando estimar o investimento total envolvido e a formação percentual do mesmo, assim como a incidência dos fatores envolvidos na formação do custo do etanol. O estudo, que tem caráter preliminar, foi realizado empregando estimativas dos preços dos equipamentos baseadas em índices de custo de equipamentos.

A unidade considerada é uma destilaria autônoma que produz etanol e energia elétrica para comercialização na rede.

As melhorias incorporadas, no modelo adotado, são:

- Eliminação da lavagem de cana;
- Extração próxima a 97%;
- Tratamento de caldo específico para a tender numa fermentação estável, sem contaminações, visando uma remoção eficiente da matéria em suspensão;
- Pré-concentração de uma parte do caldo em 5 efeitos para operar com um mosto para fermentação com alto grau alcoólico no vinho final;
- Esterilização do mosto;
- Fermentação contínua em 3 estágios, com reciclo de fermento;
- Dupla centrifugação de fermento e tratamento do pé para a alta % de viabilidade celular;
- Fermentação a 34°C e vinho final de 10°GL, rendimento fermentativo 91,5%;
- Destilação e retificação otimizada operando em coluna única e desidratação com peneiras moleculares;
- Automação completa da destilaria;
- Concentração do vinhoto em evaporadores de múltiplos efeitos a 50% do volume de vinhoto in natura;
- Máxima produção de energia elétrica, empregando, pré-secagem de bagaço, geração de vapor a 65 bar e turbogeneradores de alta eficiência;
- Otimização energética das correntes de processo empregando tecnologia "pinch".

A estimativa do custo dos equipamentos instalados (Tabela 6.5-1) que atinge um montante de R\$ 103 000,00 apresenta uma distribuição percentual diferente daquela do módulo da destilaria convencional. O conjunto de geração de vapor em alta pressão e turbogeradores de alta eficiência respondem pelo maior custo representando 32,7% do total em equipamentos instalados, a fermentação agora incluindo, pré-concentração do mosto, aumento das áreas de resfriamento, dupla centrifugação, dornas com agitação e reformuladas para controle da re-infecção e um tratamento do pé de cuba mais apurado aumenta sua participação para 24,7%.

Na destilação o emprego de peneiras moleculares e a concentração térmica do vinhoto, também levam a aumentos expressivos na composição do investimento. Note-se que necessariamente a futura passagem para unidades de destilação em múltiplos efeitos irá provocar um novo incremento nos investimentos em equipamentos. A unidade de descarregamento, limpeza, preparo e extração que na destilaria convencional representava o investimento mais expressivo, agora perde significação comparando com as outras seções da destilaria.

Tabela 6.5-1: Estimativa dos investimentos envolvidos numa destilaria padrão otimizada.

Destilaria padrão otimizada		
Equipamentos instalados	Investimento	Participação
Descarregamento, limpeza, preparo e extração	R\$ 17.360.777,00	16,85%
Tratamento do caldo e preparo do mosto	R\$ 9.343.126,00	9,07%
Fermentação alcoólica	R\$ 25.413.774,00	24,67%
Destilação retificação desidratação	R\$ 15.428.529,00	14,97%
Geração de vapor e energia elétrica	R\$ 33.661.174,00	32,67%
Outras utilidades	R\$ 1.823.264,50	1,77%
Total	R\$ 103.030.644,50	100,00%
Prédios e terrenos	R\$ 39.482.600,00	
Outros	R\$ 35.550.250,00	
Capital fixo	R\$ 178.063.494,50	
Capital de trabalho	R\$ 26.722.350,00	
Investimento total	R\$ 204.785.844,50	

O valor dos investimentos totais está dentro dos valores esperados, considerando que o investimento total para uma Usina com destilaria anexa, incluindo parte industrial (destilaria e fábrica de açúcar) e agrícola está estimado em R\$ 280.000.000,00, distribuídos em R\$ 205.000.000,00 para a área industrial e R\$ 75.000.000,00 para a área agrícola (relatório final projeto CGEE- Fase1). Informações obtidas junto ao setor sucroalcooleiro sinalizam investimentos de US\$ 50,00 por tonelada de cana por ano, para implantação de novas usinas com destilaria anexa e, o valor aqui estimado é de US\$ 49,20 por tonelada de cana por ano, exclusivamente para a área industrial de uma destilaria autônoma. As estimativas anteriores foram realizadas para uma usina com destilaria anexa que envolve investimentos para a fábrica de açúcar, enquanto que o anteprojeto aqui analisado considera apenas uma destilaria que envolve investimentos menores, quando realizados segundo a tecnologia convencional. Atribuímos o aumento dos investimentos neste anteprojeto ao custo das inovações tecnológicas incorporadas na fermentação, na destilação, concentração do vinhoto e na unidade de geração de vapor e energia elétrica.

Analisando a formação do custo anual para produção de etanol e energia elétrica (Tabela 6.5-2), nota-se a forte incidência do preço da matéria prima. Os investimentos em equipamentos participam com aproximadamente 13% na formação do custo o que, comparado com a matéria prima representa um fator de segunda ordem. Isto vem a sinalizar que investimentos em equipamentos cujo resultado se traduz em aumento da eficiência global de recuperação do açúcar redutor total contido na cana e transformação a etanol seguramente terão um impacto positivo na taxa de retorno interno.

Tabela 6.5-2: Custo anual da produção de etanol e energia elétrica

Custos anuais		
Custos fixos	R\$ 16.720.980,00	10,24%
Custo da cana-de-açúcar	R\$ 116.112.685,00	71,10%
Outros insumos	R\$ 2.013.083,70	1,23%
Equipamentos R\$	21.137.808,47	12,94%
Obras civis	R\$ 7.327.378,68	4,49%
Total	R\$ 163.311.935,85	100,00%

Os custos fixos que englobam diversos fatores tais como mão de obra, custos administrativos, taxas e impostos, manutenção, também pesam comparativamente pouco na formação do custo e se analisados separadamente, poderá ser que a atuação sobre os mesmos não tenha grandes efeitos na redução do custo. Pode-se concluir que a otimização do processo e redução de custos estão associados principalmente a:

- Riqueza em ART da cana (aumento do ART na matéria-prima, irá se traduzir num custo de processamento menor);
- Eficiência de recuperação do ART a etanol (mudanças nas etapas do processo e investimentos em equipamentos para melhorar a eficiência terão um impacto favorável na redução do custo).

Esta análise preliminar vem reforçar as propostas de inovação tecnológica previstas para 2015 e 2025 no Capítulo 2 deste relatório. Considerando que as mesmas estão orientadas fundamentalmente a ganhos de eficiência a relação custo/benefícios será favorável à implantação.

7. SUSTENTABILIDADE

7.1 Avaliação Ambiental Estratégica

Introdução

A abordagem proposta para o estudo está baseada nos princípios da Análise Ambiental Estratégica (AAE), que oferece uma estrutura para integrar políticas públicas relacionadas com o problema da expansão da produção de etanol e, ao mesmo tempo facilitar o diálogo com os atores relevantes. O objetivo é integrar e assegurar que os aspectos econômicos, ambientais e sociais sejam considerados de maneira sistemática para subsidiar a tomada de decisão relacionada com a expansão da produção de etanol no Brasil, mesmo nos estágios iniciais de um estudo prospectivo como o presente.

A AAE é um processo sistemático e abrangente de avaliação dos impactos ambientais advindos da aplicação de políticas, planos ou programas, antes mesmo de sua implantação. Está essencialmente baseado em dados e análises e inclui uma validação através de mecanismos consultivos visando determinar estratégias de desenvolvimento sustentável no nível de organizações, setores ou mesmo regional¹.

AAE é uma ferramenta de suporte a decisão, inicialmente concebida a partir da experiência com os procedimentos de análise de impactos ambientais de projetos (AIA), e destinada à comunicação dos aspectos sócio-ambientais aos níveis superiores de formulação de políticas e planejamento. O propósito principal da AAE é sua capacidade de influenciar decisões estratégicas, seja no âmbito de políticas, planos ou programas (PPP) (VICENTE E PARTIDÁRIO, 2006), atuando muito mais sobre o processo de decisão e auxiliando a concepção de políticas, planos ou programas. Além disso, as análises envolvidas têm o objetivo de avaliar os efeitos cumulativos resultantes de um conjunto de projetos, implementados através de um programa, plano ou política (PPP), cujos efeitos individuais poderiam ser considerados irrelevantes. A AAE distingue-se da análise de impacto ambiental - AIA, portanto, uma vez que esta se preocupa em analisar os efeitos de projetos individuais específicos. Segundo Partidário (2003) a AAE tem sido uma tendência internacional como resposta às limitações do uso da AIA². Ainda, Egler (2005) aponta que problemas e dificuldades advindas da não consideração de impactos cumulativos, impactos regionais e globais de empreendimentos pela AIA, motivou a tendência internacional de disseminação da AAE.

Uma diversidade de técnicas e metodologias tem sido utilizada, refletindo diferentes realidades, problemas, organizações envolvidas e arranjos institucionais (MMA, 2005, VICENTE E PARTIDÁRIO, 2006). Não há, portanto, uma prescrição consensual e consolidada de como a AAE deve ser feita.

O que será feito?

A dimensão de impactos ambientais de um programa de expansão como o proposto é enorme e não é possível ter a pretensão de uma análise exaustiva e detalhada de

¹ Este é um conceito retirado dos seguintes autores e publicações: Vicente e Partidário (2006), Pintér, L., D. Swanson, et al. (2004), International Association for Impact Assessment (2002), Egler, P. (2001), entre outros.

² Ver por exemplo: Canadian Environmental Assessment Agency (2004), Stoeglehner, G. and G. Wegerer (2006).

todos os aspectos envolvidos no espaço de tempo de um projeto de pesquisa como este.

Pretende-se apontar, pelo menos, as áreas onde existem grandes incertezas sobre os impactos ambientais e que de verão merecer maior atenção e melhores avaliações. Ao mesmo tempo, será nossa intenção destacar outras áreas onde o conhecimento atual é suficiente para assegurar o controle e/ou previsão das consequências da intervenção pretendida no meio ambiente para acomodar a expansão da oferta de cana e produção de etanol.

O enfoque do trabalho segue os princípios da AAE, cujo objetivo é oferecer uma estrutura de análise para integrar políticas públicas relacionadas com o problema em pauta e ao mesmo tempo facilitar o diálogo com os atores relevantes. Na AAE o contexto institucional é muito importante para poder relacionar os impactos ambientais com as diferentes esferas de decisão e intervenção.

O enfoque adotado procura ser *flexível* para se adaptar à evolução do conhecimento e questionamentos ao longo do desenvolvimento do trabalho e envolvimento dos parceiros, *prático* no sentido de se apoiar em ferramentas de uso conhecido, e *sistemático* de modo a ter uma lógica e análises transparentes.

O trabalho consiste de duas componentes, uma baseada em esforço analítico, que deverá identificar questões críticas e propor opções para um desenvolvimento sustentável da política de expansão da produção de etanol. A segunda parte refere-se a um processo consultivo e participatório, que tem a finalidade de auxiliar a identificação de alternativas e validação das conclusões.

Devido à complexidade do tema é necessário incluir um processo de consulta a diversos tipos de especialistas e agentes. Isso possibilitará melhor a avaliação de efeitos cumulativos devidos à distribuição de inúmeros projetos individuais em uma extensa área geográfica com diferentes biomas, a logística de transporte necessária, repercussões sociais em termos de emprego e qualidade de vida das populações que direta ou indiretamente estarão sob influência das atividades relacionadas com a produção de etanol. Ainda deverão ser detalhadas junto ao CGEE quantas e como de verão ser feitas as consultas. Será possível construir matrizes de impactos ambientais e realizar análise do tipo multi-critério a partir das consultas realizadas, procurando avaliar os efeitos da implantação do conjunto de empreendimentos e seus efeitos cumulativos ao longo do tempo.

A Figura 7.1-1 apresenta a relação entre a análise ambiental pretendida e suas interações com a política de expansão da produção de etanol e demais políticas públicas que poderão estar associadas à consecução desse objetivo.

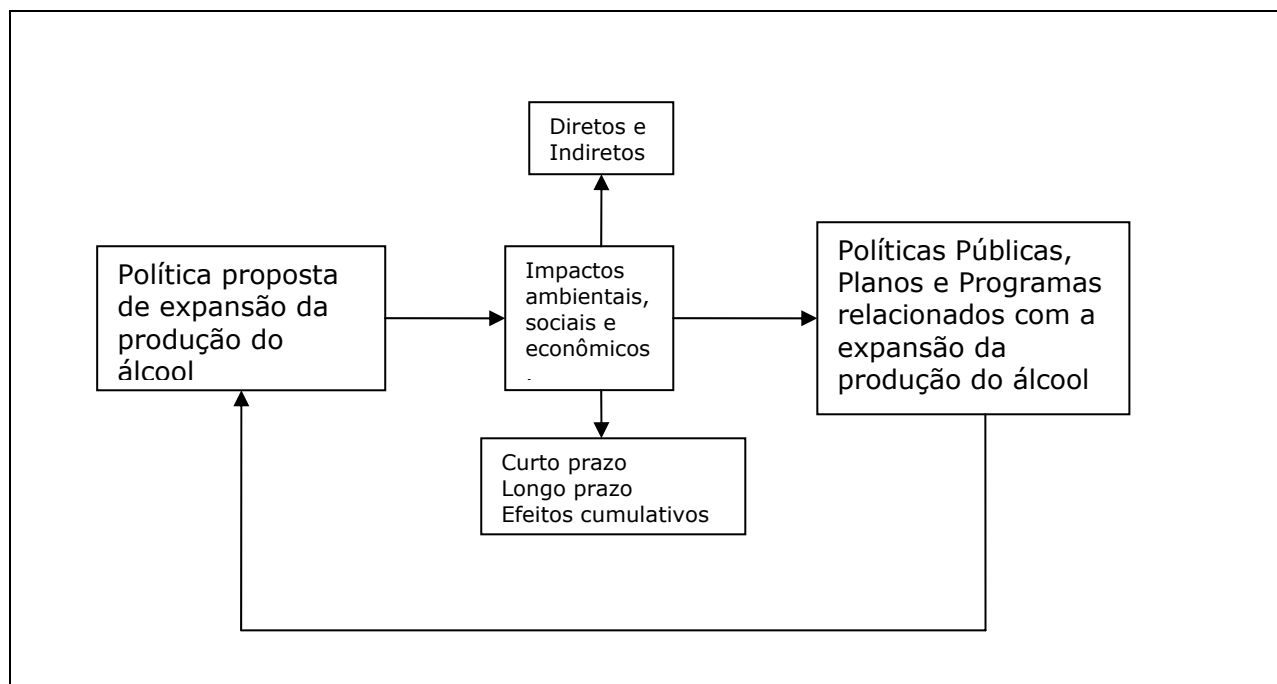


Figura 7.1-1: Visão geral da relação entre a política proposta de expansão da produção de etanol, políticas públicas relacionadas e o meio ambiente

As etapas do estudo

As etapas da AAE proposta para a fase 3:

Delimitação do problema: essa etapa determina o que de verdade será incluído na avaliação, o horizonte de tempo e limites geográficos da análise, o contexto institucional e a abrangência das decisões. Deve também definir os "stakeholders" relevantes para participarem do processo.

Situação de referência: de terminação da linha de base de referência para parâmetros ambientais, sociais e econômicos. Se não houvesse o desenvolvimento da expansão do etanol qual seria a evolução dos parâmetros sócio-econômicos e ambientais da região em estudo? Listagem dos desafios e oportunidades nas áreas que deverão ser afetadas pelas intervenções propostas. Nessa etapa devem ser formulados objetivos, critérios e indicadores para as ações subsequentes.

Alternativas: devem ser geradas alternativas de decisões em consulta com tomadores de decisão. Sustentabilidade é um critério a ser utilizado para escolha. Identificação de oportunidades para modificações às medidas propostas que minimizem efeitos adversos e maximizem efeitos positivos.

Análise ambiental: Realiza a identificação e análise das pressões ambientais e impactos das várias alternativas. Utilizam-se métodos de análise de ciclo de vida, SWOT, matrizes de impactos para produzir suficiente conhecimento dos impactos decorrentes de cada alternativa.

Avaliação/validação: essa etapa realiza uma avaliação transparente e ponderada dos impactos podendo ser utilizado métodos como análise SWOT, multi-critério ou mesmo análises econômicas. Avaliação de efeitos cumulativos

Decisão: Apresenta a estrutura das avaliações realizadas e seus resultados. Relatório a ser submetido para consulta.

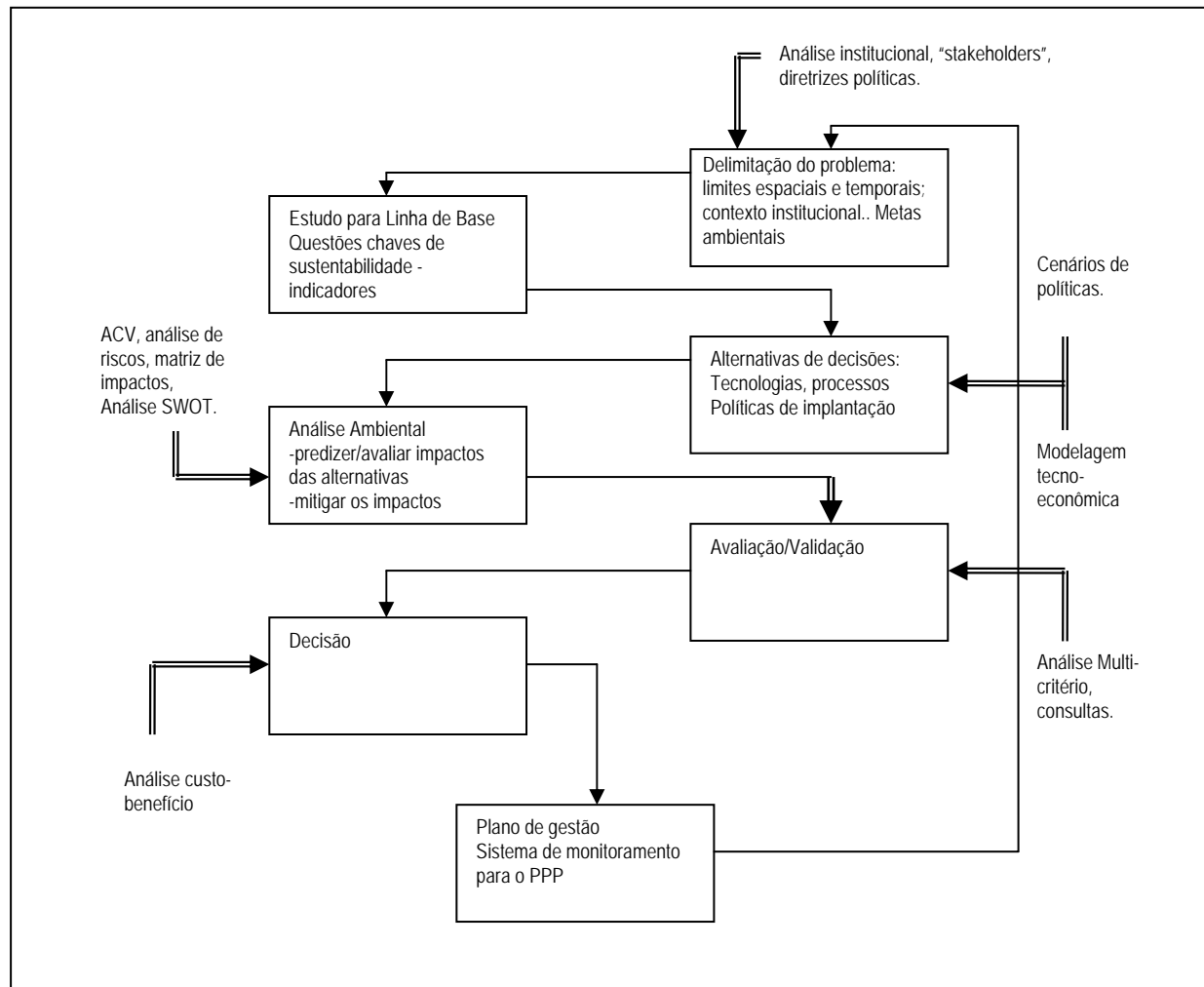


Figura 7.1-2: Esquema geral da análise

Fonte: Baseado em Nilsson, M., A. Bjorklund, et al. (2005) e International Association for Impact Assessment (1999).

Detalhamento das etapas

Atividade 1: Definição do problema, limites geográficos, caracterização institucional, metas de desenvolvimento, objetivos da PPP (políticas, planos ou programas)

- Quais são os limites espaciais do problema? Qual o horizonte de tempo?
 - a) A análise se restringe a área X
 - b) O horizonte de tempo analisado é de 20 anos

- Quais são os objetivos e estratégicos de desenvolvimento do programa de expansão do etanol?
 - a) Consolidar uma posição mundial de liderança na tecnologia de produção de etanol a custos competitivos

- b) Ser capaz de ofertar o equivalente a 10% da demanda prevista de gasolina em 2025
- Quais são as instituições envolvidas? Como se distribuem as decisões, responsabilidades e papéis de implementação?
- Quais são as metas ambientais?
 - a) Atender padrões de certificação (e estabelecer critérios factíveis e desejáveis a serem atingidos no horizonte determinado)
- Qual o contexto regulatório e de certificação ambiental existente para a produção de etanol?

Resultados/produtos:

- Mapa da região de estudo e da área de influência estratégica
- Diagnóstico institucional
- Critérios/ metas ambientais
- Legislação ambiental e regulação relativa à produção de etanol
- Comparação entre as práticas atuais e a certificação ambiental de referência utilizada neste trabalho

Atividade 2a: Estudo para Linha de Base Ambiental

- Levantamento dos principais índices sócio-econômicos e ambientais da região e como provavelmente deverão evoluir caso não haja a implantação do projeto de expansão da produção do etanol
- Como a proposta afeta o uso de recursos naturais?
 - a) Solos (impactos da cultura da cana em diferentes tipos de solos)
 - b) Recursos hídricos (efeitos sobre lençóis freáticos, ciclo hídrico, suprimento de água)
 - c) Biodiversidade
 - d) Clima e microclima
 - e) Como mudanças climáticas poderão afetar a produtividade da cana
- Quais são os efeitos conhecidos de impactos ambientais e sociais, diretos e indiretos?
 - a) Número de empregos
 - b) Tipo de empregos gerados
 - c) Condições de trabalho
- Existem novos processos e tecnologias propostas pelo estudo que afetam o meio ambiente ou sociedade?
 - a) Variedades de cana geneticamente modificadas e meio ambiente
 - b) Manejo de pragas e nematóides

- c) Processos de colheita, manejo da palha, bagaço e efluentes
- d) Utilização de água nos processos industriais
- e) Hidrólise ácida e enzimática
- f) Redução de uso de fertilizantes
- g) Redução de uso de ácido sulfúrico nos processos industriais
- h) Redução da vinhaça/ novas utilizações
- Qual o horizonte de tempo onde efeitos cumulativos podem aparecer (positivos e negativos).
- Podem os efeitos nocivos serem mitigados? Quais são eles? Como podem ser mitigados?
- Quais são os produtos decorrentes da cadeia produtiva com impactos ambientais?
- Quais são os indicadores ambientais a serem utilizados?
- Sugere-se aqui adotar algum padrão estabelecido de certificação de produção de etanol tanto para a parte agrícola como para a parte industrial
- Principais tensões e conflitos potenciais entre o desenvolvimento da expansão do etanol e uso de recursos naturais para outras atividades na região estudada.
 - a) Competição entre produção de cana-de-açúcar e outras culturas;
 - b) A competição por capital e mão-de-obra

Resultados:

- Análise da situação existente e comprometimento do desenvolvimento da expansão do etanol na região, em função dos potenciais conflitos identificados e das tendências.
- Identificação dos temas estratégicos de análise para o desenvolvimento da expansão do etanol

Atividade 2b: Criação da linha de base

Resultado:

Quadro de Referência: objetivos e indicadores de sustentabilidade para o programa de expansão e diretrizes para o desenvolvimento do programa de manejo sustentável

Atividade 3: Alternativas de políticas/cenários de desenvolvimento de políticas

- Quais são as alternativas de políticas vislumbradas para a expansão do etanol?
- Quais são as diferentes rotas tecnológicas propostas?

- Existem novas tecnologias propostas?
- Quais os diferentes impactos de cada uma delas?

Resultados:

- Identificação do que poderá acontecer com o programa com as intervenções propostas
- Construção dos cenários = > depende dos insumos técnicos a serem fornecidos pelo processo e estão fortemente aderentes aos cenários desenvolvidos pela equipe do projeto

Atividade 4: Análise ambiental

- Identificação dos impactos sócio-ambientais (positivos e negativos) associados ao desenvolvimento do programa de expansão do etanol
- Identificação dos principais fatores de pressões sociais, ambientais e econômicos associados à expansão da atividade
- Identificação do potencial de benefícios econômicos associados ao desenvolvimento e das possíveis "fugas ou vazamentos"

Resultados:

- Matriz com impactos ambientais e sociais e benefícios econômicos estratégicos associados ao desenvolvimento do programa
- *Drivers* de mudança: fatores críticos para o desenvolvimento do programa. Análise SWOT.

7.2 Avaliação do ciclo de vida da produção e uso do etanol

Este estudo está apresentado, de forma resumida, no item 7.3.4.1 deste relatório.

7.3 Avaliação da sustentabilidade do programa de expansão

7.3.1 Introdução

A expansão da produção de etanol em larga escala no Brasil traz, naturalmente, a preocupação quanto à sustentabilidade deste processo. Se a intenção é visar primordialmente o mercado externo, esta preocupação deve ser em tão redobrada, pois barreiras de todos os tipos vão ser levantadas nos países alvos destas exportações, sendo uma delas os processos de certificação que virão a ser exigidos. Não existe ainda, no nosso conhecimento, um sistema internacional estruturado e amplamente aceito para certificação de biocombustíveis, o que deixa em aberto os pontos a serem abordados neste estudo de sustentabilidade, porém, alguns países já despontam como usuários de biocombustíveis importados devido às dificuldades intrínsecas de produzi-los localmente, como é o caso da Holanda e Suécia. O mercado de biocombustíveis sólidos através das fronteiras dos países europeus já alcançou a marca de 50 PJ/ano (HILLRING E TROSSERO, 2006) e a Task 40 da IEA,

que trata de Bioenergia, tem a visão de que no futuro este mercado de bioenergia vai se tornar um mercado de commodities, o que dará uma sustentabilidade a ele no longo prazo.

Alguns ensaios sobre sustentabilidade da produção de etanol no Brasil já foram preparados, e merecem destaques o da UNICA (UNICA, 2005), coordenado pelo Dr. Isaias Macedo, e o do Instituto Copernicus da Universidade de Utrecht (SMEETS et alii, 2006). Estes dois trabalhos serão as referências básicas para este capítulo, quanto à estrutura e aos dados utilizados. Vale salientar que estas duas referências estão muito voltadas para as condições do estado de São Paulo e, portanto, uma generalização para outras regiões será reforçada. Quando surgirem sistemas de certificação em nível internacional este estudo deverá ser adaptado para convergir para a orientação sugerida. Um ponto importante nos estudos de sustentabilidade é ter uma visão clara do longo prazo como, por exemplo, o programa do álcool americano, baseado no milho como matéria-prima, tem suscitado dúvidas quanto a sua sustentabilidade, devido ao seu fraco balanço energético, competição com alimento e depender do mercado de co-produtos (limitado) e de fortes subsídios para sua viabilidade econômica.

Outros sistemas de certificação de produtos agrícolas poderão servir de referência para este estudo, quando surgirem necessidades de fortalecer áreas pouco claras e pontos mais polêmicos. Por exemplo, o sistema de certificação de florestas do Forest Stewardship Council, que é o maior sistema de certificação em uso no Brasil. O FSC estabelece os padrões de certificação de florestas e plantações e também padrões para serem utilizados por outras instituições. O INMETRO, que já possui um sistema de certificação designado de CERFLOR, é membro do PEFC - Programme of Endorsement for the Forest Certification schemes, o maior esquema mundial de certificação de florestas.

A produção de açúcar orgânico no Brasil, e em outros países, é certificada por várias instituições como o IBD - Instituto Biodinâmico, credenciado pelo IFOAM - International Federation of Organic Agriculture Movements, o ECOCERT, ramo do ECOCERT francês, e o FVO - Farm Verified Organic dos EUA.

7.3.2 Objetivo e escopo

O objetivo principal deste capítulo é avaliar os impactos ambientais, econômicos e sociais da expansão em larga escala da produção de etanol no Brasil, visando atender o mercado interno e o possível crescimento acelerado das exportações, tendo 2025 como o horizonte de longo prazo.

Pretende-se, neste estágio, a penas estabelecer uma base de informações para servir de referência para elaboração de relatórios de atendimento aos futuros sistemas de certificação, que virão se tornar um a exigência padrão dos países importadores.

7.3.3 Metodologia

Na falta de uma metodologia internacionalmente aceita para a certificação de biocombustíveis, será utilizada a itemização e estabelecida pela Comissão de Produção Sustentável de Biomassa, criada pelo Parlamento Holandês, com a finalidade de estabelecer critérios de sustentabilidade para biocombustíveis a serem importados ou produzidos localmente na Holanda.

As principais áreas que merecem atenção na cultura da cana e produção de etanol foram levantadas na literatura e reduzidas a 16 itens considerados mais críticos:

- Uso da água;
- Poluição da água;
- Uso da terra, proteção das florestas e biodiversidade;
- Erosão do solo;
- Uso de fertilizantes;
- Organismos geneticamente modificados;
- Queima da cana-de-açúcar;
- Emissão de gases de efeito estufa (GEE) e balanço energético;
- Competição com a produção de alimentos;
- Criação de empregos;
- Distribuição de renda e posse da terra;
- Salários;
- Condições de trabalho;
- Direitos trabalhistas;
- Trabalho infantil;
- Responsabilidade social e benefícios.

Existem várias superposições e duplicidades nas áreas selecionadas e também nota-se uma indicação clara da preocupação reforçada com os aspectos sociais, que precisarão ser abordados com muito cuidado e sensibilidade nos futuros processos de certificação.

Os 16 itens listados anteriormente foram agrupados em seis critérios para os quais serão formulados indicadores. Estes indicadores deverão ser quantificáveis e verificáveis de forma inequívoca para garantir a operacionalidade do sistema de certificação. A Tabela 7.3.3-1 apresenta estes seis critérios e os indicadores sugeridos pela referência (SMEETS et alli, 2006).

Tabela 7.3.3-1: Critérios de sustentabilidade e seus indicadores

Critérios	Indicadores para 2007 e 2015
1. Gases de efeito estufa	Uso de metodologia desenvolvida
2. Competição com alimentos, energia e outros	Não definido
3. Biodiversidade	Nenhuma plantação próxima a áreas protegidas, máximo 5% de conversão de florestas em plantações em 5 anos; 2007: plano gerencial de proteção efetiva de ecossistemas.
4. Riqueza	Baseado em indicadores econômicos
5. Bem estar	
5.a Condições de trabalho	Atendimento aos padrões do ILO, Social Accountability 8000 e outros internacionais
5.b Direitos humanos	Atendimento à Declaração Universal dos Direitos Humanos
5.c Propriedade e direito de uso	Três critérios dos sistemas existentes (RSPO 2.3, FSC 2, FSC 3)
5.d Condições sociais da população local	
5.e Integridade	Atendimento aos princípios contra suborno e corrupção
6. Meio Ambiente	
6.a Gerenciamento de rejeitos	Atendimento à legislação local e nacional
6.b Uso de agroquímicos (inclusive fertilizantes)	Atender legislação local e nacional, e depois de 2015, atender legislação europeia
6.c Prevenção de erosão do solo e perda de nutrientes	Plano de controle de erosão, evitar plantar em terras vulneráveis, monitoramento de qualidade do solo e equilíbrio de nutrientes
6.d Preservação das águas superficiais e do lençol freático	Atenção especial para o uso da água e tratamento
6.e Emissões atmosféricas	Atender legislação local e nacional e, em 2007, atender legislação europeia
6.f Uso de OGM	2007: atender normas dos EUA 2015: atender normas europeias

Para o nosso caso, o horizonte futuro será 2015. Serão avaliados, também, os efeitos do desenvolvimento tecnológico, e será usado o conceito de "clusters" para se avaliar os impactos, principalmente os sociais.

Smeets (SMEETS et al, 2006) sugere seis etapas de avaliação de cada critério para identificar possíveis áreas de problemas. Neste capítulo, será usada uma metodologia semelhante, porém, adaptada para o escopo do estudo.

1. Avaliação de impacto: definição das condições históricas e situação presente, e quantificação de indicadores-chave.
2. Legislação e normas nacionais: levantamento da legislação e normas brasileiras e das condições de aplicação das mesmas.
3. Critérios e normas internacionais de sustentabilidade: levantamento e avaliação de critérios e normas internacionais de sustentabilidade, se houverem, e avaliação de possíveis problemas.

4. Atendimento aos critérios: impactos e dificuldades de atendimento aos critérios estabelecido e ações sugeridas para atendimento.
5. Custos: impactos nos custos de produção pelo atendimento dos critérios de sustentabilidade.
6. Conclusões: conclusões sobre possíveis dificuldades de atendimento e avaliação da gravidade do problema.

7.3.4 Avaliação preliminar da situação da produção de etanol no Brasil frente aos critérios de sustentabilidade

A seguir, será feita uma avaliação preliminar da sustentabilidade da produção atual de etanol no Brasil face aos critérios listados acima; serão feitas considerações qualitativas, quanto à evolução das condições no médio (2015) prazo, levando em conta o crescimento da produção conforme previsto nos cenários do projeto e com a expansão da produção para outras áreas do país. Será adotada a seqüência apresentada na Tabela 7.3.3-1 para a apresentação e discussão de cada critério.

7.3.4.1 Emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) e Balanço Energético

Impactos

Este item é um dos pontos mais importantes em qualquer processo de certificação de biocombustíveis, pois a maior motivação para seu uso em um determinado país é, sem dúvida, a redução das emissões de GEE, com o respectivo impacto no atendimento aos compromissos assumidos no Protocolo de Kyoto ou com a CE. Neste aspecto, o etanol de cana-de-açúcar, como produzido no Brasil, leva uma grande vantagem em relação aos outros biocombustíveis de primeira geração como o álcool de milho e outros cereais, de beterraba e biodiesel em geral. Além disso, o etanol de cana ainda tem um considerável potencial de melhoria do balanço energético do processo produtivo (campo e fábrica) com o aumento da geração de excedentes de energia elétrica, eliminação da queima de cana com a recuperação de parte da palha para estender a geração de energia elétrica para o ano todo ou para produzir mais etanol, via hidrólise, com os ganhos de produtividade agrícola, otimização do uso de fertilizantes com a agricultura de precisão, aproveitamento energético do biogás da vinhaça e economia de vapor na fábrica. O mais recente balanço energético foi publicado por Macedo (MACEDO et al, 2004), que é uma atualização de estudos iniciados em 1985, portanto já bastante consolidado na metodologia e base de dados; mais recentemente Seabra (SEABRA et al, 2006) apresentou uma visão das melhorias esperadas para o médio prazo. A Tabela 7.3.4.1-1 resume estas duas condições.

Tabela 7.3.4.1-1: Balanço energético da produção de etanol - situação atual e no médio prazo

Item	Valores Médios (MJ/tc)			
	2004		2020	
Produção de cana (total)	201,7		191,0	
Operações agrícolas	38,1		49,7	
Transporte	42,9		48,6	
Fertilizantes, insumos, mudas, eq.	91,6		76,1	
Processamento para etanol	49,4		43,1	
Eletricidade comprada	0		0	
Produtos químicos, lubrificantes	6,4		6,4	
Prédios, instalações, equipam.	43,0		36,7	
Fluxos Externos de Energia	Entrada	Saída	Entrada	Saída
Agricultura	201,7		191,0	
Indústria	49,4		43,1	
Etanol produzido		1.920,9		1.919,7
Bagaço excedente / Palha		169,6		0
Eletricidade excedente		0		776,5
Total	251,1	2.089,5	234,1	2.696,2
Energia Renov./Energia Fóssil		8,3		11,5

Fonte: Macedo, 2004 e Seabra, 2006

Como pode ser visto na Tabela 7.3.4.1-1, o balanço energético do etanol de cana-de-açúcar no Brasil, que já é muito superior aos balanços energéticos de outros biocombustíveis, tende ainda ficar melhor com a continuação do desenvolvimento tecnológico do setor, apesar da crescente mecanização da lavoura.

Legislação local e nacional

Não existe legislação brasileira a respeito do balanço energético e das emissões de GEE na produção de biocombustíveis.

Critérios e normas internacionais de sustentabilidade

As normas internacionais neste assunto ainda estão em fase embrionária, mas é claro o interesse e a valorização de um balanço energético favorável e uma grande redução de emissões de GEE, pois esta é a razão prioritária para o uso de biocombustíveis nos países do Anexo I.

Atendimento aos critérios

Pelas razões expostas acima, este item não pode ser de talhado ainda, mas certamente o etanol brasileiro vai estar numa posição privilegiada quanto ao atendimento dos critérios relacionados às reduções de emissões de GEE.

Custos

Não há impacto nos custos relacionados a este item, pois o bom balanço energético do etanol brasileiro é uma condição intrínseca e natural do processo produtivo.

Conclusões

A redução de emissões de GEE pelo uso do etanol de cana-de-açúcar é, sem dúvida, o ponto mais forte do etanol brasileiro quanto aos aspectos de sustentabilidade. Esta situação irá ainda melhorar no futuro com os avanços tecnológicos que já estão entrando no processo produtivo (SEABRA, 2006).

7.3.4.2 Competição com alimentos, energia e outros

A cana-de-açúcar é cultivada em mais de 100 países no mundo, porém sua ocupação de área é insignificante em relação às outras culturas, principalmente os grãos. Com cerca de 20 Mha ela representa menos de 1,5% da área cultivada no planeta. A Tabela 7.3.4.2-1 apresenta a cana-de-açúcar e as principais culturas, em ocupação de área.

Tabela 7.3.4.2-1: Áreas ocupadas pelas principais culturas no mundo

Cultura	Área Cultivada (10 ⁶ ha)
Cana-de-açúcar	20,1
Trigo	207,5
Arroz	153,0
Milho	144,8
Soja	91,6

Fonte: FAO, 2005

No Brasil, apesar de se constituir numa das principais culturas quanto ao seu valor econômico, a cana-de-açúcar ocupa menos de 10% da área total cultivada. Os 6 Mha representam apenas 3% das áreas de pastagem do país. A Tabela 7.3.4.2-2 indica as áreas ocupadas pelas várias culturas.

Tabela 7.3.4.2-2: Áreas ocupadas pelas principais culturas no Brasil

Cultura	Área cultivada (10⁶ ha)
Soja	21,5
Milho	12,3
Cana-de-açúcar	5,6
Feijão	4,0
Arroz	3,7
Trigo	2,8
Café	2,4
Outros	5,7
Total	58,0

Fonte: IBGE, 2004

Junte a este fato a estimativa da EM BRAPA de que existem cerca de 90 Mha de terras agriculturáveis que podem ser ocupadas sem grandes impactos ecológicos localizados

Existe uma sobra da produção de alimentos no mundo, e nos países desenvolvidos, é comum a prática de o governo pagar ao agricultor para não produzir em parte de suas terras (se t aside) para evitar o aumento dos excedentes de produção já existentes. O mercado internacional de alimentos é bem estruturado, ativo e de grande volume, funcionando como um mercado de commodities, de modo que quando há aumento de preço de um tipo de alimento, devido a problema de queda de produção ou aumento rápido do consumo, imediatamente o mercado reage através da importação. Um caso recente ocorreu nos EUA, onde o aumento muito rápido do consumo de milho para produção de etanol acarretou um aumento abrupto do preço deste cereal e uma redução das exportações (os EUA são os maiores produtores mundiais e exportadores de milho); este déficit está sendo rapidamente coberto pelo Brasil e Argentina e pelo aumento da área plantada nos EUA com milho e soja. Problemas de equilíbrio entre produção e consumo de algum tipo de alimento é muito comum, mas são normalmente localizados em países ou regiões afetadas principalmente por fenômenos climáticos adversos (secas, inundações, furacões). A Índia oscila entre a condição de importador e exportador de açúcar sem que isto cause falta deste alimento para a população. Em resumo, a fome no mundo é causada pela má distribuição de renda e não por falta de alimentos.

No caso da expansão da produção de álcool no Brasil para exportação, visando chegar a volumes da ordem de 200 bilhões de litros/ano em 2025, haverá necessidade de uma área adicional de canavial de menos de 32,5 Mha devido a 20% de reserva. Estes números correspondem a 29% da área disponível para plantio no Brasil, segundo a EMBRAPA. É importante lembrar que o país possui mais de 200 Mha ocupados por pastagens e parte deles poderiam ser utilizados para o

plantio de cana-de-açúcar com o gado seria alimentado por ração, pelo menos em parte, produzida a partir da cana; o Centro de Tecnologia Copersucar – CTC (hoje Centro de Tecnologia Canavieira) fez uma série de experimentos com um tipo de ração para gado produzido a partir de bagaço pré-hidrolisado (explosão de vapor), levedura sangrada da fermentação e melão, com resultados excelentes no confinamento de novilhas; todavia, a tecnologia não foi para a frente por falta de motivação das usinas cooperadas devido ao baixo interesse dos criadores e ao confinamento.

Legislação local e nacional

Não existe legislação ou normas no país sobre este assunto.

Crítérios e normas internacionais de sustentabilidade

Os critérios internacionais são muito imprecisos, limitando-se na maioria dos casos a exigir que a produção de biocombustíveis não ocasione uma diminuição na produção de alimentos.

Atendimento aos critérios

Conforme explicado acima, este ponto não será motivo de preocupação para o Brasil, pelo menos no horizonte temporal do projeto.

Custos

Não haverá impacto nos custos de produção causados por este critério, pois está sendo assumido que a expansão da cultura da cana seria em área ainda não ocupada por nenhuma outra cultura.

Conclusões

No Brasil, a competição entre o etanol e alimentos por terras agriculturáveis não deve se tornar um problema pela abundância de terras agriculturáveis disponíveis no país. Por ser o biocombustível de melhor balanço energético e o mais produtivo em termos de uso da terra, o etanol de cana-de-açúcar deverá se tornar a preferida entre as opções de primeira geração.

7.3.4.3 Biodiversidade

O Brasil é considerado o país de maior biodiversidade no mundo, concentrada principalmente nos biomas da Floresta Amazônica, Pantanal, Mata Atlântica e Cerrado; estima-se que existam no país entre 50.000 e 60.000 espécies de angiospermas (UNICA, 2005). As situações original e atual dos principais biomas estão mostradas na Tabela 7.3.4.3-1.

Tabela 7.3.4.3-1: Biomas brasileiros: área original, cobertura atual e porcentagem contida em unidade de conservação.

Bioma	Cobertura original (% do país)	Cobertura atual (% da original)	Áreas Protegidas (% da original)
Amazônia 49		85	4,8
Cerrado 24		20	1,7
Mata Atlântica	13	7	0,7
Caatinga 10		32	0,7
Campos Sulinos	2,0	2	0,3
Pantanal 1,8		83	0,6

Fontes: UNICA, 2005; CEBRAC, 2006

A Mata Atlântica foi o primeiro bioma a ser devastado por se situar na área de maior ocupação populacional, desde os tempos da colonização; a exploração madeireira e a agropecuária ocuparam as áreas da floresta restando hoje cerca de 7% da cobertura original, principalmente nas encostas mais íngremes da Serra do Mar. A área ocupada hoje pela cana-de-açúcar está quase totalmente na área original deste bioma.

O Cerrado está ocupado hoje principalmente pela pecuária, produção de carvão vegetal e plantio de grãos, sendo esta ocupação razoavelmente recente. Ainda é possível planejar a expansão da ocupação do Cerrado garantindo um uso sustentável, assegurando a preservação da biodiversidade e recursos hídricos. É a região mais provável para uma expansão em larga escala da produção de cana-de-açúcar e, portanto, este planejamento se faz necessário com certa urgência.

A Amazônia, os Campos Sulinos e Caatinga estão mais ou menos livres da produção de cana por não terem clima adequado para tal, mas podem vir sofrendo com a entrada de outras culturas deslocadas pela cana, porém este processo é muito complexo de se quantificar.

A EMBRAPA avalia que os impactos advindos da cultura da cana-de-açúcar sobre mamíferos, aves, anfíbios e invertebrados são de severidades 2 e 1 (baixo ou nenhum impacto), e de severidade 3 (médio) em relação aos répteis.

Legislação local e nacional

Existe uma quantidade razoável de leis e recomendações para a proteção das terras e da biodiversidade. A mais importante delas é, sem dúvida, o Código Florestal (Lei 4.771/65, com a emenda de lei 7.803/89 e Medida Provisória Nº 2,166-67). Entre os pontos importantes desta lei está a exigência de se manter em cada propriedade uma reserva legal (área preservada com mata nativa) de 80% na Amazônia, 35% no Cerrado da Amazônia e de 20% no restante do país. O Código Florestal também estabelece as Áreas de Preservação Permanentes, nas margens dos corpos de água, sendo:

- Áreas nas margens de rios e córregos, variando de 30 m para rios com largura menor que 10 m, até 500 m para rios com mais de 600 m de largura.
- Áreas em torno de lagos, lagoas e açudes.
- Áreas em torno de nascentes e olhos de água, com um raio mínimo de 50 m.

As áreas urbanas estão excluídas destas exigências.

O cumprimento desta lei tem sido prejudicado pela deficiência de fiscalização.

Crítérios e normas internacionais de sustentabilidade

Existe um número de normas e acordos internacionais relacionados com a preservação da biodiversidade, como, por exemplo, a da Commission on Sustainable Development das Nações Unidas (UNCSD) que traz recomendações para a proteção dos ecossistemas e das espécies.

De modo geral, as normas e recomendações internacionais são mais no sentido de impedir a diminuição das áreas protegidas ou de ecossistemas importantes.

Atendimento aos critérios

O Brasil tem leis e normas suficientes, em quantidade e qualidade, para garantir a preservação da biodiversidade, porém, peca pela deficiência em fazer cumprir estas leis. Louve-se o esforço da Secretaria de Meio Ambiente do estado de São Paulo em preservar o que resta da Mata Atlântica e obrigar os proprietários de terras a cumprirem as determinações do Código Florestal, principalmente quanto à reserva legal e às áreas de preservação permanentes, apesar das fortes reações contrárias.

Custos

O Código Florestal impõe a manutenção de uma área não produtiva e em todas as propriedades que são a reserva legal e as matas ciliares, o que impacta negativamente nos custos de produção. Porém são inquestionáveis os benefícios decorrentes desta legislação, pois preserva-se, assim, a biodiversidade e a parte das áreas verdes, tão importantes para o bem-estar da população.

Estes custos são difíceis de quantificar de uma forma genérica, uma vez que dependem muito das condições locais.

Conclusões

A cultura de cana-de-açúcar no Brasil parece estar em uma situação razoavelmente cômoda em relação à preservação da biodiversidade, principalmente por não entrar nas áreas dos biomas mais sensíveis como a Amazônia e o Pantanal. Porém, com a grande expansão sugerida neste projeto, a ocupação de uma área significativa, mormente no Cerrado, vai ser necessária. Um plano para direcionar e coordenar esta expansão de modo a minimizar os impactos negativos na biodiversidade, entre outros itens, seria altamente desejável e facilitaria futuros processos de certificação, que serão exigidos por muitos países para importar nosso etanol.

7.3.4.4 Riqueza

O Brasil teve, em 2002, um PIB de US\$ 450 bilhões e uma renda *per capita* de US\$ 2630. Todavia, é na distribuição de renda que o país tem um desempenho muito ruim, com um índice de GINI de 0,554 (2003), um dos mais altos do mundo. Em 2002, 53% das pessoas ocupadas recebiam até dois salários mínimos mensais; somente 1,3% das pessoas ocupadas recebiam acima de 20 salários mínimos mensais.

Além das desigualdades de renda entre as pessoas, existe também o problema das desigualdades regionais, com uma forte concentração de renda nas regiões Sudeste e Sul, em detrimento do Norte e Nordeste, conforme mostrado na Tabela 7.3.4.4-1:

Tabela 7.3.4.4-1: Dados sócio-econômicos regionais (2002)

DADOS PARA 2002				
	PIB (R\$ x10 ⁶ corrente)	Participação PIB (%)	PIB <i>per capita</i> (R\$ corrente)	Empregos* (pessoal ocupado)
Norte	67,790	5,0%	4.939	3.318.831
Nordeste	181,933	13,5%	3.695	14.265.460
Centro-Oeste	100,202	7,4%	8.166	4.659.202
Sudeste	758,374	56,3%	10.086	31.793.022
Sul	237,729	17,7%	9.156	12.336.686
Brasil	1.346,028	100,0%	7.631	66.373.200

*Calculados pela MIP estimada para este estudo

Fonte: Contas regionais (IBGE)

Pode ser visto que a região Sudeste, com cerca de 43% da população do país, detém 56,3% do PIB e tem uma renda *per capita* de R\$ 10.086. Já a região Nordeste, com 13% da população, participa em apenas 13,5% do PIB e tem uma renda *per capita* de R\$ 3.695.

O PIB relacionado à produção de etanol e de cana, no Brasil, é estimado em R\$ 6,8 bilhões (2002).

Com a implantação do programa de expansão da produção de etanol para exportação, conforme proposto neste Projeto, ocorreriam impactos positivos significativos no aumento dos PIB's regionais e nacional, contribuindo para a redução das desigualdades regionais e melhorias econômicas para as regiões menos favorecidas.

A Tabela 7.3.4.4-2 resume os resultados das simulações com o modelo de Insumo-Produto para o Cenário onde se esperar exportar, em 2025, 205 bilhões de litros de etanol com a entrada paulatina das novas tecnologias para produção de etanol, incluindo-se o ganho de produtividade na redução de cana.

Tabela 7.3.4.4-2: Impactos socioeconômicos da expansão da produção de etanol para exportação (205 bilhões de litros)

Regiões	Participação na Exportação de álcool (%)	Impacto do PIB (R\$ bilhão 2005)	Aumento do PIB em relação a 2005 (%)
Norte	5,0 18,324		23,2
Nordeste	39,9 104,506		47,8
Centro-Oeste	41,5 87,874		63,4
Sudeste	13,6 145,980		13,9
Sul	0,0 34,198		11,2
Brasil	100,0%	390,881	21,8
Produção Total (10 ⁹ l)	205	-	

Os resultados resumidos nesta tabela consideram os efeitos diretos, indiretos e induzidos da expansão da produção de etanol, para a operação das destilarias instaladas. Não estão incluídos os efeitos econômicos referentes às instalações propriamente ditas das destilarias e canaviais associados.

Os investimentos diretos totais na construção de destilarias e implantação dos canaviais são estimados em R\$ 368,6 bilhões, no período de 20 anos; os investimentos na parte de logística, principalmente dutos e centros coletores, totalizariam R\$ 33,4 bilhões. Os capítulos 4 e 5 deste relatório apresentam os detalhes destas simulações.

Legislação local e nacional

Não existe legislação específica referente à redução das desigualdades socioeconômicas regionais. Todavia, para que a expansão ocorra conforme recomendado neste projeto, seriam necessárias políticas públicas fortes e inteligentes para induzir o direcionamento de parte da expansão para áreas mais carentes.

Critérios e normas internacionais de sustentabilidade

Aparentemente, não existem legislações ou normas internacionais obrigando a criação de riquezas e sua divisão de forma mais equitativas. Porém, tudo que for feito neste sentido só contribuirá positivamente para a sustentabilidade do processo.

Custos

Induzir parte da instalação das novas destilarias em áreas mais carentes trará impactos econômicos positivos e negativos, que não foram detalhados neste projeto. Nos impactos positivos merecem destaques o custo menor das terras, mão-de-obra mais barata e logística mais econômica; entre os negativos estão a menor produtividade agrícola e mão-de-obra menos qualificada.

Conclusões

A implantação de um programa de expansão da produção de etanol no Brasil, nos moldes propostos neste Projeto, traria enormes impactos socioeconômicos positivos, principalmente no que se refere à geração de riquezas e na diminuição das desigualdades regionais. Os investimentos necessários estão bem dentro da capacidade do país e não trariam impactos negativos por desfalcarem outras áreas, principalmente porque estes investimentos viriam essencialmente do setor privado.

7.3.4.5 Bem-estar social

Neste item, serão avaliados os aspectos de condições de trabalho, direitos humanos, direitos de propriedade e uso, condições sociais da população local e integridade, relacionados com o cultivo da cana-de-açúcar e produção de etanol.

• Condições de trabalho

No Brasil existem atualmente cerca de 350 unidades produtoras de álcool e açúcar, espalhadas por vários estados do país. Normalmente, estas usinas são agrupadas em duas regiões produtoras, principalmente, com dois períodos de safra distintos: Norte-Nordeste de setembro a março e Centro-Sul de abril a novembro. Estas duas regiões produzem, atualmente 15% e 85% da cana-de-açúcar do país, respectivamente.

As condições de trabalho são muito variáveis entre as usinas e principalmente entre as regiões Norte-Nordeste (N-NE) e Centro-Sul (C-S) como também entre a área industrial e a área agrícola. Na área industrial, para as condições do C-S, trabalham cerca de 20% da mão-de-obra em um ambiente semelhante à maioria das indústrias pesadas do país: existem normas de segurança, equipamentos de proteção individual (EPI's) são regularmente distribuídos, existem CIPA's (Comissão Interna de Prevenção de Acidentes) e uma fiscalização mais ou menos adequada dos órgãos competentes (Ministério do Trabalho). Durante a entressafra uma parte da mão-de-obra de operação é direcionada para as equipes de manutenção e outra parte é dispensada.

Na área agrícola, as condições de trabalho são mais pesadas e a fiscalização mais frouxa, o que tornam as condições de trabalho algumas vezes inadequadas. O grau de sazonalidade é maior nesta área, devido principalmente ao corte manual da cana. Este é exatamente o tipo de emprego mais árduo, pois é pago na base de produtividade, ou seja, remuneração proporcional à quantidade de cana cortada, o que leva o trabalhador a realizar grandes esforços. O corte manual da cana está sendo substituído paulatinamente pela colheita mecanizada, causando dois efeitos opostos: redução no número de empregos de baixa qualificação e aumento, bem menor, dos empregos mais qualificados (tratoristas, operadores de colhedoras, técnicos de manutenção). Com o fim da queima de cana prevista para 2021 nas áreas mecanizadas e 2031 em todas as áreas, no estado de São Paulo (a lei Federal prevê o fim das queimadas apenas nas áreas mecanizadas em 2018), esta solução vai se consolidar com o fim da colheita manual da cana. O aumento da mecanização em outras áreas vai continuar a reduzir a mão-de-obra menos qualificada, melhora a média salarial e as condições de trabalho.

De acordo com dados oficiais do Ministério do Trabalho (RAIS) em 2002, existiam no setor sucroalcooleiro 290 mil empregos diretos formais no N-NE e 475 mil no C-S, totalizando 765 mil empregos diretos formais no país. A média salarial mensal

para todos os setores no país, neste mesmo ano, foi de R\$ 483, para o setor de açúcar R\$ 501 e para o álcool R\$ 554 (UNICA, 2005), separando-se por regiões, a média mensal para a indústria do açúcar foi de R\$ 373 no N-NE e R\$ 678 no C-S e para a indústria do álcool foram de R\$ 296 e R\$ 498 para o N-NE e C-S, respectivamente. No estudo coordenado pela UNICA o nível de formalidade do trabalho, nos empregados da área agrícola, estão mostrados na Tabela 7.3.4.5-1, utilizando dados do IBGE (PNAD-Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio).

Tabela 7.3.4.5-1: Empregos na área agrícola – formais (carteira assinada) e totais

Região	1992		2003	
	Total	Formais (%)	Total	Formais (%)
Brasil	674.630	53,6	448.883	68,8
N - NE	352.905	42,3	261.283	58,9
C - S	321.725	66,0	187.600	82,8
SP	149.360	80,4	124.534	88,4

Fonte: UNICA, 2005

Note-se um aumento apreciável do nível de formalidade dos empregos em todas as regiões, valendo salientar que em São Paulo este nível está próximo a 90%.

É difícil avaliar o setor sucroalcooleiro como um todo no país devido às grandes diferenças regionais que se refletem nos indicadores de qualidade de emprego, nível educacional, renda e assistência social. De um modo geral a região N - NE apresenta um uso mais intensivo de mão-de-obra e uma remuneração mais baixa, quando comparada com a região C-S. A região N-NE apresenta 3,5 vezes mais empregos que a região C-S. A sazonalidade do emprego, que é um índice que indica a qualidade de parte dos empregos, tem melhorado na região C-S com o aumento da mecanização; em São Paulo, este índice passou de 2,2 no início dos anos 1980 para 1,3 em meados dos anos 1990 (UNICA, 2005).

Os direitos trabalhistas e humanos são garantidos pelas leis e normas existentes do país, porém, a fiscalização não muito rigorosa permite desvios. De um modo geral, quanto maior a porcentagem de empregos formais, mais fácil é garantir os direitos trabalhistas dos empregados. Por exemplo, dentre os empregados formalmente registrados, apenas 0,3% estão abaixo de 17 anos de idade.

As usinas brasileiras (UNICA, 2005) mantêm mais de 600 escolas, 200 creches e 300 ambulatórios médicos; é comum as usinas no C-S oferecem assistência médica, odontológica, transporte e segurança de vida em grupo. A grande maioria fornece refeição e assistência farmacêutica, e possuem programa de participação nos lucros.

Legislação local e nacional

A legislação trabalhista brasileira é bem abrangente e detalhada, constituída de partes da Constituição Federal, Leis Complementares, Leis, Decretos-Lei, Convenções da OIT (ratificadas pelo Brasil), Medidas Provisórias, Decretos, Portarias, Instruções, Normas Administrativas e Reguladoras (UNICA, 2005).

Este conjunto de leis e normas também cobrem a organização sindical, a qual se baseia em dois princípios constitucionais: a) livre associação profissional ou sindical, vedando ao Poder Público a interferência e a intervenção na organização sindical; b) unicidade, que veda a criação de uma organização sindical, em qualquer grau, para representar uma categoria profissional ou econômica na mesma base territorial.

O setor sucroalcooleiro tem sua representação econômica e profissional definido pelo artigo 577 da CLT.

1º Grupo – Indústrias da Alimentação (produção do açúcar)

10º Grupo – Indústrias Químicas e Farmacêuticas (produção de álcool).

No setor agrícola, os trabalhadores são representados pelos Sindicatos dos Trabalhadores ou dos Empregados Rurais e/ou as Federações correspondentes.

Normalmente, o relacionamento entre os sindicatos, empresas e entidades profissionais é feito através de Convenção ou Acordo Coletivo de Trabalho.

O Ministério do Trabalho e do Emprego estabelece as normas de segurança ocupacional e saúde do trabalho, e também é responsável pela fiscalização do cumprimento destas normas (considerada deficiente em muitas regiões).

Crítérios e normas internacionais

O Brasil normalmente ratifica os acordos das Convenções da OIT que são aplicáveis ao país.

Custos

O atendimento às normas trabalhistas redundando em custos para as empresas, porém isto não pode ser contabilizado como custo adicional para a certificação de sustentabilidade, visto que é obrigatoriedade legal e não uma opção.

Conclusões

O setor sucroalcooleiro no Brasil é regido por uma legislação trabalhista bastante completa, minuciosa e abrangente, sofrendo adaptações constantes, que pode ser considerada adequada para atender requisitos internacionais de condições de trabalho e direitos humanos. Todavia, o problema que temos é decorrente da fiscalização frouxa que tem permitido uma porcentagem significativa de trabalho informal, ambientes de trabalho sem condições de segurança e salubridade e uma fração mínima, mas intolerável, de trabalho infantil.

- **Direito de propriedade**

O modelo de produção do setor sucroalcooleiro no Brasil é essencialmente baseado na grande propriedade e o porte das usinas não pára de crescer; a média de

moagem das usinas brasileiras já ultrapassou a marca de um milhão de toneladas de cana por safra e as novas usinas e implementação tem capacidade média entre 2 e 2,5 milhões de toneladas de cana por ano, com um canavial em torno de 30.000 ha. Apesar disso, existem no país cerca de 70.000 produtores de cana independentes que fornecem cana para as 350 usinas. No C-S, e principalmente em São Paulo, a cana moída pelas usinas vem de canaviais próprios, terras arrendadas e cultivadas pela usina e de fornecedores independentes em quantidades praticamente iguais; os produtores independentes estão organizados em Organizações ou Sindicatos que defendem os interesses dos produtores independentes, inclusive dos pequenos produtores. A partir da safra 1998/99, começou a valer um novo acordo entre produtores de cana e usinas, em substituição ao modelo anterior com preços fixados pelo Governo Federal. Nesse novo acordo, que no estado de São Paulo é coordenado pelo CONSECANA-Conselho dos Produtores de Cana, Açúcar e Alcool, que tem representação paritária de membros das indústrias e dos agricultores. O CONSECANA, ou modelos semelhantes, vem se expandindo para outros estados do C-S, e prevê um sistema de pagamento de cana baseado na sua qualidade e nos preços obtidos no mercado pelos produtos finais (açúcar e álcool). No item qualidade, entram os Açúcares Totais Recuperáveis (ATR) por tonelada de cana, que dependem do teor de sacarose, teor de fibra e pureza do caldo, além das perdas no processo de produção de açúcar e álcool. Os produtos finais são convertidos em ATR e seus preços são dados por R\$/ATR.

Este sistema, onde aplicado, divide entre o produtor de cana e a usina os lucros da comercialização do açúcar e álcool, de uma forma acordada entre as partes. O pequeno produtor se beneficia igualmente deste processo.

Quanto à segurança do direito de propriedade do pequeno produtor, esta é garantida, em princípio, pela legislação vigente. No início do Proálcool houve denúncias de expulsão de agricultores de suas terras por pressões econômicas ou mesmo legais (SMEETS et al 2006).

Legislação local e nacional

O direito de propriedade é garantido pelo art. 5º da Constituição Federal de 1988, e está definido no art. 1228 do Código Civil como sendo a faculdade de usar, fruir, dispor e reivindicar a coisa segundo uma finalidade social.

No entanto, existem condições que podem implicar na perda da propriedade, como por exemplo, seu uso para cultivo de culturas ilegais.

A propriedade também pode ser objeto de desapropriação, que pode ter utilidade ou necessidade pública, ou por interesse social.

Critérios e normas internacionais

Não se aplicam neste caso.

Atendimento aos critérios

De um modo geral, os critérios legais são atendidos, mas este item pode ser considerado sensível no processo de certificação e deve ser tratado com cuidado.

Custos

Também não se aplicam neste caso.

Conclusões

O direito de propriedade no Brasil é assegurado pela Constituição Federal. Entretanto, este direito pode ser, e tem sido em alguns casos, violados de forma criminosa por pressões econômicas, intimidação física e outros.

A melhor defesa contra estes atos ilegais é o esclarecimento e a educação da população quanto aos seus direitos constitucionais.

• Condições sociais da população local

Não existem, no nosso conhecimento, estudos dos impactos da cultura da cana-de-açúcar nas condições sociais da população local, mas pode-se inferir que eles são muito dependentes das condições locais e do tamanho da comunidade em relação ao empreendimento.

Alguns efeitos positivos e negativos podem ser listados, para orientação aos estudos específicos.

Efeitos positivos

- Aumento da renda local através de arrecadação de impostos, salários e investimentos.
- Criação de empregos.
- Melhoria na infraestrutura de transporte e energia.
- Construção de escolas, creches, centros de lazer e ambulatórios ou centros médicos.
- Valorização dos imóveis e das terras.

Efeitos negativos

- Perturbação na disponibilidade de imóveis e aumento nos aluguéis.
- Aumento da poluição devido às queimadas.
- Odores desagradáveis provenientes da vinhaça espalhada no campo.
- Aumento no uso da água e possíveis contaminações.
- Problemas sociais de trabalhadores temporários migrantes.

Uma das grandes vantagens de se ter uma expansão da produção de etanol de forma planejada é a possibilidade de se maximizar os benefícios sociais. O conceito de "cluster" para agrupar as usinas traz grandes benefícios para a população da região pois prevê a construção de escolas em todos os níveis, centros médicos ou mesmo hospitais, centros de lazer e de cultura, creches, berçários, etc.

As usinas de algumas regiões, principalmente no estado de São Paulo já evoluíram bastante nesta área e muitas delas poderiam servir de modelo, para a expansão, no aspecto de responsabilidade social.

Uma pesquisa envolvendo 50 empresas sucroalcooleiras constatou (UNICA, 2005) que 34 milhões de pessoas, residentes em 150 municípios da área de influência direta dessas empresas possuem creches/berçários, oferecem alojamento para os trabalhadores e outras localidades e tem programa de participação nos lucros.

Além disso, 98% possuem refeitório para trabalhadores e 58% já mantêm empregados portadores de deficiências, conforme exigido pela Lei 8213/91.

Legislação local e nacional

A Agenda 21, consolidada na RIO 92, fornece os parâmetros de responsabilidade social que cobrem uma área extensa da vida humana, e, cada vez mais, está sendo usado pelo setor sucroalcooleiro referência para as ações sociais.

Existente também, toda uma gama de leis, decretos e itens da Constituição federal que buscam proteger a população da ação de grupos econômicos mais fortes.

Critérios e normas internacionais

Também a nível internacional, existe um grande número de normas e recomendações abordando a questão da responsabilidade social, valendo salientar a SAI 8000 e algumas Convenções das Nações Unidas.

Atendimento aos critérios

Grande parte das usinas brasileiras procuram se enquadrar nos conceitos de Responsabilidade Social enquanto algumas não se preocupam adequadamente com isto. Na expansão, este aspecto pode ser bem resolvido.

Custos

Os custos para controlar os impactos negativos nas condições sociais da população, assim como os relacionados ao cumprimento dos preceitos de responsabilidade social, não são fáceis de estimar. De qualquer modo, estes custos não devem ser imputados às exigências de certificação, pois são relacionados às responsabilidades das empresas do setor sucroalcooleiro para com a população por elas afetadas.

Conclusões

As empresas do setor sucroalcooleiros, por seu porte e localização na área rural, podem melhorar, de forma significativa, as condições sociais da população local. Todavia, nem todas tem consciência de suas obrigações nesta área e legislações e políticas públicas devem ser elaboradas para corrigir este problema.

Certas regiões, como o estado de São Paulo, podem servir de modelo para orientar a expansão da produção de álcool para outras áreas. O conceito de "cluster" pode ser muito bem utilizado para maximizar os benefícios sociais para populações afetadas.

• Integridade

O requisito de integridade pode ser perfeitamente satisfeito pela legislação existente no país. Os casos de desvio de conduta ou ações criminosas devem ser investigados e punidos.

Legislação local e nacional

Código Civil vigente e a Constituição federal são as principais armas para o combate à corrupção.

Critérios e normas internacionais

Não há o que ser mencionado neste item.

Atendimento aos critérios

A violação deste critério é uma questão criminal e deverá ser tratada como tal.

Custos

Não há custos adicionais relacionados a este item.

Conclusões

Trata-se de um critério que tem que ser cumprido, por força da lei.

7.3.4.6 – Meio ambiente

A avaliação dos impactos ambientais da expansão da produção de etanol é uma questão que depende muito das condições locais mas alguns pontos críticos podem ser avaliados preliminarmente de uma forma mais global. Os impactos são decorrentes do cultivo da cana mas as usinas propriamente ditas contribuem também com o uso intensivo da água, produção de efluentes e emissões de chaminé. É uma exigência legal para se obter a autorização de instalação e operação a realização do Estudo de Impactos Ambientais (EIA) e do RIMA (Relatório de Impacto Ambiental) o que já assegura que o empreendimento tem condições de atender a legislação ambiental. Além disso, várias usinas já estão sendo certificadas pela norma ISO 14.000, que prevê a existência de um sistema adequado de gestão ambiental.

Contraopondo-se aos impactos negativos no meio ambiente da produção de álcool estão os impactos positivos decorrentes do uso do álcool, que são, principalmente, a redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE) e a redução da poluição urbana com a substituição da gasolina por etanol.

A seguir, serão abordados os principais tópicos relacionados aos impactos no meio ambiente.

- **Gerenciamento de rejeitos**

Os principais rejeitos do processo produtivo do etanol são a vinhaça, torta de filtro, cinzas das caldeiras e águas residuárias. As cinzas representam um pequeno volume em relação aos outros efluentes e é totalmente reciclada para a lavoura; as águas residuárias são misturadas na vinhaça. Assim, apenas a vinhaça e a torta de filtro são tratadas aqui. A vinhaça é um resíduo da destilação do vinho para recuperação do etanol e é tratada com mais detalhe em outra seção deste relatório.

A composição química e características físicas da vinhaça dependem da matéria-prima utilizada na fermentação (melaço, caldo ou mistura deles) e é produzida na faixa de 10 a 15 litros por litro de etanol. No início do Proálcool a vinhaça se constituiu de uma ameaça ecológica uma vez que era lançada nos corpos de água; seu alto DBO e DQO e baixo pH produziam impactos negativos fortes na flora e fauna aquática, sobretudo pela remoção do oxigênio dissolvido.

A legislação ambiental evoluiu e proibiu, inicialmente, o lançamento da vinhaça nos corpos de água e depois estabeleceu critérios para sua distribuição nos canaviais. Ela substituiu uma parte significativa dos fertilizantes químicos principalmente potássio e nitrogênio, tornando-se um insumo de razoável valor econômico, com tecnologia de aplicação nos canaviais bem desenvolvida e eficiente. Experimentos realizados no CTC mostram que além de substituir parte da demanda de nitrogênio e potássio, a vinhaça eleva o pH do solo, aumenta o teor de matéria orgânica, aumenta a capacidade de troca catiônica, melhora a estrutura física do solo, disponibiliza alguns nutrientes, aumenta a capacidade de retenção de água e desenvolvimento da microflora e microfauna do solo.

No lado negativo, estão os riscos de contaminação do lençol freático e dos corpos de água por vazamentos, e os odores desagradáveis resultantes de sua fermentação no campo. Testes com a biodigestão da vinhaça em escala comercial mostraram sua viabilidade técnica e inviabilidade econômica.

Com a expansão em larga escala da produção da vinhaça, seus impactos precisam ser estudados com mais detalhes.

A torta de filtro resulta do lodo dos cantadores, do sistema de purificação do caldo, após o processo de recuperação de parte do açúcar deste lodo através de filtros a vácuo ou prensas desaguadoras. Ela é produzida na taxa de 30 a 40 kg por tonelada de cana e é totalmente reciclada de volta ao canavial, aplicada nos sulcos do plantio da cana. Ela pode ser aplicada diretamente sem tratamento ou após compostagem com bagaço.

Assim, os impactos destes rejeitos são controlados não chegando a causar problemas ambientais.

Outros tipos de rejeitos como embalagem de agrotóxicos são adequadamente tratados antes do descarte.

Legislação local e nacional

A vinhaça tem sido objeto de várias legislações devido ao volume gerado e ao seu potencial poluente. Já em 1978, o Ministério do Interior baixou a portaria MINTE R 323 proibindo o lançamento da vinhaça nas águas superficiais.

Sucessivas Resoluções CONAMA, 0002 (1984) e 0001 (1986) determinaram a realização de estudos e elaborações de normas para controlar os efluentes das destilarias e estabeleceram a obrigatoriedade do EIA e RIMA.

Recentemente, a Secretária do Meio Ambiente de São Paulo, junto com o setor produtivo desenvolveram uma Norma Técnica visando aprimorar a aplicação da vinhaça nos canaviais.

De um modo geral, a Resolução 313/02 do CONAMA dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais.

Critérios e normas internacionais

Existem normas internacionais sobre a proteção dos corpos de água e do meio ambiente como um todo, mas não foram avaliadas neste trabalho.

Atendimento aos critérios

De um modo geral, as usinas atendem às normas e regulamentação sobre o gerenciamento de seus efluentes. Falhas acontecem por acidente ou mau gerenciamento e são normalmente punidas com multas.

Custos

A reciclagem da vinhaça e da torta de filtro trazem benefícios econômicos para as usinas devido à economia de adubos químicos que proporcionam. Estes benefícios não foram quantificados aqui.

Conclusões

Os efluentes do setor sucroalcooleiros são razoavelmente bem administrados, não causando impactos negativos ao meio ambiente. Todavia, com uma expansão e melhora da escala do etanol a produção e disposição da vinhaça precisa voltar a ser estudada.

• Uso de agroquímicos

O uso de agroquímicos na agricultura em geral, e na cultura da cana em particular, tem um potencial poluidor considerável principalmente no que diz respeito às águas superficiais e lençol freático.

A Agenda 21 busca promover o uso de controle biológico de pragas como forma de reduzir o uso de agrotóxicos. A cultura da cana-de-açúcar usa extensivamente o controle biológico de pragas, reduzindo assim o uso de agrotóxicos neste setor. Todavia, o nível de uso de herbicidas e fertilizantes químicos não é desprezível. O uso de OGM pode reduzir mais ainda o uso de agrotóxicos, mas isto ainda não está equacionado no Brasil.

A agricultura orgânica é uma forma de se reduzir significativamente o uso de agroquímicos; em São Paulo, a usina São Francisco tem 13.500 ha de canaviais com certificação internacional para a produção orgânica. Os custos elevados desta prática tem limitado seu uso a nichos de mercado para açúcar orgânico.

No uso de inseticidas, a cana é semelhante ao milho e bem mais baixo que a soja, os citros e o café. O uso de fungicidas e acaricidas pode ser considerado nulo.

Quanto ao uso de herbicidas, a cana-de-açúcar com uma média de 4,9 kg/ha (UNICA, 2005) fica bem próximo das outras principais culturas do país: soja, milho, citros e café.

Comparado com outros países, o Brasil utiliza muito menos fertilizantes no cultivo da cana-de-açúcar, provavelmente por causa do uso da vinhaça. Em relação a outras culturas no Brasil, a cana, com média de 460 kg/ha, ocupa o quarto lugar em uso de fertilizantes, atrás do algodão, café e laranja.

Legislação local e nacional

O controle de agrotóxicos no Brasil é regido pela Lei 7.802 de 11/07/89, regulamentada pelo Decreto 4.074 de 04/01/02, que lista de forma detalhada os procedimentos para utilização dos agrotóxicos.

A Lei 6.894/1980 dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, e biofertilizantes destinados à agricultura.

Crítérios e normas internacionais

A Agenda 21 é um dos principais instrumentos de orientação em relação aos cuidados no uso e controle dos produtos agroquímicos.

Atendimento aos critérios

Existe um conjunto consistente de leis e normas que regulamentam os vários aspectos relacionados aos agrotóxicos. É razoável se esperar que sendo atendidas estas leis e normas o processo de certificação não seria problema.

O ponto fraco do sistema é o controle de aplicação destas leis que conta com uma fiscalização considerada fraca.

Custos

Não há valores estimados para este item.

Conclusões

O Brasil é um usuário a baixo da média de agrotóxicos, pelos padrões internacionais.

A cana-de-açúcar não é uma cultura problemática sob este aspecto.

• Proteção do solo contra erosão e conservação de nutrientes

A cana-de-açúcar é uma cultura semi-perene e por isso não é particularmente crítica em relação à erosão do solo. Duas tendências são muito importantes para reduzir ainda mais a gravidade deste problema: a expansão para áreas mais planas e o crescimento da colheita sem queima. O plantio direto, que é uma tecnologia emergente no setor, vai reduzir ainda mais as perdas de erosão.

Vários experimentos e medições (SMEETS et alii, 2006 e UNICA, 2005) colocam a cana-de-açúcar muito atrás das outras culturas no Brasil, com apenas 12,4 t/ha/ano; o arroz lidera neste item com 25,1 t/ha/ano seguido pelo algodão, soja e milho, com 24,8, 20,1 e 12,0 t/ha/ano, respectivamente. A perda de água de chuva no caso da cana é estimada em 4,2%, enquanto a soja lidera com 11,2% e o algodão tem 9,7%.

Estudos do CTC mostram que em um experimento sem e com palha na superfície do solo, a perda de solo por erosão com a cobertura de palha foi reduzida a um terço, assim como a perda de água de chuva.

Quanto à conservação da fertilidade do solo, o fato da cana-de-açúcar ser cultivada nas mesmas áreas com crescente produtividade é uma demonstração real que a cultura da cana não empobrece os solos.

Legislação local e nacional

A lei 8171/91 que dispõe sobre política agrícola estabelece que o solo deve ser respeitado como patrimônio natural do país.

A proteção da cobertura dos solos e conservação de nutrientes é tratada tanto na legislação ambiental como pelas portarias e resoluções do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA, envolvendo o zoneamento agrícola das áreas agriculturáveis.

Crítérios e normas internacionais

Nada foi encontrado em relação a este item.

Atendimento aos critérios

Erosão do solo e conservação de nutrientes são pontos que não devem preocupar em um processo de certificação.

Custos

Não há quantificação de custos em relação a esses itens pois eles não devem ter impactos mensuráveis.

Conclusões

A cana-de-açúcar não parece apresentar maiores problemas em relação a perdas de solo por erosão pois ela se situa abaixo das principais culturas do país neste item. O aumento do corte de cana sem queimar e do uso de áreas planas vão reduzir ainda mais estas perdas. A tecnologia do cultivo mínimo que está se popularizando no setor também vai contribuir para melhorias nesta área.

O aumento contínuo da produtividade da cana plantada há décadas na mesma área é uma indicação inequívoca de que esta cultura não induz perdas de fertilidade do solo.

• Preservação das águas superficiais e do lençol freático

O Brasil é o país do mundo com a maior disponibilidade de água doce na superfície e em lençóis subterrâneos que é associada a uma demanda *per capita* bem abaixo da média mundial. Quase $\frac{3}{4}$ dos recursos hídricos superficiais estão na bacia hidrográfica Amazônica; as vazões específicas médias variam de menos de 2 l/s/km² nas bacias da região semi-árida, até mais de 40 l/s/km² no noroeste da Região Amazônica. A vazão média anual dos rios em território nacional é de 179 mil m³/s, que corresponde a cerca de 12% da disponibilidade mundial de água doce.

A precipitação anual média no país é de 1.797 mm com a maior média regional de 2.239 mm, ocorrendo na região Amazônica; os menores valores ocorrem nas regiões hidrográficas do São Francisco (1.037 mm), Atlântico Leste (1.058 mm) e Parnaíba (1.117 mm). Algumas regiões do semi-árido nordestino recebem menos que 600 mm/ano de chuvas.

A situação da evapotranspiração é mais crítica nas regiões do Parnaíba (94% da precipitação), Atlântico Nordeste Oriental (93%), Atlântico Leste (89%), São Francisco (86%) e Paraguai (85%), todas com a evapotranspiração atingindo acima de 85% da precipitação média, levando a baixos valores percentuais de escoamento superficial efetivo.

A relação entre as demandas e disponibilidade de recursos hídricos é o principal indicador da real utilização da água. Neste aspecto, a região Atlântico Nordeste

Oriental é a mais crítica, onde quase todas as sub-bacias apresentam uma relação entre demanda e disponibilidade acima de 40%. A Figura 7.4.6-1 mostra a situação da relação demanda/disponibilidade em todo país (URIESTE, 2005).

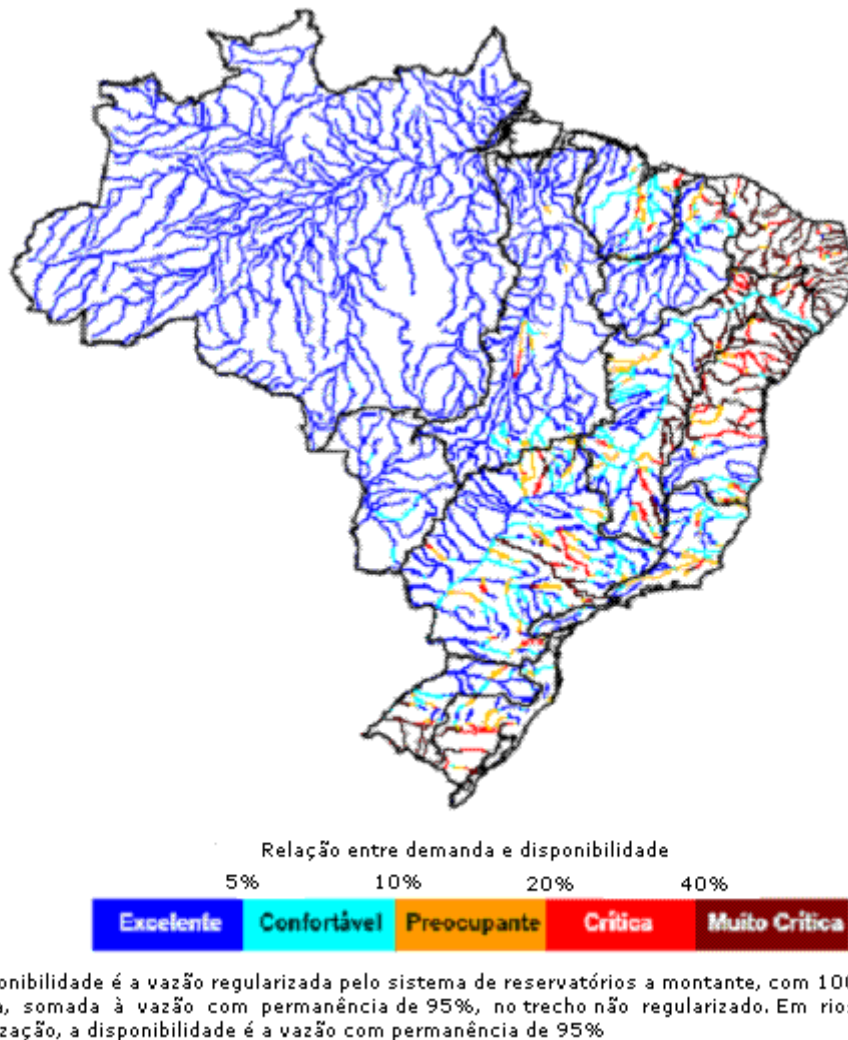


Figura 7.4.6-1: Relação entre demanda e disponibilidade de recursos Hídricos no Brasil

Em relação às águas subterrâneas, a situação do Brasil também é muito confortável. As reservas renováveis no país chegam a 4 2.000 m³/s, que corresponde a 24% do escoamento, total médio dos rios em território nacional. Considerando que as reservas utilizáveis correspondem a 20% das renováveis, tem-se cerca de 8.400 m³/s como disponibilidade hídrica de águas subterrâneas.

A demanda de água (vazão de retirada) no Brasil é de 1.592 m³/s, sendo que cerca de 53% deste total (841 m³/s) são consumidos, não retornando às bacias hidrográficas. A destinação da vazão de retirada é 40% para irrigação, 27% para abastecimento urbano, 17% para indústria, 13% para animais e apenas 3% para abastecimento rural. A irrigação responde por quase 70% da água consumida no país; pelo Censo Agropecuário do IBGE de 1996, o Brasil tinha pouco mais de 3,1 milhões de hectares irrigados, ou seja, menos de 6% da área plantada de 55 milhões de hectares. A região

hidrográfica do Paraná concentra as maiores taxas de vazões de retirada (30%) e consumo (23%) de água no país.

A cana-de-açúcar não é irrigada no Brasil, a menos de alguns casos esporádicos, e isso reduz bastante a demanda de água na produção de etanol. Toda via, a área industrial é um grande consumidor de água em relação a outras indústrias.

Numa usina que direciona a metade da cana para etanol e metade para açúcar, as condições médias de uso de água indicam 21 m³/t cana, dos quais 87% são utilizados nos circuitos de lavagem de cana, condensadores do setor de açúcar, condensadores da destilaria e resfriamento das dornas. É importante notar que na maioria das usinas, estes circuitos são fechados sendo o consumo real de água apenas nas quantidades necessárias para repor as perdas por evaporação, vazamento e purgas.

Um levantamento realizado pelo CTC em 34 usinas da Copersucar em 1997, indicou volumes e específicos de 5,07 m³/t de cana para captação, 0,92 m³/t de cana para consumo e 4,15 m³/t de cana para lançamento (UNICA, 2005). Avaliações mais recentes indicam 1,83 m³/t de cana para captação mostrando uma convergência para um valor em torno de 1 m³/t de cana, conforme sugerido pelo CTC. O aumento do percentual de colheita de cana mecanizada vai eliminar paulatinamente a lavagem de cana.

No que diz respeito à contaminação dos corpos de água, o fato de não utilizar a irrigação deixa a cultura da cana em uma situação confortável. Não há arrastos de agrotóxicos e solo de modo que pela avaliação da EMBRAPA (SMEETS et alii, 2006) o impacto da cana-de-açúcar é classificada como nível 1, que significa sem impacto.

Já na área industrial, como já mencionado anteriormente, existem efluentes que possuem um potencial poluidor significativo, mas suas disposições já se encontram razoavelmente equacionadas.

Segundo SMEETS ET AL. (2006), três parâmetros são de máxima importância na poluição da água por efluentes:

- Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), para a determinação do material orgânico consumidor de oxigênio, e a Demanda Química de Oxigênio, que indica o conteúdo de substâncias oxidáveis encontradas na água.
- Sólidos Totais em Suspensão (mg/l) para estabelecer a quantidade total de matéria em suspensão (principalmente compostos inorgânicos).
- pH para identificar casos extremos que possam causar danos aos organismos vivos.

Um levantamento feito em 34 usinas da Copersucar (ELIA NETO, 1995) indicou uma carga orgânica remanescente de 0,199 kg DBO₅ por tonelada de cana, que correspondia a uma eficiência de tratamento de 98,40% quando comparada com o potencial poluidor dos efluentes gerados. A fertilização dos canaviais com efluentes é uma forma básica de disposição de matéria orgânica, com grandes benefícios econômicos e ambientais.

Os principais efluentes das usinas e seus tratamentos são descritos a seguir (UNICA, 2005).

- Água de lavagem de cana: 180 a 500 mg/l de DBO₅ e alta concentração de sólidos em suspensão. O tratamento é em lagoas de decantação e de estabilização, para o

lançamento em corpos de água ou a decantação e correção de pH (entre 9 e 10) para os casos de circuito fechado.

- Água de resfriamento dos condensadores da fábrica de açúcar: baixa potência poluidora (10 – 40 mg/l de DBO₅) e temperatura em torno de 50°C, exigindo apenas o resfriamento para abaixo de 40°C.
- Vinhaça e águas residuárias: grande volume e carga orgânica da ordem de 175 g DBO₅/l de álcool produzido. A vinhaça é misturada com as águas residuárias e depois utilizada na lavoura como fertilizante com grandes benefícios para os canaviais. Em casos de vazamentos acidentais, a vinhaça pode provocar sérios danos nos corpos de água atingidos. Alguns novos casos de derramamentos de caldo de cana e melão em rios foram reportados; nestes casos os poluidores foram autuados e multados de acordo com a lei.

Legislação local e nacional

A legislação brasileira relativa ao uso da água e proteção contra contaminação dos corpos de água é bem completa e razoavelmente aplicada nas regiões mais desenvolvidas. Em regiões mais remotas e menos populosas a fiscalização é fraca e ocorrem freqüentes abusos.

Na proteção do meio ambiente de uma forma mais ampla e das águas em particular, cumpre destacar as seguintes leis e decretos.

- Lei 6.938/81: estabeleceu a Política Nacional do Meio Ambiente com o objetivo de compatibilizar o desenvolvimento econômico e social com a preservação da qualidade do meio ambiente e do equilíbrio ecológico.
- Decreto Federal nº 99.274/90: regulamentam o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA) que tem o objetivo principal de coordenar a gestão integrada das águas.
- Decreto Federal nº 24.643/34: estabeleceu o Código de Águas, que é a legislação básica de águas do Brasil.
- Lei 9.433/97: instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.
- Constituição Federal de 1988: estabelece que são bens da União os lagos, rios e quaisquer correntes em terrenos de seu domínio, ou que banhem mais de um estado da federação, sirvam de limite com outros países ou se estendam a ou provenham de território estrangeiro, bem como terrenos marginais e as praias fluviais.
- Lei Estadual de São Paulo nº 11.504/94 trata da outorga pelo uso da água a nível estadual, complementando a Lei federal 9.433/97.
- Lei Estadual de São Paulo nº 7.663/91: estabelece normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos.

O sistema de cobrança pelo uso da água está em desenvolvimento no país e já se encontra em um estágio bem avançado no estado de São Paulo. O fundamento legal para esta cobrança remonta ao Código Civil de 1916. O Código das Águas (Decreto Lei 24.642/34) estabeleceu que o uso comum das águas pode ser gratuito ou retribuído. Finalmente a Lei 9433/97 definiu a cobrança como um dos instrumentos de gestão dos recursos hídricos. Agência Nacional de Águas (ANA) foi criada pela Lei 9984/2000 que lhe atribuem a competência para implementar, em conjunto com os Comitês de Bacias

Hidrográficas, a cobrança pelo uso dos recursos hídricos de do único. Na esfera estadual, até o momento, 24 estados e o DF já aprovaram Leis sobre Política e Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos; todas as leis já aprovadas incluíram a cobrança pelo uso dos recursos hídricos como instrumento de gestão.

Crítérios e normas internacionais

Existe um número razoável de padrões e orientações relativos à contaminação das águas que poderão vir ser adotados no futuro como um dos critérios de certificação. Vale desta car a Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants, a Basel Convention, diretrizes do Banco Mundial e do Global Reporting Initiative e os requisitos mínimos do GTZ da Alemanha.

Algumas destas normas e diretrizes deverão ser selecionadas para futuros estudos.

Atendimento aos critérios

O atendimento às normas ambientais e de recursos hídricos é razoavelmente aplicado nas regiões mais desenvolvidas e populosas. Os desvios são normalmente punidos com autuações e multas, mas o sistema judicial brasileiro é moroso em concretizar estas multas nos casos mais graves.

Em áreas remotas e menos populosas o atendimento às leis ambientais não é fiscalizado como deveria ser.

Custos

O atendimento às normas e leis ambientais implicam em custos para as usinas, mas que são normalmente incluídos nos custos operacionais atuais. A cobrança de água que se avizinha vai trazer custos adicionais na produção do etanol que podem ser significativos em alguns casos.

Os custos de atendimento a normas internacionais não foram estimados devido ao grande número e diferentes impactos destas normas.

Conclusões

O Brasil tem uma legislação ambiental e de águas muito bem estruturada, que deve facilitar a certificação internacional do etanol brasileiro. A capacidade do setor sucroalcooleiro atender algumas legislações internacionais ainda não está definida.

Emissões atmosféricas

O setor sucroalcooleiro é responsável por emissões atmosféricas de duas origens.

- Queimadas de cana;
- Chaminés das caldeiras.

As queimadas de cana na pré-colheita são praticadas na maioria dos países produtores de cana e tem a finalidade de aumentar a produtividade da colheita (manual ou mecânica) e proteger o trabalhador na colheita manual. Os vários trabalhos já executados para se avaliar o impacto das queimadas na saúde da população local ainda

não apresentaram resultados conclusivos. O carvãozinho, cinzas volantes, é o principal ponto de reclamação da população afetada e não se constitui em uma ameaça à saúde.

Existem leis Federal e Estadual de SP que estabelecem cronograma para o fim das queimadas, como será visto adiante.

Nas emissões de chaminés de caldeiras a bagaço o material particulado (MP) e os óxidos de nitrogênio (NO_x) são controlados por legislação do CONAMA. As novas caldeiras instaladas e grande parte das antigas caldeiras com lavadores de gases atendem a legislação.

Em contrapartida, o uso do álcool em veículos leves tem contribuído para reduzir a poluição dos centros urbanos. Estudos da CETESB mostram que o álcool contribuiu muito no passado para a redução dos indicadores de poluição. O estudo de 1990 estimou que se a frota da época fosse constituída apenas por veículos a álcool haveria uma redução de 65% para CO e de 58% para HC em relação a frota exclusivamente a gasolina.

Hoje, com o desenvolvimento dos sistemas de injeção eletrônica e catalizadores de três vias nivelaram as emissões dos veículos com os dois tipos de combustíveis.

Legislação local e nacional

Vale destacar a Lei Federal 2.661/98 e a Lei Estadual de SP nº 11.241/2002 que regulamentam a redução da queima de cana ao longo do tempo. A lei federal prevê o fim escalonado, com reduções de 25% a cada 5 anos, das queimadas nas áreas mecanizáveis (declividade < 12%) em 2018; ela não definiu o cronograma para o fim das queimadas nas áreas não mecanizáveis.

A lei estadual de São Paulo estabelece para 2021 o fim das queimadas nas áreas mecanizáveis e para 2031 o fim das queimadas nas áreas não mecanizáveis.

A legislação do CONAMA para emissões veiculares prescreve o teste de homologação de acordo com o procedimento americano FTP75 e estabelece os mesmos limites para CO, HC, NO_x , Aldeídos, evaporativas tanto para veículos a gasolina como para veículos a etanol.

Critérios e normas internacionais

Para as emissões veiculares o Brasil adota as normas da USEPA para veículos ciclo Otto e as normas européias para veículos ciclo diesel.

Quanto as queimadas, o quadro regulatório internacional não está claro. Mas no futuro, as queimadas da cana vão ser eliminadas no Brasil.

Atendimento aos critérios

Este tópico não foi detalhado pois diz respeito a emissões locais.

Custos

O fim das queimadas vai aumentar um pouco o custo da colheita da cana mas este ponto precisa ser detalhado melhor.

Conclusões

As emissões atmosféricas do setor sucroalcooleiro estão submetidas a leis bem definidas e não deverão ser entraves nos processos internacionais de certificação.

- **Uso de Organismos Geneticamente Modificados (OGM)**

O desenvolvimento de cana transgênica no Brasil está sendo feito de forma comercial em duas instituições, ambas em São Paulo: o Centro de Tecnologia Canavieira e a Allelix. Todavia, hoje não é permitido o uso de variedades de cana-de-açúcar transgênica, o que tem limitado seu uso a pequenos plantios experimentais muito bem controlados.

Legislação local e nacional

O desenvolvimento e uso comercial ou não, de OGM's no Brasil é controlado pela CTNBIO Comissão Técnica Nacional de Biotecnologia, que tem o poder de licenciar os testes e os usos dos OGM's.

Critérios e normas internacionais

As normas internacionais sobre o uso de OGM's são muito variadas. Nos Estados Unidos existe grande facilidade para o uso de OGM's enquanto que na Europa os países são bem restritivos.

Atendimento aos critérios

Como o Brasil não usa cana transgênica os critérios internacionais estão automaticamente atendidos.

Custos

O uso de cana transgênica deve trazer reduções significativas nos custos de produção de etanol.

Conclusões

O Brasil deve ficar atento para a possível rejeição do uso de cana transgênica na produção de etanol para exportação.

7.3.4.7 Comentários finais

Os futuros processos de certificação da produção de etanol quanto a sustentabilidade, terão que ser feitos regionalmente por usina ou conjunto de usinas, devido às especificidades de cada região. O agrupamento das usinas em "clusters", conforme sugerido neste projeto, facilitaria este processo de certificação pois os impactos socioeconômicos na população local ficariam mais evidentes. Os impactos negativos seriam mais facilmente identificados e as medidas mitigadoras seriam aplicadas em conjunto e de forma organizada.

A geração, tratamento e disposição da vinhaça terão que ser cuidadosamente avaliados face aos grandes volumes que serão produzidos com a expansão. Os estudos de

sustentabilidade da produção de etanol nas várias áreas selecionadas neste projeto (17 no total) servirão para indicar os critérios para a priorização destas áreas e orientar as políticas públicas para direcionar a expansão.

7.4 Recomendação de medidas mitigadoras

As medidas mitigadoras dos impactos ambientais deverão ser sugeridas após as análises ambientais regionais principalmente nas Análises Ambientais Estratégicas, e mais particularmente nos EIA/RIMA's específicos de cada empreendimento.

A legislação ambiental e de uso de águas no Brasil é bem estruturada e madura, vindo sendo aplicada há muitos anos. Desde o início do Proálcool ela tem sofrido sucessivas melhorias e aperfeiçoamento, já introduzindo medidas mitigadoras relativas aos principais impactos da cadeia produtiva do setor sucroalcooleiro. O setor tem incorporado bem as exigências legais ao processo agroindustrial. Uma das novidades mais recentes foi o estabelecimento de prazos de validade para os licenciamentos: Licença Prévia até 5 anos, Licença de Instalação até 6 anos e Licença de Operação com validade de 4 a 10 anos (UNICA, 2005). Este fato mantém o processo de avaliação de impactos e das medidas mitigadoras atualizados periodicamente e levando em conta os avanços da legislação ambiental.

8. IDENTIFICAÇÃO DAS NECESSIDADES DE P&D E SUGESTÃO DE ALTERNATIVAS PARA SEU FINANCIAMENTO (“FUNDO SETORIAL”)

8.1 Identificação das áreas mais propícias para investimentos em P&D no setor sucroalcooleiro

A metodologia empregada para a identificação das áreas de maior impacto para pesquisas no setor sucroalcooleiro foi baseada em reuniões com grupos de trabalho formado por especialistas nos respectivos temas.

Antes de entrar na identificação das áreas mais propícias de P&D em cana-etanol propriamente dita, uma questão de fundo deve ser levantada e discutida: a fotossíntese da cana de açúcar, seus limites. Neste sentido o Coordenador deste projeto Prof. Rogério Cezar de Cerqueira Leite realizou alguns cálculos visando discutir os fatores que devem ser considerados para se conhecer com que eficiência a cana-de-açúcar converte a luz solar em biomassa. Estes cálculos e suas considerações irão dar subsídios aos geneticistas e técnicos do setor para uma discussão sobre o potencial genético da cana e seus limites teóricos de conversão energética.

8.1.1 Pesquisas básicas no setor do álcool

Com freqüência a busca de aumento da produtividade da cana-de-açúcar (cana) em relação ao etanol deságua em especulações sobre otimização da eficiência da fotossíntese. Vamos, portanto, examinar este parâmetro, pois ele pode nos orientar no que diz respeito a direções promissoras para pesquisas que resultem em aumento de produtividade.

Definimos eficiência energética da fotossíntese (η) como sendo a razão entre a energia da radiação incidente e aquela armazenada na forma de biomassa.

Chamamos de constante solar (S) a energia de radiação eletromagnética que incide em um plano perpendicular à direção de incidência e colocado a uma distância igual àquela da superfície do Sol à superfície da Terra por hora. $S = 1,30 \text{ kW/m}^2$.

30% da energia é refletida por nuvens, espalhada por gotículas (efeito Tyndal), átomos e moléculas (Rayleigh), absorvidas por moléculas e átomos, ou refletidas por particulados. 70% chega à superfície sólida da Terra (η_R). A Figura 8.1.1-1 mostra o espectro solar em conjunto com os espectros de absorção das clorofilas I e II. Estão também incluídas as energias críticas. $E_{CC} = 3,6 \text{ eV}$ que rompe uma ligação carbono-carbono e $E_C = 5,2 \text{ eV}$ que é necessária para a fixação de um átomo de Carbono extraído do CO_2 .

$E_1 = 1,88 \text{ eV}$ e $E_2 = 2,9 \text{ eV}$ são os picos de absorção da clorofila I e clorofila II. Como se pode inferir desta figura nem toda a radiação é absorvida. Com a finalidade de distinguir esta perda de outras subseqüentes, mediu-se a eficiência de absorção da radiação quase-monocromática no vermelho ($\eta_V = 35\%$). A refletividade de uma folha vegetal é de 20%. A perda a ser considerada em seguida se deve ao fato de que o processo de fixação de Carbono necessita 8 quanta

(fótons), ou seja, se um fóton é absorvido com facilidade, ele será necessariamente emitido com facilidade.

Para que a energia obtida por um sistema (macromolécula) não seja perdida é preciso passá-la instantaneamente para outro centro capaz de armazená-la, com o que se perde um pouco de energia. Assim, a energia (excitação) passa por várias clorofilas até chegar a um centro que combina 4 excitações, que juntas vão criar um complexo molecular que concentra energia química que, não obstante, requer outro pacote de energia que deriva de outras 4 excitações. A cada passo há perda de energia (calor). E o que se calcula é compatível com o valor observado de 35% para η_V .

A intersecção das curvas de absorção do complexo de cloroplastos com a do espectro solar nos dá um valor muito próximo do experimental (laboratório) que é 4,5% (η_L).

Consideremos agora as perdas devido às posições e movimentos relativos entre o Sol e a Terra. Devido à rotação da Terra (η_{RT}) há uma perda de 70%. Devido à longitude e outras variações da direção de incidência da radiação, temos outra correção é de cerca de 20% para o Estado de São Paulo ($\eta_I = 0,8$).

O próximo fator de perda é o metabolismo da planta η_R que consome entre 20 e 50% da energia química que armazena a partir da energia solar e que, portanto, não concorre para a produção de fitomassa. Para espécies C4 como é o caso da cana, a perda é $\sim 20\%$ ($\eta_S = 0,8$).

Outro fator importante é aquele relacionado com a cobertura do espaço pela vegetação. Onde não há biomassa, não há fotossíntese. Somente após um certo nível de maturidade da planta estará o espaço em que incide a radiação solar ocupado pela vegetação. Usaremos o índice de 50% ($\eta_C = 0,5$).

E o último fator que levaremos em consideração é aquele referente à saturação de centros de absorção (pigmentos) e/ou de armazenamento ("traps"). Este fator é tão pouco compreendido que alguns modelos consideram que a reflexão múltipla nas várias camadas das folhas poderia dar um fator superior a 1, sem grande respeito pelo princípio de conservação da energia. Em realidade, reflexão e saturação estão intimamente ligados, pois se não houvesse saturação não haveria necessidade de multicamadas de folhas. São cerca de 300 clorofilas para cada "trap". Acima de uma certa intensidade da radiação haveria saturação e a baixas intensidades não haverá fotossíntese, pois os centros intervenientes na fase eletrônica do processo perdem a excitação antes da chegada do próximo fóton. Usaremos um fator η_P de 50% que parece adequado para C4s.

Podemos agora calcular um fator de perda mínima ou de eficiência máxima possível η_{max} e compará-lo com a produtividade real já obtida na prática.

$$\eta_{max} = \eta_R \times \eta_L \times \eta_R \times \eta_I \times \eta_S \times \eta_C \times \eta_P \quad (8.1)$$

$$0,7 \times 0,045 \times 0,3 \times 0,8 \times 0,8 \times 0,5 \times 0,5 = 15,1 \times 10^{-4}$$

$$E_{absorvida} = S \times \eta_{max} \times T = 172 \times 10^3 \text{ kWh/ha} \times \text{ano} \quad (8.2)$$

$$T = 8.760 \text{ horas e } 1 \text{ ha} = 10.000 \text{ m}^2$$

O que corresponde a aproximadamente 100 bep/ha x ano.

Ora, relatos de produtividades próximas de 100 toneladas de cana/ha x ano que correspondem a 8.800 l de álcool /ha x ano, seja 38 bep ha/ano, ou seja sem que se considere a energia da fibra (bagaço e palha) que tornaria este número aproximadamente 3 vezes maior.

Estes resultados mostram que aumento de produtividade é praticamente impossível a não ser por intermédio de hidrólise da fibra, pois o açúcar atingiu o excelente nível de produtividade, tendo em vista que na comparação acima não entraram bagaço e palha que correspondem a cerca de 2/3 da fitomassa.

Também fica claro que relatos de produtividade entre 200 e 300 toneladas/ano x ha são possivelmente fantasiosos.

Vamos agora examinar os vários fatores de perda envolvidos.

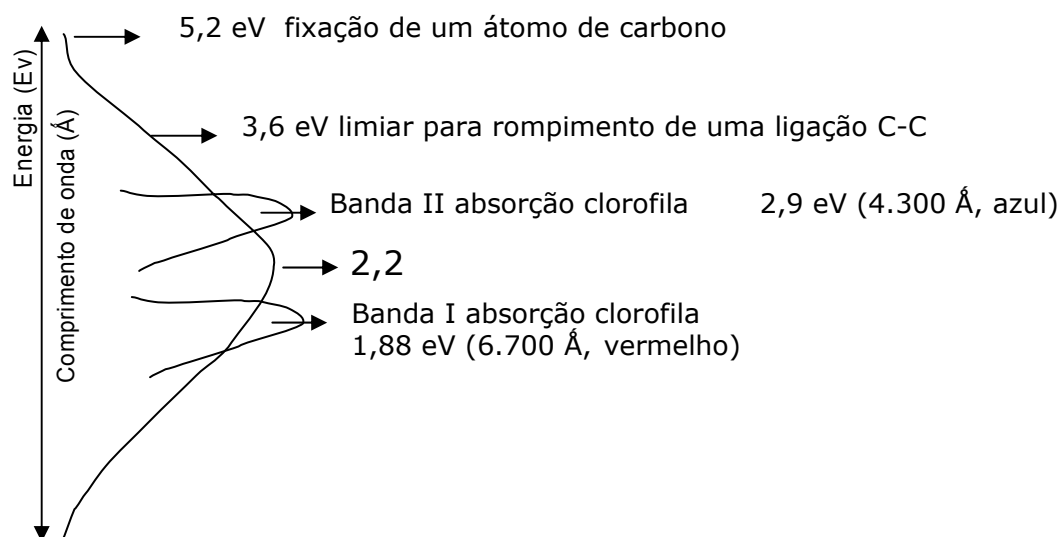
η_R , assim como η_{RT} e η_L são imutáveis.

η_L se refere ao mecanismo próprio da fotossíntese, talvez possa aumentar pela inclusão de novos centros de absorção de luz (pigmentos). A própria natureza já incluiu o caroteno. É, pois, possível embora extremamente complexo, melhorar o aproveitamento do espectro solar. O longo processo de transferência e armazenamento de energia posterior à absorção parece estar otimizado.

η_C , o parâmetro referente à cobertura média do espaço banhado por luz também pode ser alterado promovendo um crescimento mais rápido. Todavia, nos parece inócua uma tentativa de aumento da cobertura procurando incluir uma segunda safra, pois este índice já é suficientemente elevado. Por outro lado, talvez seja possível prolongar o período de crescimento por melhoria genética.

E enfim η_{resp} , as perdas devidas ao metabolismo interno, nos parece uma opção demasiadamente complexa para pesquisas e que permitiria ganho muito pequeno.

Espectro Solar ($1\text{eV} = 1,60 \times 10^{-19}$ Joules = $4,45 \times 10^{-26}$ kWh)



Esquema representativo das energias envolvidas

8.1.2 Áreas mais Propícias de P&D na Cadeia Produtiva Cana-Etanol

A cadeia produtiva cana-etanol foi subdividida em áreas consideradas chave na produção de etanol e usando como ferramenta básica a planilha de custo de produção global de etanol (áreas agrícola e industrial). Estas quatro áreas são: agrícola, industrial, sustentabilidade e energética.

A área agrícola abrange desde as questões de engenharia agrônômica (variedades, controles fito-sanitários, sistema de produção) e engenharia agrícola (novos sistemas de plantio, colheita, transporte, uso dos resíduos), enfim, uma nova concepção de todo o novo sistema "cana para energia".

Na área industrial, hoje ainda concebida para basicamente produzir açúcar deve ser transformada para atender as exigências de uma indústria que se transforma e outra que nasce. Os conceitos que valem hoje vão sendo modificados devendo gerar também um novo "padrão industrial". Nesse particular, vale dizer que o uso integral da cana para a produção de etanol e eletricidade deverá nortear as tecnologias futuras, reformulando toda a indústria.

Na área energética, aqui entendida de forma geral como o balanço energético global, a maximização dos seus principais fluxos de saída (etanol e energia elétrica) e minimização dos fluxos de entrada (menor uso de energia nos processos) recebe atenção especial. Isto se deve, pois é justamente também nessa área que se consegue uma diferenciação expressiva em relação ao milho e outras matérias primas.

Quanto à sustentabilidade, sabe-se que embora os indicadores presentes sejam bastante atraentes principalmente quando se compara o etanol produzido a partir da cana com o produzido a partir do milho, muito ainda pode ser melhorado. Hoje discute-se uma nova indústria do etanol com proporções muito maiores da indústria sucroalcooleira existente no país. Portanto esta nova indústria irá requerer um novo padrão ambiental de produção, o que se traduz na melhoria de seus indicadores sócio-econômico-ambientais.

Finalmente, também são indicadas áreas de investimento em P&D no uso final do etanol combustível. Entende-se que um grande esforço ao longo de toda a cadeia produtiva deve ser acompanhado e balanceado com um ganho de eficiência dos motores e outras aplicações.

Sendo assim são listadas, a seguir, as áreas mais propícias de P&D&I ao longo da cadeia produtiva da cana-de-açúcar, processamento e uso do etanol:

8.1.2.1 Área Agrícola

1. Desenvolvimento de técnicas para mapeamento de solos agrícolas;
2. Pesquisa sobre a interação entre variedade de solo e a disponibilização de mapas de solos detalhados;
3. Otimização de recursos hídricos acumulados no solo. Técnicas de plantio e variedades mais adequadas com o intuito de tirar melhor proveito da água acumulada no solo;
4. Desenvolvimento de novos sistemas de plantio e manejo do canavial, redefinir conceito de soqueira (hoje, geralmente com 5 a 6 cortes), safra e

- reforma do canavial, visando menor custo, menor compactação e maior disponibilidade da matéria-prima ao longo do ano;
5. Desenvolvimento de variedades transgênicas, por oferecer um importante potencial na redução do uso de herbicidas;
 6. Melhoramento genético de cana-de-açúcar: a) a partir de técnicas convencionais e/ou de engenharia genética; b) redução do tempo de obtenção de novas variedades; c) variedades mais resistentes a pragas e a secas; d) enfoque na maximização da produção de energia (cana-de-energia); e) para o cultivo em regiões brasileiras não tradicionais em cana (áreas selecionadas no projeto), como áreas de cerrado (MS, MT, GO, BA, TO, MA, PI);
 7. Desenvolvimento de técnicas para manejo de pragas e nematóides;
 8. Pesquisa no controle biológico de pragas;
 9. Pesquisa sobre a rotação de culturas é desejável tanto do ponto de vista ambiental como da fertilidade do solo;
 10. Desenvolvimento de novos sistemas de colheita crua (sem queimar) e aspectos agrônômicos da palha deixada no campo: sistemas mais econômicos, com menor compactação do solo e com melhor qualidade da matéria-prima (cana e palha) para uso industrial. Visão integrada da produção agrícola e industrial;
 11. Recuperação da palha originada da colheita de cana crua (sem queimar), tecnologias de recuperação e transporte;

8.1.2.2 Área Industrial

12. Desenvolvimento de sistemas de limpeza a seco da matéria-prima;
13. Processamento da cana-de-energia dentro da filosofia que tanto os açúcares como as fibras serão utilizados para a produção de álcool;
14. Desenvolvimento de processos de preparo da cana e extração do caldo para canas de alta fibra (relação fibra/açúcar maior que 2): extração hidrodinâmica, difusão, desfibradores ultra pesados, etc. Otimização dos processos de extração tendo como objetivos passar das eficiências de extração atuais (96,3%) para metas de 97,5-98%. Idem para redução do consumo energético associado aos processos de preparo e extração;
15. Desenvolvimento da tecnologia de hidrólise (ácida e enzimática): a) pré-tratamento da matéria-prima; b) obtenção de enzimas; c) otimização energética; d) integração das unidades de hidrólise à destilaria; e) infraestrutura de simulação de processos;
16. Otimização da produção de álcool dos açúcares e das fibras de forma combinada (estudar as alternativas separando-se os açúcares ou processando-se açúcares e fibra simultaneamente);
17. Reformulação dos processos de fermentação de mosto atuais (fermentação em batelada alimentada e fermentação contínua multi-estágio; ambos com reciclagem de fermento) afim de atingir um processo estável, independente da qualidade da matéria-prima e as condições climáticas (chuva, geada, etc), robusto no que se refere à resistência a contaminações, floculações, estabilidade da populações de fermento, operando a temperatura uniforme e com alta taxa de conversão de açúcares a etanol, grau alcoólico elevado, perdas de ART e fermento minimizadas.
18. Estudo de alternativas ao processo de fermentação anteriormente citado, tais como: processos com leveduras floculantes, processos com fermento imobilizado, processos de fermentação extrativa a vácuo ou através do emprego de solventes. Todas estas alternativas de substituição devem

- percorrer as rotinas de validação (passagem de laboratório à bancada, à piloto e à escala de demonstração) com avaliações técnicas e econômicas intermediárias;
19. Desenvolvimento genético de cepas e leveduras com maior poder de conversão e tolerância alcoólica, termo-tolerância, resistência à floculação;
 20. Redução da temperatura de fermentação ou desenvolvimento de população fermentativa, altamente adaptada a temperaturas elevadas, e agressiva em relação às outras populações termotolerantes;
 21. Redução do consumo do ácido sulfúrico em curto a médio prazo e desenvolvimento de alternativas para substituição do mesmo. Eliminação do emprego de antibióticos, desenvolvimento de alternativas ao emprego de antibióticos;
 22. Redução do custo da centrifugação no reciclo celular, porém mantendo sob controle as perdas de fermento e a rejeição de bactérias e sólidos;
 23. Padronização dos métodos de análise da fermentação e propostas de outros processos alternativos aos atuais;
 24. Redução da produção de vinhaça;
 25. Rotas para o tratamento da vinhaça: concentração por membranas, concentração térmica e cristalização de sais associada, biodigestão (mesofílica, termofílica e ultratermofílica e remoção do enxofre da vinhaça), remoção de sais da vinhaça por eletrodialise reversa, combustão da vinhaça concentrada;
 26. Redução do consumo de vapor na produção de álcool: uso de membranas (pervaporação e permeação de vapores), destilação multi-efeito, destilação a vácuo, recompressão térmica e mecânica de vapores (vapor de processo e vapores hidro-alcoólicos), etc.;
 27. Otimização energética do complexo de produção de álcool (convencional, hidrólise, Fisher Tropsch, outros produtos), redefinir processo para produção de energia (etanol e energia elétrica) sem a produção de açúcar;
 28. Substituição de insumos químicos derivados do petróleo por derivados da cana (renováveis): alcoolquímica, sucroquímica e outros produtos da cana (ceras, esteróis, aproveitamento terciário da levedura, etc.);
 29. Infra-estrutura para armazenagem, transporte e exportação do álcool;
 30. Desenvolvimento de uma matriz (ou modelo de cálculo) de custo de produção de etanol capaz de avaliar e validar o avanço do desenvolvimento da tecnologia, decidir quanto as rotas a adotar, às prioridades em pesquisa e desenvolvimento e quantificar os resultados do programa de P&D.

8.1.2.3 Área Energética

31. Ampliação da produção de bioeletricidade com máximo aproveitamento energético da cana-de-açúcar por meio de bagaço, palha, pontas, folhas, co-produtos e vinhaça;
32. Produção de biogás a partir da vinhaça;
33. Desenvolvimento de processo BIG/GT (produção de energia a partir da gaseificação da biomassa da cana) para operação ao longo de todo ano;
34. Integração do excedente de bioeletricidade produzida pelas usinas com o sistema hidroelétrico de potência existente no país;
35. Desenvolvimento e criação de pequenas centrais elétricas adequadas à forma de produção e necessidades de distribuição da energia elétrica produzida nas usinas;
36. Otimização energética das usinas e destilarias;

37. Desenvolvimento do processo de hidrólise do bagaço, estendendo a tecnologia para a palha;
38. Desenvolvimento de caldeiras que possam operar com alta temperatura usando palha como combustível, considerando o alto teor de álcalis e baixo ponto de fusão das cinzas;

8.1.2.4 Sustentabilidade

39. Instalação de sistemas eficientes de remoção de substâncias que possam poluir o ar, tais como material particulado, NO_x, SO_x, CO, etc.;
40. Otimização do uso da água nas usinas e destilarias, redução da captação, reaproveitamento de correntes de processo, otimização dos sistemas de resfriamento para redução do consumo por resfriamento evaporativo, estabelecimento do gerenciamento da captação de água e metas de redução;
41. Eliminação dos impactos originados pela combustão de fósseis (gás, petróleo ou carvão) durante as etapas de extração, transformação, transporte e combustão existentes nos processos de produção de energia térmica beneficiando a atmosfera, o solo, água, fauna e flora;
42. Pesquisa sobre rotação de cultura, buscando a preservação da fertilidade do solo. Iniciativas de controle da erosão do solo em todas as formas, evitando assoreamento de cursos de águas e bacias de acumulação. Otimização no uso de fertilizantes para proteção tanto do solo quanto dos aquíferos subterrâneos.

8.1.2.5 Uso Final

43. Otimização do uso do álcool combustível: a) otimização dos motores para uso do álcool (FFV, injeção direta, outros); b) uso do álcool em motores diesel (caminhões, ônibus, tratores); c) uso do álcool em motores de motocicletas; d) problemas levantados por países que pretendem usar álcool (elevação da pressão de vapor, corrosão, estabilidade da mistura, necessidade de aditivos);
44. Melhora das características do álcool como combustível (e.g., densidade energética, aditivos);
45. Uso de álcool em células a combustível (reformadores);
46. Desenvolvimento de novos produtos a partir do álcool (alcoólquímica).

Para a identificação das áreas mais propícias para investimentos em P&D poder-se-ia também seguir uma outra metodologia, inclusive já sugerida em documentos do CGEE para outras áreas do conhecimento. Trata-se da construção de "roadmaps tecnológicos" que podem orientar a tomada de decisões de investimento em P&D.

Neste sentido destaca-se um projeto de políticas públicas para o etanol atualmente em desenvolvimento pela FAPESP no qual se aplica uma metodologia que combina consulta a especialistas com um posterior mapeamento das possibilidades, dificuldades e oportunidades de cada rota tecnológica.

Esta metodologia é precedida de um estudo mais profundo de alternativas ou opções tecnológicas em cada etapa ou no conjunto dos processos que definem a produção de etanol a partir de cana-de-açúcar.

Neste projeto da FAPESP várias equipes de trabalho vêm discutindo o estado-da-arte nas áreas já mencionadas, identificando o que ainda deve ser estudado e investigado para escrever os "roadmaps" por área e conseqüentemente identificar as áreas específicas para investimentos em P&D e inovação tecnológica.

A seguir são apresentados indicadores técnicos para as respectivas áreas da cadeia produtiva cana-etanol e discutidas e quantificados os respectivos impactos destas melhorias.

8.2 Quantificação dos impactos destas melhorias

Segundo estudo do BNDES (Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social) o país precisará construir até 2010 cem novas usinas que possam aumentar em 8 bilhões de litros a produção atual de 17 bilhões litros de etanol, pois esse seria o patamar necessário para atender a evolução da demanda interna. O setor de etanol é um dos destaques na procura por financiamentos do BNDES. Em 2004, o banco desembolsou R\$ 580 milhões. Em 2006, R\$ 2,02 bilhões, alta de 248,27% (site Folha de São Paulo). Sabe-se que hoje existem cerca de 100 novos projetos de usinas em execução ou em estudos, quase a totalidade na região Centro-Sul do país.

No entanto, para que os investimentos no setor possam ser devidamente aproveitados com possibilidade de máxima rentabilidade a médio e longo prazos faz-se necessário que a cadeia produtiva seja analisada como um todo, isso inclui, além do conhecimento tecnológico, os custos agregados a cada melhoria nas diversas etapas. Esta melhoria dos indicadores deve ser compatível com os requisitos da nova indústria de cana para energia.

A quantificação dos impactos das melhorias tecnológicas pode ser analisada sob dois enfoques:

- em % de redução de custo de produção, que corresponde ao benefício bruto menos os custos associados, visando garantir a competitividade do etanol no longo prazo e,
- pelo aumento ou melhoria dos indicadores de sustentabilidade propiciando que a produção se faça num ambiente melhor, com menores impactos.

As tabelas que seguem apresentam valores médios de custos para várias etapas da produção de etanol:

Tabela 8.2-1: Custos médios da produção de cana

Fase	R\$/tc	%
Formação do canavial	5,56	17
Trato da cana planta	1,07	3
Trato da soqueira	8,79	27
Colheita e transporte	11,10	33
Administração agrícola	1,33	4
Remuneração da terra	5,31	16
TOTAL:	33,16	100

Fonte: Relatório Projeto Etanol – Fase 1 (IDEA, 2005)

Tabela 8.2-2: Custos de Industrialização da cana para produzir etanol

Item	Destilaria Autônoma (R\$/m³)	Destilaria Anexa (R\$/m³)
Salários e encargos	28,86	31,80
Depreciações	26,50	31,46
Produtos químicos	21,63	22,06
Óleos lubrificantes	3,43	3,47
Materiais de manutenção	20,97	22,53
Serviços de terceiros	8,74	9,73
Outros	22,58	25,84
TOTAL	132,70	146,90

Fonte: Relatório Projeto Etanol – Fase 1 (IDEA, 2005)

Tabela 8.2-3: Custos administrativos na produção de etanol

Item	Destilaria Autônoma (R\$/m³)	Destilaria Anexa (R\$/m³)
Salários e encargos	15,66	17,62
Serviços de terceiros	6,41	7,22
Outros	15,84	17,83
Assistência Social	8,96	10,08
TOTAL:	46,87	52,76

Fonte: Relatório Projeto Etanol – Fase 1 (IDEA, 2005)

Num estudo publicado pela COPERSUCAR em 1989 tentou-se quantificar os impactos das melhorias tecnológicas, em % de redução de custo de produção.

Tabela 8.2-4: Potencial Redução de Custo com as melhorias tecnológicas – estimados pela Copersucar em 1989

Setor	% Redução de Custo
Produção de cana (Agricultura)	
Seleção de variedades e manuseio	9,8
Aplicação de Calcário	1,6
Fertilizantes Líquidos	0,7
Uso de Vinhaça	1,0
Remoção de Ervas daninhas	2,1
Transporte	0,5
Planejamento operacional	3,4
Produção de Etanol (Indústria)	
Moagem	1,3
Fermentação	3,3
Destilação	0,3
Energia	1,5
Total (%)	23
Custo de Produção esperado com a % de redução (US\$/l de etanol)	0,20

Fonte: GOLDEMBERG (2000)

No entanto, estes valores e respectivos impactos já se encontram ultrapassados, dado que foi observado um importante ganho de produtividade nestes últimos 15 anos. Faz-se necessário hoje um estudo semelhante que permita, a partir de um modelo global de cálculo de custo do etanol, se avaliar as melhores oportunidades de redução de custos.

Abaixo estão listados indicadores técnicos que de alguma maneira representam quantitativamente a “saúde” do setor sucroalcooleiro no Brasil. A fim de melhor compreender a questão global ao longo de toda a cadeia produtiva dividiu-se este estudo por áreas, como feito anteriormente.

8.2.1 Evolução da tecnologia agrícola

Impactos expressivos deverão ocorrer na fase agrícola. Estudos revelam que a matéria-prima (cana-de-açúcar) é responsável por 60-70% dos custos de produção do etanol. Espera-se que além da redução de custos para os anos de 2015 e 2025 a produtividade cresça em toneladas de colmos de cana-de-açúcar por hectare por ano advindo da introdução de novas variedades. Estima-se que a produtividade possa chegar a 90,18 e 99,92 tc/ha.ano para São Paulo, 86,78 e 99,47 tc/ha.ano para o Centro-Oeste e 72,41 e 88,27 tc/ha.ano para o Norte-Nordeste.

Foram definidos três cenários básicos para a evolução tecnológica de produção de cana-de-açúcar, representando o estágio atual e as situações esperadas para o médio (2015) e longo (2025) prazos:

Cenário 1: preparo do solo convencional, plantio manual com adubação sólida, colheita manual de cana queimada; utilização de equipamentos convencionais de bitola inferior a 2,00 m e tráfego moderado.

Cenário 2: Preparo do solo reduzido com eliminação química de soqueiras, subsolagem e sulcação direta, plantio e colheita mecanizada de cana sem queimar, com recuperação parcial da palha; operações com a utilização de equipamentos convencionais de bitola inferior a 2,00 m e tráfego intenso.

Cenário 3: Plantio direto com eliminação química de soqueiras; em todas as operações serão utilizadas estruturas de bitola extra-larga com linhas definidas de tráfego, operando no esquema de agricultura de precisão, sem restrições de topografia; colheita simultânea de colmos e palha sem queimar, baixos níveis de perdas, sistema centralizado de manutenção e gerenciamento de frotas e de operações com dados captados, processados e realimentados via satélite.

Tabela 8.2-5: Indicadores de desempenho da Tecnologia Agrícola

Indicador de Desempenho	Valor Atual	Meta 2025	Ações
Uso de ECT's	0	100	Desenvolvimento de toda tecnologia de ECT (Estrutura de tráfego controlado)
Uso de plantio direto	< 5 %	100 %	Adequação dos processos de colheita e transporte; eliminação de soqueira química ou mecânica
Uso de mapas de produtividade georeferenciados	0%	100%	Quebra de paradigma
Teor de ART na cana-de-açúcar	159 kg ART/tc	176 kg ART/tc	Investimento em novas variedades de cana, colheita ocorrendo no tempo correto, eliminação das queimadas, desenvolvimento de tecnologias para evitar os efeitos de possíveis estiagens.
Pol	14,5 %	16%*	Melhoramento genético; variedades transgênicas
Perdas totais na colheita (visíveis e invisíveis)	5%	2%	Eliminação de queimadas; colheita de cana crua
Pragas – Cigarrinha da raiz	7 insetos/m	3 insetos/m	Controle biológico; retirada parcial do palhico
Pragas – Broca	7 % de colmos danificados	3,3 %	Controle biológico
Consumo de fertilizantes	N: 0,14 kg/tc P ₂ O ₅ : 0,70 kg/tc K ₂ O: 0,70 kg/tc	deve-se objetivar a redução do consumo, dados não disponíveis	Adequação da adubação ao tipo de solo, variedades e precipitação
Colheita de Cana Crua	20 %	100 %	Adequação do processo de colheita
Teor de terra na cana	5 kg/tc	1 kg/tc	Corte de base flutuante
Teor de terra na palha	50 kg/tc	3 kg/tc	
Recuperação da palha	0%	60%	Desenvolvimento de sistema de coleta

Tabela 8.2-5: Indicadores de desempenho da Tecnologia Agrícola (continuação)

Indicador de Desempenho	Valor Atual	Meta 2025	Ações
Custo de recuperação da palha	R\$40 /t	R\$10/t	Desenvolvimento de tecnologia de menor custo
Consumo de diesel na colheita mecânica	0,9 l/tc	0,38 l/tc	Adequação do processo de colheita
Consumo de diesel no transporte	0,98 l/tc	0,88 l/tc	Otimização do uso do diesel e mudar sistemas que empregam diesel
Consumo agrícola de diesel	3,5 l/tc	1,7 l/tc	Redução do preparo do solo; Adequação do processo de colheita
Longevidade do Canavial	5 anos	10 anos	Redução de tráfego; melhoramento genético; irrigação
Produtividade Agrícola	71,0 t/ha	85 t/ha**	Melhoramento genético; variedades transgênicas; otimização econômica do número de cortes

* ganho esperado de 0,5% ao ano no teor de sacarose

** para a região Centro-Sul

8.2.2 Evolução da tecnologia industrial

Os indicadores e medidas de desempenho levantados neste estudo serão responsáveis pela caracterização e diagnóstico do processo produtivo nos diversos setores da indústria sucroalcooleira.

Com isto, procurou-se obter valores que expressam o melhor desempenho nas etapas mais relevantes da produção do etanol e conseqüente padronização de suas unidades. Tais dados possuirão o mérito de direcionar e subsidiar algumas decisões técnicas e políticas.

As melhorias esperadas até 2025 no desempenho de tais indicadores são mostradas na tabela abaixo:

Tabela 8.2-6: Indicadores de desempenho da Tecnologia Industrial

Indicador de Desempenho	Valor Atual	Meta 2025	Ações
Perdas na lavagem de cana	0,47%	0%	Eliminação da lavagem; limpeza a seco
Extração de açúcar	96,3%	97,5-98%	Melhorias na moagem
Perdas na torta de filtro	0,54%	0,25%	Melhoria operacional
Rendimento fermentativo	89,7%	91-92%	Otimização da fermentação
Grau alcoólico do vinho	8,4°GL	10-12°GL	Redução da temperatura de fermentação
Relação vinhaça/etanol	11,9	9,5 - 7,9	Aumento do grau alcoólico do vinho
Teor de álcool na vinhaça	0,036%	0,015%	Introdução de sensores e automação
Produtividade de Álcool	83 l/tc	95 l/tc	Trabalho de desenvolvimento tecnológico
Produção de álcool anidro e hidratado*	<p>Álcool anidro 7,8 milhões m³/ano</p> <p>Álcool Hidratado 8,2 milhões m³/ano</p> <p>Total: 16 milhões m³/ano</p>	<p>Total: 36,9 milhões m³/ano</p>	Melhorias nas diversas etapas da produção
Eficiência Global	82,3%	89,5%	Melhoria da eficiência no tratamento do caldo e na destilação. Redução de perdas indeterminadas.

Fonte: UNICA

Algumas tecnologias novas, mas não utilizadas ainda, foram analisadas e indicaram um excelente potencial de redução do consumo energético. Como por exemplo, na desidratação do etanol o consumo de vapor poderá ser reduzido dos atuais 1,75 kg/l de etanol na desidratação azeotrópica, praticada hoje, para 0,11 kg de vapor/l de etanol do sistema de pervaporação (membranas).

Os principais problemas em relação à vinhaça foram identificados como sendo o grande volume produzido e o alto teor de sulfatos. O encaminhamento para solução destes problemas foi apresentado neste relatório na definição da "Usina Modelo" (OE2 e OE6).

8.2.3 Evolução da tecnologia energética

A indústria sucroalcooleira pode ser considerada bastante desenvolvida no que diz respeito à geração e consumo de energia elétrica. Praticamente todas as usinas de cana-de-açúcar do Brasil são auto-suficientes, produzindo mais kWh do que consomem através de turbinas que utilizam o vapor gerado nas caldeiras, disponibilizando o excedente à rede elétrica.

Espera-se, no entanto, que um melhor rendimento das caldeiras e das turbinas, com a utilização da palha recuperada para queima, mesmo com o desenvolvimento do processo de hidrólise (que irá consumir parte da energia elétrica gerada), a produção de energia elétrica aumente gerando lucros significativos por sua venda, ao mesmo tempo em que continue a atender suas demandas atuais. É importante que se observe que além do consumo adicional de eletricidade, a introdução da produção de etanol via hidrólise reduzirá a disponibilidade de biomassa para energia elétrica.

Em termos globais, a produção de álcool tenderá a um grande aumento, em virtude do advento da hidrólise. Com este aumento da produção, espera-se elevar as exportações e também a participação da cana na matriz energética nacional.

Tabela 8.2-7: Indicadores de desempenho da Tecnologia Energética

Indicador de Desempenho	Valor Atual	Meta 2025	Ações
Produtividade Energética	7,5 tep/ha*	9,8 tep/ha**	Melhoramento genético; Hidrólise ou geração de energia elétrica a partir do bagaço e da palha
Energia Elétrica Gerada	26,33 kWh/tc	Até 159 kWh/tc	Utilização da palha em caldeiras; Recuperação da palha; Maior eficiência de equipamentos; Aumento da pressão e da temperatura do vapor gerado
Energia Elétrica Consumida	15,58 kWh/tc	12,00 kWh/tc	Maior eficiência no uso da energia elétrica;
Consumo de Vapor	480 kg/tc	372 kg/tc	Utilização da palha em caldeiras; Recuperação da palha; Redução da demanda de vapor do processo
Pressão de Operação das Caldeiras	22 bar	90 bar	Investimentos em novas tecnologias do setor; Aumento da escala de produção de caldeiras mais eficientes e que operam a maior pressão.
Bagaço Excedente	8,6%	0%	Hidrólise e geração de energia elétrica usam todo bagaço
Cana - % Matriz Energética	12%	14%	Hidrólise do bagaço; Melhoria genética; Na matriz energética brasileira há dois aspectos a considerar: manter a competitividade do etanol em relação à gasolina, e gerar quanto mais eletricidade possível; o etanol exportado não é considerado na matriz

* considerando produtividade 71,5 t/ha para hoje e 85 t/ha (mais 60% de palha) para 2025

8.2.4 Evolução da tecnologia na sustentabilidade

Atualmente, a produção agrícola da cana-de-açúcar em grande escala, e a produção agroindustrial de etanol em destilarias, apresentam um grande potencial de expansão de produção, tendo como objetivo:

- Reduzir a emissão de gases do efeito estufa pela diminuição do consumo de gasolina.

No entanto, este aumento expressivo da produção de cana poderá trazer impactos ambientais, tais como:

- a biodiversidade pelo uso de novas áreas;
- os solos, tais como erosão;
- os recursos hídricos e na qualidade da água; e
- pelo uso de defensivos e fertilizantes.

No entanto, com a evolução tecnológica, é esperada:

- redução da quantidade de fertilizantes químicos visto que o insumo chega a representar 35 % do custo de produção, e apresenta uma média atual de utilização de 200 kg de NPK por hectare de cana (Embrapa 2006);
- utilização de técnicas mais avançadas de manejo da produção de cana-de-açúcar, reduzindo a erosão quando comparada aos manejos de pastos ou de grãos;
- um programa de redução da captação de água, motivado por ações restritivas (inclusive cobrança pelo uso) e baseado essencialmente na otimização de processos e reutilização interna, buscando uma redução de 5 m³ para 1 m³ de água captada / t cana;
- a diminuição das emissões dos GEE entre outras emissões gasosas presentes tanto na parte agrícola como industrial.

Tabela 8.2-8: Indicadores de desempenho em Sustentabilidade

Indicador de Desempenho	Valor Atual	Meta 2025	Ações
Conservação dos solos agrícolas	12,4 t de solo/ha/ano	0,9 t de solo/ha/ano	Zoneamento; licenciamento; fiscalização; cobertura vegetal (palha).
Uso de fertilizantes	200 kg NPK/ha	Redução para níveis não estimados	Reciclo de resíduos de vinhoto e torta de filtro; palha no campo e adequação da adubação ao tipo de solo.
Herbicidas, pesticidas	4,5 kg herbicidas/ha. 0,36 kg Pesticidas/ha 5% de colmos danificados/m ² . 7 insetos/m	2% de colmos danificados/m ² 3 insetos/m	Controle biológico da broca e da cigarrinha; variedades transgênicas resistentes (principais predadores).
Captação e uso da água	5 m ³ água/tc (processada)	1 m ³ água/tc (processada)	Otimização do processo; reutilização interna; cobrança pelo uso; lavagem a seco.
Emissões de CO₂	4,7 kg CO ₂ /tc	3,6 kg CO ₂ /tc	Eliminação da queima da cana; Aumento do rendimento fermentativo: Tecnologias de gaseificação da biomassa e turbinas a gás.
Emissões de CH₄ (Queima da cana)	0,9 kg CH ₄ / (m ³ álcool)	zero	Eliminação da queima da cana;
Custo de produção e competitividade	US\$ 0,28/l álcool	US\$ 0,20/l álcool	Implementação de tecnologias comerciais (expansão do uso); Tecnologias novas (agricultura de precisão, processos de separação, automação industrial); energia excedente (já iniciado); etanol de bagaço e palha; modificações genéticas da cana-de-açúcar.

É de fundamental importância que se definam melhorias nos indicadores considerados mais importantes para uma avaliação macro das diferentes etapas da produção de cana e etanol.

Não existe dúvida que um considerável esforço será necessário para melhorar os indicadores econômicos, ambientais, sociais, energéticos da produção de cana e etanol e de que isto se faz necessário, sobretudo neste momento que se vislumbra uma grande oportunidade de inserção do etanol brasileiro no mercado internacional de biocombustíveis que agora começa a nascer.

Aqui foram apresentadas estimativas e expectativas de melhorias nos indicadores mais importantes nas áreas da cadeia produtiva cana-etanol. No entanto, a quantificação dos impactos decorrentes da melhoria destes indicadores nos custos de produção ou outros ângulos de análise deverão ser objeto de um segundo estudo ou diagnóstico. A dificuldade de se quantificar os impactos dessas melhorias

advém da falta de um modelo geral que contemple não somente os custos de produção, nas suas diferentes fases ou itens, como também suas inter-relações.

Por exemplo, sabe-se que a redução de custos da colheita da cana e recuperação da palha é um importante item no custo agrícola e merecedor de atenção no conjunto dos custos da matéria-prima, mas que isso deve ser feito observando-se os impactos sobre os custos da fermentação. Este “cruzamento” dos impactos pode e deve ser melhor avaliado dentro de uma perspectiva mais abrangente, mais global dos custos de produção.

Este argumento também pode ser aplicado para as questões energéticas e de sustentabilidade. Portanto, a construção de um modelo geral de toda a cadeia produtiva que considere as questões de custos agrícolas e industriais e as questões energéticas e de sustentabilidade, é cada vez mais necessária para uma adequada avaliação ou quantificação dos impactos das melhorias dos referidos indicadores já mencionados.

Finalmente, é importante salientar que quando o objetivo maior dessa produção de grandes volumes de etanol é justamente amenizar o aquecimento global no planeta e aproveitar uma oportunidade que se apresenta para o país, não se pode simplesmente replicar ou multiplicar o modo de produção existente hoje, que certamente não satisfaz as exigências da nova indústria que está nascendo.

8.3 Sugestão de orçamento e cronograma para o desenvolvimento tecnológico

Primeiramente, é importante que se reconheça que o Brasil, embora seja o maior produtor mundial de cana, de açúcar e divida com os EUA a liderança na produção de etanol, apesar de ter os menores custos de produção investe pouco em P&D neste setor. Um indicador do baixo investimento é a relação de recursos investidos por área plantada. Enquanto aplicamos US\$ 1,2/ha, a Austrália investe US\$ 10/ha, Argentina US\$ 3/ha e Barbados, no Caribe investe US\$ 14/ha, segundo Marcos Landell do Centro Cana/IAC.

Os principais recursos destinados à pesquisa em cana vêm o setor privado (cooperativas, usinas associadas e empresas) e setor público (institutos de pesquisa, fundos federais e estaduais) notadamente. Nesta parte do relatório será discutida a importância dos fundos setoriais e como o financiamento vem sendo feito hoje, quais as dificuldades de responder às necessidades do setor.

8.3.1 Os Fundos Setoriais e o P&D em Etanol

Os Fundos Setoriais de Ciência e Tecnologia, criados a partir de 1999, são instrumentos de financiamento de projetos de pesquisa, desenvolvimento e inovação no País. As receitas dos Fundos são oriundas de contribuições incidentes sobre o resultado da exploração de recursos naturais pertencentes à União, parcelas do Imposto sobre Produtos Industrializados de certos setores e de Contribuição de Intervenção no Domínio Econômico (CIDE) incidente sobre os valores que remuneram o uso ou aquisição de conhecimentos tecnológicos e/ou transferência de tecnologia do exterior.

Desde sua implementação nos anos recentes, os Fundos Setoriais têm se constituído no principal instrumento do Governo Federal para alavancar o sistema

de C,T&I do País. Eles têm possibilitado a implantação de milhares de novos projetos em instituições científicas e tecnológicas - ICTs, que objetivam não somente a geração de conhecimento, mas também sua transferência para empresas. Projetos em parceria têm estimulado maior investimento em inovação tecnológica por parte das empresas, contribuindo para melhorar seus produtos e processos e também equilibrar a relação entre investimentos públicos e privados em ciência e tecnologia.

A criação dos Fundos Setoriais representa o estabelecimento de um novo padrão de financiamento para o setor, sendo um mecanismo inovador de estímulo ao fortalecimento do sistema de C&T nacional. Seu objetivo é garantir a estabilidade de recursos para a área e criar um novo modelo de gestão, com a participação de vários segmentos sociais, além de promover maior sinergia entre as universidades, centros de pesquisa e o setor produtivo.

Os Fundos Setoriais constituem ainda valioso instrumento da política de integração nacional, pois pelo menos 30% dos seus recursos são obrigatoriamente dirigidos às Regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste, promovendo a desconcentração das atividades de C&T e a conseqüente disseminação de seus benefícios.

Os recursos são oriundos de diferentes setores produtivos, derivados de receitas variadas, como "royalties", compensação financeira, licenças, autorizações, etc. Os recursos dos Fundos Setoriais, em geral, são aplicados em projetos selecionados por meio de chamadas públicas, cujos editais são publicados nos portais da FINEP e do CNPq.

Tabela 8.3-1: Recursos alocados anualmente em P&D no setor sucro-alcooleiro no Brasil (valores estimados) por órgãos de fomento à pesquisa (fonte)

Órgão:	
BNDES (Funtec)	R\$ 12 milhões ²
Fundos Setoriais: CT-Energ, CT-Petro, CT-Agro recursos CNPq e FINEP	R\$ 22 milhões
Outros recursos governamentais ¹	n.d.
FAPESP (Programa Etanol)	R\$ 30 milhões ²

¹ existem recursos aplicados na forma de projetos financiados diretamente pelos ministérios MME e MCT, sobretudo, e de bolsas de estudo de pós-graduação e produtividade de pesquisadores pelo CNPq e CAPES.

² valor previsto para os próximos anos

Tabela 8.3-2: Recursos alocados anualmente em P&D no setor sucroalcooleiro no Brasil (valores estimados) por instituições ou centros de pesquisa usuários de recursos públicos e privados

Setor Privado:	
CTC	R\$ 45 milhões
Dedini	R\$ 19 milhões
Oxiteno	n.d.
Indústria de Máquinas Agrícolas (Case, John Deere, outras)	R\$ 15 milhões
Alellyx/CanaVialis	n.d.
CENPES/Petrobras	n.d.
Empresas tecnologia FFV (Magneti Marelli e Bosch)	n.d.
Setor Público:	
Ridesa ¹	R\$ 1,35 milhões
Embrapa (energia e etanol) ¹	R\$ 13 milhões
Outros Institutos Federais (INT, CTA)	n.d.
IAC / Centro Cana ¹	R\$ 3 milhões
IPT	n.d.
UNICAMP ¹	R\$ 3 milhões
UFRJ ¹	R\$ 4,5 milhões
Outras universidades	n.d.
CENBIO	n.d.

¹ incluindo salários dos pesquisadores (valor estimado x 1,5)

² valor previsto para os próximos anos

O esforço de investimento privado em P&D esteve fortemente concentrado na parte agrícola, sobretudo no melhoramento genético de variedades. Do lado do setor público, o programa de cana do IAC conta com forte apoio privado. O programa do IAC custa R\$ 2 milhões/ano, sendo financiado na proporção de 60% pelo setor privado. Mesmo na pesquisa de mais alto risco, como na área de engenharia genética, ainda é muito limitado o financiamento público para a pesquisa aplicada à cana.

Os Fundos setoriais reservaram um pequeno espaço para a pesquisa relacionada com biomassa e cana, como pode ser comprovado na Tabela abaixo. Apenas 0,5% dos projetos dos Fundos Setoriais estão relacionados com a palavra chave cana, e identificaram-se apenas três projetos do CT Biotecnologia relacionados com cana.

Em compensação a FAPESP tem demonstrado uma maior preocupação com o setor. Ela apoiou, dentro do programa genoma, o projeto Genoma Cana. Esse projeto se iniciou em 1998 e já identificou 50 mil genes da cana. Ele se constitui em um

destacável exemplo de mobilização de recursos públicos, com intensa participação das Universidades e Institutos Públicos na execução da pesquisa básica dirigida. Possivelmente também exista forte correlação entre o volume de recursos alocados pela FAPESP e a competitividade do setor sucroalcooleiro em São Paulo.

Tabela 8.3-3: Projetos dos Fundos Setoriais (1999-2006)

Fundos	Palavra chave: biomassa	Palavra chave: cana	Todos
CT - Energ	46	14	1.661
CT - Agronegócio	5	6	1.295
CT - Hidro	4	21	1.776
CT -Petro	2	7	2.932
CT -Infra	1		
CT -Verde e Amarelo	1	3	
CT -Transversais	1	7	1.376
CT -Info	1	9	2.769
CT - Biotecnologia		3	261
CT -Saúde		7	1.137
CT -Mineral			265
CT - Transporte			67
CT -Amazônia			61
CT - Aeronáutico			51
CT - Espacial			33
CT - Funttel		4	33
CT - Aquaviário			7
Total	61	81	14.779

Fonte: base de dados Prossiga, extraído em 22/12/2006.

Três dos quatro programas de melhoramento genético estão localizados no Estado de São Paulo (IAC, CTC e Canavialis), constituindo-se em uma limitação para a difusão da cultura de cana para outros Estados. Essa limitação está relacionada com a preponderância do financiamento privado à pesquisa em cana, que advém da agroindústria paulista fundamentalmente. Deve-se, portanto, fortalecer as redes de pesquisa para o desenvolvimento de novas variedades em outros estados brasileiros, sobretudo nas regiões já apontadas com maior potencial para a expansão da cana no país.

O tamanho do setor da agroindústria canavieira ultrapassa R\$ 29 bilhões/ano, aproximadamente 50% por conta açúcar e 50% por conta do álcool. Essa estimativa foi feita em base a produção do atual ano e dos preços em novembro e dezembro. Caso 1% da receita fosse gasta em P&D, teríamos R\$ 300 milhões alocados a projetos de pesquisa. O gasto atual deve ser da ordem de R\$ 80 milhões/ano oriundos do setor privado. Este volume de recursos é considerado insuficiente para garantir a competitividade futura do setor.

Pelas razões apontadas há uma grande necessidade de investimentos em P&D no setor sucroalcooleiro e também se faz absolutamente necessária a criação de um centro de pesquisas em etanol que também tenha a tarefa de construir as bases tecnológicas da nova indústria de biocombustíveis que está nascendo no mundo e que encontra justamente no Brasil um grande potencial.

Finalmente é importante que se mencione o Plano Nacional de Agroenergia 2006-2011 com as Diretrizes da Política de Agroenergia (site Biodiesel) que embora coloque claramente suas metas não apresenta uma forma para financiá-lo.

8.3.2 Cronograma de Desenvolvimento Tecnológico

Como foi visto anteriormente neste relatório, várias inovações tecnológicas são previstas nos próximos 20 anos no setor hoje chamado sucroalcooleiro no país. Devemos observar melhorias tecnológicas que vão se produzir de forma gradual, como os ganhos de produtividade da cana, por exemplo, mas também a introdução de tecnologias chamadas disruptivas como novas variedades de cana obtidas ou melhoradas com auxílio da genômica, a mudança ou introdução de um novo conceito de controle de tráfego no campo e a introdução da tecnologia da hidrólise que irá permitir um uso integral da cana-de-açúcar.

No entanto, a fim de que se concretizem de fato estas mudanças, investimentos devem ser programados em P&D e também espera-se da parte do poder público uma ação estratégica como a criação de um novo Centro de excelência dedicado às pesquisas em etanol. Este centro, com objetivos claramente definidos, pode ajudar o Brasil a fazer a transição de um modelo misto atual (alimento-energia) para um novo modelo, mais orientado a produzir energia (etanol e energia elétrica) da biomassa da cana de forma sustentável.

Nesse sentido é de fundamental importância que se planeje e se implante este novo centro assim como se orientem recursos para pesquisa em etanol de forma a garantir a competitividade nas próximas décadas.

8.4 Sugestão para criação de um Fundo de Desenvolvimento para Etanol e fonte de recursos

Hoje os fundos setoriais existentes na área de energia (CT-Energ, CT-Petro e CT-Agro) não contemplam satisfatoriamente as áreas de biocombustíveis. Os desafios e as respectivas necessidades de recursos de P&D recomendam fortemente a criação de um fundo de desenvolvimento específico para biocombustíveis ou mais especificamente em etanol.

A seguir são feitas algumas considerações sobre os fundos existentes na área de energia e porque estes fundos não conseguem atender a demanda de P&D em biocombustíveis no país.

- CT-Energ é um fundo mais voltado para fornecer recursos de P&D para o setor elétrico. Embora tenha financiado alguns projetos na área de uso de bagaço de cana para geração de energia elétrica, este fundo não é dirigido para o uso de combustíveis líquidos renováveis.
- CT-Petro é um fundo para o financiamento de inovações em petróleo e gás. Neste sentido também não tem características adequadas para este fim, embora também tenha financiado algumas iniciativas de produção de biocombustíveis, mas de forma marginal.

- CT-Agro é um fundo mais voltado à área de produção agrícola, sobretudo atividades ligadas à produção de alimentos. Embora os biocombustíveis tenham base agrícola, os recursos necessários pressionariam demasiadamente e não haveria essa possibilidade.

Outros fundos como CT-Transporte, CT-Infra, CT-Biotec, Verde Amarelo existem, mas com pouca sinergia junto aos biocombustíveis.

Estes fundos existentes, quando do lançamento de editais e chamadas para projetos, freqüentemente fazem menção às tecnologias alternativas, como o uso de recursos localmente produzidos, por exemplo, biomassa. No entanto biocombustíveis não é o foco, não ocupa um papel central nestas chamadas e editais, não atingindo toda a comunidade de pesquisadores que se dedica aos biocombustíveis.

Isto acaba gerando um prejuízo importante para esta área por dois motivos: primeiro porque impede que aconteça uma melhoria tecnológica no médio e longo prazos com claros prejuízos à competitividade, e segundo porque existe um reconhecido potencial no Brasil, mas que precisa urgentemente de um apoio mais dedicado das agências de financiamento à pesquisa.

Dessa forma propõe-se a criação de um novo fundo setorial em CT-Etanol com o objetivo específico de financiar P&D para toda a cadeia produtiva de produção de etanol e biodiesel.

8.4.1 Forma de Financiamento do Fundo

A agroindústria canavieira tem um peso econômico tão significativo, algo como 1,5% do PIB brasileiro, que conviria criar um Fundo específico para o etanol. Faz sentido pelo lado da organização da pesquisa e pelo lado do financiamento, pois o setor tem condições de arcar com uma contribuição específica.

A idéia é aplicar uma taxa de 0,5% sobre a receita líquida da venda do álcool e 0,125% à gasolina C, dado que contém de 20 a 25% de álcool anidro. A aplicação da taxa no álcool hidratado e anidro é correta, pois não teria um grande impacto negativo no consumo de álcool em relação à gasolina.

Uma estimativa preliminar indica que para um consumo no país de 23 bilhões de litros de gasolina C, a um preço médio na bomba de R\$ 2,50/l seria possível arrecadar cerca de R\$ 72 milhões. Já para um consumo de 15 bilhões de litros de etanol hidratado a um preço médio de R\$ 1,50/l seria possível arrecadar cerca de R\$ 113 milhões, totalizando cerca de R\$ 185 milhões.

Os recursos deste fundo deveriam ser aplicados parte em pesquisa aplicada, com retorno garantido, e outra de mais longo prazo, numa proporção de 80/20.

A FAPESP está adotando uma outra alternativa para arrecadar recursos destinados à P&D de etanol. Um Fundo cooperativo, no qual há investimentos tanto do setor público quanto do setor privado. Isto é necessário já que falta investimento espontâneo do próprio setor. Os investimentos de hoje são insuficientes para garantir a competitividade. Os demais países, nossos competidores, estão investindo intensamente.

Os recursos para C&T, no Brasil, são estimados num patamar de 1% do PIB (nos países desenvolvidos, em média, o investimento em C&T equivale a 3% do PIB). No entanto, os recursos dos Fundos Setoriais em 2004 e 2005 representaram respectivamente 0,035 e 0,043 % do PIB. Para chegar a um gasto estimado em 1% do PIB, considera-se o investimento na manutenção das universidades federais (cerca de 0,5% do PIB em 2004) e também nas estaduais públicas, assim como nos institutos públicos de pesquisa.

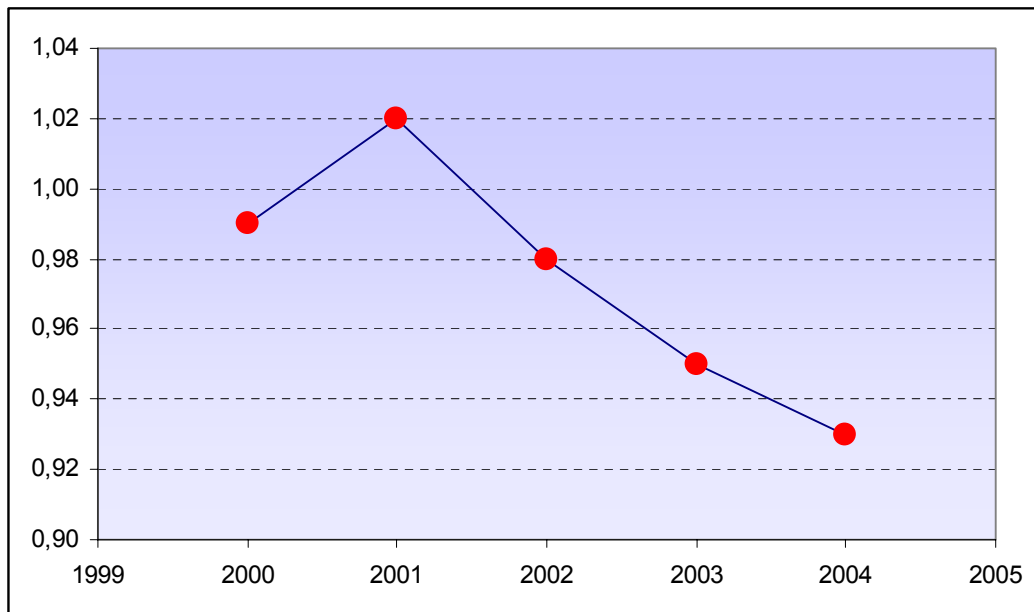


Figura 8.4-1: Investimento do Brasil em P&D em relação ao PIB
(fonte: COGGIOLA ET AL., 2006)

8.5 Estudo de incentivos fiscais e empréstimos diferenciados que induzam o desenvolvimento das áreas previstas e torne menos atraente a produção de álcool em áreas indesejáveis

Existem duas situações para incentivos fiscais e empréstimos que serão tratadas nesta seção do relatório:

- incentivos a novos projetos que envolvam melhorias tecnológicas ou o emprego de tecnologias disruptivas (e.g. instalação de uma caldeira com pressão mais elevada);
- incentivos a novos empreendimentos (novas usinas) em áreas consideradas mais desejáveis.

Conceitualmente, os incentivos fiscais e empréstimos diferenciados por parte dos agentes financeiros (BNDES entre outros) visam induzir um setor economicamente mais competitivo e com melhores indicadores sócio-econômico-ambientais. Nesse sentido, é importante notar que a melhoria, por exemplo, de indicadores de sustentabilidade podem ser decisivos na certificação da produção do etanol e consequentemente nas oportunidades de negócios num mercado emergente.

Hoje, podem-se identificar algumas tendências principais que devem ser utilizadas na sinalização do que se almeja para a indústria do etanol:

- novo padrão tecnológico que implique em menores custos de produção, garantindo a competitividade;
- melhoria dos indicadores de sustentabilidade e correspondente diminuição dos impactos ambientais;
- uso racional dos recursos da cana, o que significa fim das queimadas e recuperação de parte da palha para fins energéticos;
- capacitação e geração de recursos humanos qualificados (técnicos e pesquisa), indispensáveis para a nova indústria do etanol.

8.5.1 Incentivos visando melhorias tecnológicas ou o emprego de tecnologias disruptivas

Área Agrícola: incentivos a projetos que visem à produção sustentada de cana, tais como desenvolvimento de novas variedades, plantio direto, fim das queimadas, recuperação da palha, desenvolvimento da cana-de-energia.

Área Industrial: incentivos às tecnologias mais eficientes, que reduzam as perdas no processo e reduzam custos, reduzam também as emissões de poluentes (gases e resíduos líquidos).

Área Energética: incentivos a projetos que otimizem a geração e uso de energia, com sistemas de geração mais modernos e uso econômico do vapor no processo.

É importante observar que o valor pago ao MWh gerado com biomassa de cana no PROINFA (R\$ 93,77/MWh) não estimulou a geração como aconteceu com a energia eólica, por exemplo, (R\$ 204,35/MWh) ou com PCH (117,02/MWh), segundo dados publicados pelo MME em 30/03/2004 quando da regulamentação do PROINFA¹.

Os incentivos deverão ser oferecidos a projetos que envolvam a aplicação de tecnologia de ponta, de modo a garantir a competitividade futura do setor.

Área de Sustentabilidade: estímulo a projetos com áreas de preservação ambiental, melhoria do ambiente de produção, biodiversidade, projetos que melhorem os indicadores ambientais e que reduzam os impactos negativos da produção sobre os recursos hídricos, solo e ar.

Buscar-se-á a certificação ambiental da produção de etanol, a fim de garantir que a produção seja de forma sustentada. Vários países e grupos de pesquisa no mundo estão estudando parâmetros que sintetizem a produção sustentada de biocombustíveis, inclusive o etanol combustível. É importante que se conheçam estes parâmetros e critérios de certificação para a construção de um critério brasileiro que atenda estas exigências as quais poderão se tornar um obstáculo para a comercialização no mercado externo.

O BNDES vem liberando créditos para a expansão do setor sucroalcooleiro no Brasil. No entanto, empréstimos diferenciados (BNDES) não vêm conseguindo induzir satisfatoriamente a modernização tecnológica esperada. As novas unidades

¹ Segundo o Artigo 3º da Portaria, os valores econômicos serão reajustados de acordo com o IGP-M a partir de março/2004. Para um IGP-M acumulado de março/2004 a dezembro/2006, calculado em 16,31%, os preços em dezembro/2006 seriam: PCH: R\$ 136,11/MWh; Biomassa de cana: R\$ 109,07/MWh; Eólica: R\$ 237,69/MWh

que estão sendo construídas e/ou planejadas, boa parte delas não vêm sendo instaladas com tecnologia de ponta o que pode comprometer a competitividade futura do setor.

8.5.2 Incentivos aos novos empreendimentos (novas usinas) em áreas consideradas mais desejáveis

Inicialmente há que se elencar os critérios que vão orientar o agente financeiro para o que se entende por "áreas consideradas desejáveis ou indesejáveis". As áreas podem ser adequadas ou inadequadas de acordo com os seguintes pontos de vista:

- critério agrônômico ao cultivo da cana-de-açúcar, segundo mapas que demonstrem a aptidão agrícola. Neste caso deve-se favorecer prioritariamente os empreendimentos onde a produtividade da cana é mais elevada. Sabe-se que o BNDES vem inclusive utilizando dados disponibilizados pelo CGEE para orientar que os empreendimentos sejam realizados nas regiões com maior aptidão agrícola e sem restrição ambiental e onde exista infra-estrutura de escoamento ou os custos com instalação dessa infra-estrutura seja o menor possível.

- critério impacto ambiental. Em nenhum caso devem ser apoiados projetos em áreas de restrição ambiental, reservas indígenas ou regiões onde o empreendimento irá provocar um impacto negativo sobre a produção agropecuária já existente. Deverão ser apoiados projetos cuja instalação se dê em áreas degradadas ou de exploração de baixa rentabilidade (e.g. pecuária extensiva);

- critério infra-estrutura. Devem-se privilegiar projetos onde os custos com instalação de infra-estrutura de produção ou de escoamento sejam menores. Neste caso surge um paradoxo, pois se o agente financiador for preferir apoiar projetos onde a infra-estrutura já existe, poderá diminuir as chances de interiorizar o desenvolvimento ou de reduzir as desigualdades entre as regiões no Brasil.

Evitar que os novos projetos e novos canais desloquem culturas alimentares e "empurrem" as pastagens ou áreas de soja para as áreas com restrição ambiental, como Amazônia, Pantanal e Mata Atlântica.

É importante que se enfatize que os mecanismos de incentivos fiscais que podem ser utilizados são os seguintes:

- taxas de juros diferenciadas;
- período de carência no investimento;
- remuneração de tarifas diferenciadas;
- redução ou eliminação de incidência de impostos.

A estratificação dos incentivos fiscais e diferenciação dos empréstimos de acordo com os critérios já mencionados deverão ser objeto de um estudo complementar em colaboração com o principal agente financiador (BNDES) e agências envolvidas (e.g. ANEEL).

8.6 Estudo exploratório para uma política pública em etanol

Este estudo tem por objetivo propor diretrizes, estratégias e políticas para o desenvolvimento sustentado do setor sucroalcooleiro, principalmente etanol, no Brasil.

A estratégia proposta neste estudo exploratório tem duas orientações:

a) garantir que a expansão da produção de etanol proposta neste estudo se dará de forma a atender os interesses sociais, econômicos e ambientais para o país;

Do ponto de vista macroeconômico pode-se observar uma forte concentração da produção de etanol e açúcar no Estado de São Paulo (65%), Região Centro-Sul (85%). Há que se dar condições através deste estudo de que, associado ao forte processo de expansão do etanol que se vislumbra neste projeto, também se promova uma descentralização da produção de cana e etanol no país.

Para 2025 pretende-se que 60% da produção esteja ocorrendo na Região Centro-Sul e 40% no Nordeste e Norte. Note-se que este projeto não contempla uma expansão da cana nas regiões tradicionais (São Paulo, zona da mata e Zona da Mata Nordeste e região de Campos no Estado do Rio de Janeiro).

Na questão relativa a empregos e renda diretos, indiretos e induzidos, para exportar 104,55 bilhões de litros de etanol ao ano, está prevista a geração de mais de 5 milhões de empregos com renda média maior do que 50% do praticado na agricultura no Brasil. No entanto, há que se ter uma política de qualificação da mão-de-obra, sobretudo de técnicos nos diferentes níveis da produção.

Um impacto importante também será a interiorização do desenvolvimento promovido pelo projeto de expansão de etanol, a geração de excedentes de energia elétrica que darão o suporte social aos clusters de destilarias, além da necessidade de criar de infra-estrutura (cidades).

No que tange à questão ambiental, primeiramente observa-se a exclusão das áreas com restrição ambiental: Amazônia, Mata Atlântica e Pantanal. Também estão excluídas do estudo de expansão da produção de etanol as áreas ocupadas com reservas indígenas e as áreas com declividade maior do que 12% devido às dificuldades de introduzir a mecanização. É importante salientar, que o desenvolvimento tecnológico das colhedoras prevê que já em 2015 a declividade limite pode subir para até 22%, se forem incorporados os avanços sugeridos.

É importante salientar que toda a expansão prevista no projeto se dará sem queimada da cana, o que automaticamente implica numa colheita de cana mecanizada. Nos estudos realizados para a geração de energia elétrica e produção de etanol pela hidrólise se contempla à recuperação de parte da palha da cana.

Atenção especial deve ser dada às áreas de instalação dos projetos, a fim de minimizar os impactos ambientais locais, favorecer as áreas com maior aptidão agrícola e ambiental. Dos recursos naturais, deve se assegurar que os projetos contemplem um uso mínimo de água, seja na produção agrícola como também no processamento.

Outros indicadores de impactos econômicos, sociais e ambientais já foram quantificados nos itens anteriores deste estudo.

b) garantir a liderança e a competitividade do setor sucroalcooleiro num cenário provável de transformação da indústria tradicional para uma indústria de energia, mais intensiva em recursos, tecnologia e com maior pressão sobre o meio ambiente.

Recentemente o Prêmio Nobel de Química, Alan MacDiarmid disse III Conferência Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação, promovida em Brasília entre 16 e 18 de novembro que se o Brasil não tomasse as necessárias providências iria perder a vantagem tecnológica na produção de etanol.

Nos últimos anos já vimos experimentando a perda da liderança quantitativa da produção. Os EUA já são hoje os maiores produtores de etanol no mundo. Agora estamos assistindo uma verdadeira corrida para o desenvolvimento da hidrólise (etanol de segunda geração). O controle desta tecnologia é considerado chave para que a produção de etanol possa atingir os volumes esperados com um uso mínimo de terras.

Esforços devem ser concentrados em P&D para que os custos de produção do etanol convencional e de segunda geração sejam reduzidos e que o combustível seja produzido segundo os critérios de sustentabilidade requeridos pelo mercado.

A fim de avaliar a situação atual da produção de etanol no país foi inicialmente realizado um breve diagnóstico interdisciplinar do setor sucroalcooleiro, apresentado a seguir.

8.6.1 Breve diagnóstico da situação do setor sucroalcooleiro no Brasil e suas perspectivas futuras

Verifica-se nas últimas décadas um forte crescimento da produção de cana-de-açúcar no país, principalmente na região Centro-Sul, para atender as demandas internas e externas de açúcar e etanol. Isto faz com que este segmento se consolide como um gerador de energia renovável, contribuindo para a substituição de combustíveis fósseis, desenvolvendo o cenário agrícola nacional e projetando o Brasil internacionalmente.

O atual cenário de expansão do mercado internacional de açúcar e álcool e as perspectivas de aumento da participação do Brasil podem ser considerados como fatores motivadores da expansão da exploração da cultura da cana-de-açúcar.

Esta liderança e competitividade mundial não estão garantidas no médio e longo prazo, pois países como a Austrália e Tailândia têm custos de produção de açúcar não muito maiores que os nossos, podendo crescer ainda mais sua produção total.

No caso do álcool, os países desenvolvidos investem pesadamente na produção de etanol a partir de materiais lignocelulósicos, tanto por hidrólise como pelas rotas de gaseificação (Fischer-Tropsch e outras), com a expectativa de atingirem custos de produção, no médio prazo, semelhantes aos atuais do Brasil. Vale destacar a situação dos EUA, o segundo maior produtor e consumidor de etanol do mundo com 18,5 bilhões de litros produzidos em 2006 que possui um mercado interno potencial

em torno de 60 bilhões de litros de etanol, considerando a mistura de 10% de etanol em toda gasolina consumida no país.

Em anúncio recentemente realizado pelo Presidente George W. Bush no discurso anual State of the Union, foi proposta a meta de cortar o consumo de gasolina em 20% nos próximos 10 anos, movido principalmente por questões de segurança nacional e redução de emissões ligadas ao aquecimento global. Neste sentido, espera-se que o consumo de combustíveis renováveis (principalmente etanol) para 35 bilhões de galões até 2017, com forte ênfase no desenvolvimento da tecnologia de hidrólise de materiais ligno-celulósicos, biodiesel e metanol.

O quadro atual de produção de álcool no Brasil pode ser resumido pelas seguintes observações:

- O Brasil tem o menor custo de produção de álcool no mundo e possui condições excepcionais para ampliar várias vezes a produção atual em um período de 20 anos;
- Apesar da importância atual do álcool em relação ao açúcar ele ainda continua a ser produzido como um subproduto;
- O modelo de produção do Brasil consorciando a produção de açúcar e álcool na mesma unidade industrial (usina com destilaria anexa) é único no mundo, mas começa a ser copiado;
- Os programas de melhoramento genético da cana-de-açúcar, no Brasil e no resto do mundo, privilegiam a produção de açúcar;
- Do ponto de vista energético, a energia primária da cana provém dos açúcares (1/3) e das fibras (2/3); hoje apenas o terço representado pelo açúcar é aproveitado;
- Cresce o interesse pela geração de grandes excedentes de energia elétrica para a venda pelas usinas, porém atualmente pouco mais de 10% das usinas geram quantidades significativas deste excedente, que ainda está longe de ter a mesma importância econômica que o açúcar e álcool têm no faturamento das usinas;
- A tecnologia convencional de processamento da cana para produzir açúcar e álcool já atingiu um elevado grau de maturidade; existe pouca margem para ganhos incrementais com exceção das áreas de economia de energia, redução do volume de vinhaça, otimização do aproveitamento energético da cana-de-açúcar e seus subprodutos;
- A mecanização da colheita de cana e o aumento da porcentagem colhida sem queima da palha é uma tendência inexorável;
- Existem, em outros países, variedades de cana com elevados teores de fibra que podem dobrar a oferta de energia primária por unidade de área plantada. O processamento desta cana para otimizar o aproveitamento energético não está desenvolvido;
- A cana-de-açúcar está começando a ser olhada como uma fonte de energia, ao invés de matéria-prima para a indústria de alimentos. No entanto, considerando o forte crescimento do mercado de etanol no mundo, haverá forte pressão sobre novas terras, sobre o meio ambiente, sobre os custos de produção;
- Finalmente é importante que se reconheça que embora o Brasil tenha realizado um significativo esforço e obtido apreciáveis resultados na produção de etanol nas últimas décadas, a produção científica e o número de patentes geradas pode ser considerado ainda baixo, o que é bastante preocupante;

- Também pode ser acrescido, tomando como referência a tecnologia da hidrólise, que o país está perdendo a corrida pelo domínio dessa tecnologia. Outros países estão fazendo um considerável esforço para o controle da tecnologia dos biocombustíveis de 2ª geração.

Nesta escala, investimentos e PD&I devem assumir montantes consideráveis, devendo induzir ganhos de competitividade, mesmo em níveis mundiais.

A situação futura que se visualiza é a quebra do paradigma de cana-de-açúcar para produção de alimentos tendo energia (álcool, energia elétrica) como subprodutos importantes e migração para o conceito de cana de energia, que seria o desenvolvimento de variedades de cana visando a maximização da energia primária e o processamento desta matéria-prima de forma otimizada para produção de energias secundárias úteis, como combustíveis para transporte e energia elétrica.

As dificuldades desta transição estarão concentradas principalmente em:

- Mudança de uma cultura, já com vários séculos de uso, em um setor tradicionalmente conservador e avesso a mudanças;
- Levantar recursos para viabilizar o desenvolvimento tecnológico para o modelo futuro, uma vez que o setor produtivo prefere continuar investindo no processo convencional existente.

Desta forma, será necessário contar com recursos de fontes governamentais e de políticas públicas para estimular a transição. A criação de um Centro de Tecnologia de Energia da Cana ou Centro de Pesquisa de Álcool, e de um Fundo Setorial para esta área são passos indispensáveis para viabilizar a transição sugerida.

8.6.2 Objetivos das políticas públicas para P&D&I em etanol

A política pública pode ser definida como um plano governamental do mais alto nível visando estabelecer metas e guiar ou influenciar as decisões presentes e futuras. Em geral as políticas públicas apresentam no seu conjunto, uma resposta a problemas ou inquietações.

O processo de formulação e gestão de políticas públicas consiste em um processo dinâmico, muito complexo, envolvendo vários componentes que aportam contribuições distintas, decidindo sobre a adoção de diretrizes gerais, visando a ação e direcionadas para o futuro, cuja responsabilidade é predominantemente de órgãos governamentais, os quais agem almejando formalmente o alcance do interesse público pelos melhores meios possíveis.

A complexidade ocorre porque a gestão de políticas públicas envolve muitos componentes que se comunicam e interagem de maneiras diferentes, de forma explícita ou por canais ocultos. O processo é dinâmico porque ocorre dentro de uma estrutura que exige continuadas fontes de recursos e motivação. As contribuições distintas decorrem dos canais de representação dos diferentes grupos de interesses, dos diferentes pontos de vista. As diretrizes são de caráter geral, ao invés de instruções detalhadas, como linhas de ação a serem seguidas.

Política pública visa a necessidade de mudança do próprio administrador público, da sociedade e seus grupos afetados pela política. Para o futuro, representa uma das mais importantes características do processo porque introduz o elemento incerteza

com relação à política. Predominantemente de órgãos governamentais, indica que a mudança de comportamento desejada se inicia em maior escala nos órgãos públicos, mas não com exclusividade nestes, podendo partir de pessoas ou estruturas não governamentais.

Toda política pública tem como finalidade a quebra de paradigmas, justamente por reconhecer que alguma melhoria deve ser feita. Por este motivo, a política pública é considerada como um estudo de caráter transitório.

Os objetivos de uma política pública para desenvolvimento da produção de etanol são apresentados em blocos comuns:

Garantia da competitividade

- garantia da competitividade a longo prazo do etanol e seus derivados através da redução de custos de forma sustentável;
- aumentar a competitividade através da melhoria dos parâmetros técnicos da produção do etanol;
- capacitar a indústria de bens de capital nacional para a inovação tecnológica;
- gerar riqueza através da inovação científica e tecnológica (produção científica e patentes);

Planejar a expansão da produção de etanol

- planejar a expansão da produção de etanol no país;
- recursos humanos qualificados para a expansão;
- permitir a revitalização das regiões tradicionais de produção de cana;
- melhorar os parâmetros de sustentabilidade na produção e uso do etanol;
- estimular desenvolvimento de novas regiões produtoras no país;
- gerar novos e bons empregos diretos, indiretos e induzidos;
- permitir e criar as condições para a transição ou o surgimento de uma nova indústria de energia (etanol e energia elétrica) com base na cana de açúcar;
- capacitar a indústria de bens de capital nacional para a expansão;
- formular ou estudar um novo modelo de produção/propriedade
- questão energia elétrica vs. hidrólise;
- gerar condições para permitir a interiorização e regionalização do desenvolvimento, fundado na expansão da agricultura de energia e na agregação de valor na cadeia produtiva;

Questões estratégicas

- contribuir para a redução das emissões de gases de efeito estufa;
- contribuir para a redução das importações de petróleo;
- contribuir para o aumento das exportações de biocombustíveis;
- orientar a política externa brasileira de modo a abrir e garantir novos mercados para o etanol combustível

A Política Pública é uma combinação dos seguintes fatores: a substituição de um paradigma disciplinar por outro, o reflexo dos traços da estrutura governamental e a coalizão social.

Do ponto de vista da produção de etanol já observa-se hoje uma forte entrada de capital externo assumindo controle de usinas existentes e também investindo em novos empreendimentos. É de se esperar que o anterior controle absoluto das usinas pelo capital privado nacional dê lugar a um novo modelo de propriedade à medida que a indústria muda. Pode-se antever que a produção futura vá estar parte nas mãos dos atuais usineiros, parte nas mãos do capital externo, e finalmente parte nas mãos de grupos nacionais não tradicionais no setor.

A fim de assegurar a consolidação do mercado, deve-se atuar externamente e não esperar que o mercado se consolide por si só. Nesse sentido é fundamental a participação de empresas com experiência no mercado de combustíveis líquidos no exterior. No caso brasileiro entende-se que cabe à Petrobras desempenhar este papel de criação e consolidação do comércio de etanol no mundo. Nenhuma outra empresa petrolífera reúne a experiência e o potencial da Petrobras neste setor.

8.6.3 Instrumentos de políticas públicas

A preocupação de uma política pública é com o contexto no qual a política está inserida (social, cultural, ambiental), seus possíveis resultados, fatores/grupos envolvidos e seus interesses, futuras resistências, conseqüências aos cidadãos, casos possíveis etc.

Representando o ponto de partida do planejamento, o diagnóstico da situação é um "retrato" da realidade que deverá sofrer uma forma de intervenção de acordo com a extensão ou os objetivos da política pública.

Os indicadores são utilizados como base para qualquer estudo empírico e permitem avaliar as demandas por serviços e equipamentos sociais que orientam os procedimentos de intervenção no setor sucroalcooleiro. Somente a partir do diagnóstico, podemos refletir sobre o que fazer, como em que prazo e a que custo.

Os instrumentos de políticas públicas podem ser entendidos como um conjunto de ações através do qual se implementam as políticas públicas propriamente ditas.

Assim, podem ser considerados instrumentos de políticas públicas:

a) instrumentos que favoreçam o P&D no setor:

- criação de um fundo setorial em biocombustíveis para o financiamento de P&D;
- financiamento de tecnologias modernas e competitivas;
- promoção do uso integral da cana e uso dos subprodutos;
- retorno de "royalties" dos produtos (novas variedades, patentes) para refinar empresas;
- matérias-primas que produzem melhores características para combustível devem ser identificadas;
- maior esforço em pesquisa para produzir etanol a partir de materiais lignocelulósicos;
- maior P&D em motores a Diesel;
- maior P&D para novos materiais e lubrificantes que reduzam os custos de manutenção decorrente do uso de biocombustíveis.

P&D no assunto de biocombustíveis é ainda muito pequeno em comparação com petróleo, gás e carvão mineral. A fim de incentivar esta nova indústria que está nascendo deve-se alocar recursos para que a mesma se estruture e ganhe competitividade com os ganhos de escala.

Deve-se também buscar maior participação do setor privado e da indústria no esforço de P&D no setor sucroalcooleiro.

b) instrumentos de planejamento da expansão da produção:

- políticas de incentivos fiscais e taxação favoráveis;
- prever planejamento e investimentos em infra-estrutura e logística;
- estabelecimento de parcerias de produção entre países (novos mercados);
- divulgação das vantagens (lucros) em utilizar biocombustível no transporte associada a uma forte campanha de marketing;

Maior atenção às questões ambientais: existe uma percepção da parte de ambientalistas de que a cultura da cana-de-açúcar poderá deslocar outras culturas para áreas de proteção ambiental ou áreas de reserva. Para se evitar isso é necessário que se vincule a aprovação de novos projetos a uma avaliação de impacto regional que considere o uso do território antes e após a implantação do empreendimento.

8.7 Análise das implicações dos cenários sobre o sistema de C&T brasileiro e simulação da necessidade de investimentos e infra-estrutura para atender as necessidades de expansão e de oferta

O sistema de C&T brasileiro adquiriu um porte considerável em função da sua trajetória de expansão. O país destinou 16,1 bilhões de reais para a P&D e empregou 165 mil pessoas de nível superior nessas atividades em 2004. Os recursos públicos são responsáveis por aproximadamente 60% dos gastos nacionais de P&D e o setor empresarial fica com a parcela restante.

Dentro do gasto público em matéria de P&D, a agricultura ocupa um lugar de destaque em termos setoriais. Ela foi responsável por 11,3% dos gastos públicos em P&D em 2004. Os gastos públicos com o setor canavieiro são, entretanto, muito modestos como foi visto anteriormente. Os gastos públicos com a cultura de cana-de-açúcar devem se situar em torno a 10 milhões de R\$, enquanto o setor agrícola recebeu 1.057 milhões de R\$ em 2004. A pesquisa relacionada com a cana-de-açúcar foi cada vez mais desenvolvida com recursos do setor privado, sobretudo após o colapso do Proálcool.

A execução dos cenários pressupõe que o peso do setor público venha novamente a aumentar na P&D do complexo da agroindústria canavieira. Recursos oriundos de um fundo setorial aportariam recursos inicialmente da ordem de R\$ 200 milhões. Com a expansão das exportações propostas nos cenários 1 e 2, esses gastos se expandiriam substancialmente. Esses recursos de natureza pública seriam complementados pelo mesmo montante de recursos provenientes do setor privado.

As implicações para o sistema de C&T brasileiros devem ser bastante positivas. Este atingiu uma dimensão na sua capacidade de geração de novas competências que tornam plenamente factível a expansão requerida. Uma parte importante desses recursos deverá ser criada em novas regiões de expansão da cana, contribuindo para a descentralização das atividades de C&T no país.

O sistema setorial de C&T brasileiro que gira em torno da cana-de-açúcar, composto pelas usinas e destilarias, os fornecedores de cana, os fabricantes de bens de capital e insumos, as instituições de pesquisas e universidades, estão plenamente habilitado para responder aos desafios tecnológicos propostos para execução dos cenários. Ele oferece hoje condições de proporcionar os recursos necessários à expansão das atividades de C&T e de responder aos principais desafios tecnológicos dessa indústria.

8.8. Definição de indicadores

A seguir são apresentadas as definições dos indicadores citados nesta parte do relatório.

8.8.1. Indicadores agrícolas

Uso de ECT's: Uso de estruturas de tráfego controlado.

Uso de Plantio Direto: Porcentagem da área de cultivo de cana-de-açúcar, com uma cobertura da superfície maior que 30% composta por restos vegetais de cultivos anteriores.

Uso de Mapas de Produtividade Georeferenciados: Porcentagem do uso de mapas de produtividade georeferenciados.

Teor de ART na cana-de-açúcar: Quantidade em quilograma de ART por tonelada de cana-de-açúcar (kg ART /tc).

Pol (Polaridade): Quantidade em gramas de sacarose em 100 ml de solução, medida pelo desvio ótico provocado pela solução, no plano de uma luz polarizada.

Perdas Totais na Colheita (visíveis e invisíveis): Porcentagem do teor de sacarose da planta perdido durante as atividades agrícolas.

Pragas – Cigarrinha da Raiz: Número médio de indivíduos "*Mahanarva fimbriolata*" encontrados por metro linear na área de cultivo de cana-de-açúcar.

Pragas – Broca: Porcentagem de soqueiras danificadas por ação de indivíduos "*Diatraba saccharalis*" na área de cultivo de cana-de-açúcar.

Consumo de Fertilizantes: Quantidade em quilogramas de N, P₂O₅ e K₂O por tonelada de cana-de-açúcar produzida, introduzidas no solo por meio de fertilizantes líquidos ou sólidos na área de cultivo de cana-de-açúcar.

Colheita de Cana Crua: Porcentagem de cana-de-açúcar colhida sem a utilização de queimadas.

Teor de Terra na Cana: Quantidade, em quilogramas por tonelada de colmo de cana-de-açúcar, colhida de terra carregada junto ao produto para o processo industrial.

Teor de Terra na Palha: Quantidade, em quilogramas por tonelada de palha, colhida de terra carregada junto ao produto para o processo industrial.

Recuperação da Palha: Porcentagem de cobertura vegetal (resultante do cultivo de cana-de-açúcar) recolhida para fins industriais.

Custo de Recuperação da Palha: Custo para recuperar a palha em reais por tonelada de palha.

Consumo de Diesel na Colheita Mecânica: Consumo de diesel em litros por tonelada de cana-de-açúcar produzida, durante o processo de colheita que utiliza sistemas mecanizados para o corte basal da planta na área de cultivo de cana-de-açúcar.

Consumo de Diesel no Transporte: Consumo de diesel em litros por tonelada de cana-de-açúcar produzida, durante o processo de transporte, considerando 25 km.

Consumo de Diesel Agrícola: Consumo de diesel em litros por toneladas de cana-de-açúcar produzida, durante atividades de manejo e preparo do solo, plantio e colheita na área de cultivo de cana-de-açúcar.

Longevidade do Canavial: Tempo médio, em anos, de utilização de soqueiras de cana-de-açúcar (colmos utilizados como formadores de um novo indivíduo) no canavial até sua remoção.

Produtividade Agrícola: Quantidade em toneladas de cana-de-açúcar (colmos) produzida por hectare por ano.

8.8.2. Indicadores Industriais

Perdas na Lavagem de Cana: Porcentagem de açúcares redutores totais (ART) perdidos na limpeza da cana.

Extração de Açúcar: Indica a eficiência (%) da extração dos açúcares totais (ART) da cana que entra na moagem e é recuperado no caldo misto.

Perdas na Torta de Filtro: Porcentagem de ART retida na torta de filtro. As perdas (%) na torta de filtro dependem da terra e da quantidade de torta, se é usado difusor ou moenda.

Rendimento Fermentativo: O rendimento fermentativo (%) correlaciona o produto formado pela fermentação (etanol no vinho) com a quantidade de produto que seria formado se todo o substrato que chega a fermentação fosse transformado em etanol no vinho. Leva em conta as perdas por formação de subprodutos e a perda de açúcar remanescente no vinho final sem ser convertida.

Grau Alcoólico do Vinho: Porcentagem (v/v) de álcool etílico, medida em graus Gay-Lussac (°GL).

Relação Vinhaça/Etanol: Quantidade de vinhaça (resíduo líquido resultante da destilação do vinho) dividida pela quantidade de etanol produzido.

Teor de Álcool na Vinhaça: Porcentagem de álcool encontrada no resíduo da destilação do vinho.

Produtividade de Álcool: A produtividade industrial deveria ser calculada partindo-se da massa de ART/tc necessária para obter-se uma unidade de álcool anidro (m³), no entanto o teor de ART tem sido calculado na compra da cana, ou seja, o teor de açúcares da cana não é medido diretamente. Com esta limitação, calcula-se apenas o volume de álcool correspondente a uma tonelada de cana.

Produção de Álcool Anidro e Hidratado: Volume (m³) total de álcool anidro (99,7°GL) e álcool hidratado (96°GL) por ano.

Eficiência Global: Representa a relação entre o ART que entra junto na cana é o efetivamente recuperado como etanol na base da conversão estequiométrica do ART em etanol (0,5111 kg de etanol por kg de ART ou 0,6475 litros de etanol 100% por kg de ART).

8.8.3 Indicadores da área energética

Produtividade Energética: Proporção em toneladas equivalente de petróleo (tep) por hectare, gerada pela lavoura de cana-de-açúcar.

Energia Elétrica Gerada: kWh gerados por tonelada de colmos de cana-de-açúcar, produzidos por meio de turbinas que utilizam vapor originado da biomassa deste cultivo.

Energia Elétrica Consumida: kWh por tonelada de colmos de cana-de-açúcar, consumidos nas atividades das usinas.

Consumo de Vapor: kg de vapor consumido por tonelada de colmo de cana-de-açúcar. Especificar a classe de vapor Pressão e temperatura para distinguir vapor motriz de vapor de processo (escape)

Pressão de Operação da Caldeira: Valor nominal de pressão em bar utilizada na caldeira.

Bagaço Excedente: Porcentagem de bagaço excedente do total gerado no processo de moagem da cana-de-açúcar.

Cana - % Matriz Energética: Representação percentual da energia gerada por meio da cana-de-açúcar dentro da matriz energética brasileira.

8.8.4 Indicadores de sustentabilidade

Conservação dos Solos Agrícolas: Massa de solo desagregado e removido pela erosão, devido à falta de vegetação, tendo como consequência a redução da produtividade da terra, principalmente, devido à perda de nutrientes e a degradação de sua estrutura física (tonelada de solo por hectare).

Uso de Fertilizantes: Quantidade de fertilizante sólido, NPK (nitrogênio, fósforo e potássio) depositado sobre o solo, por área de cana plantada (kg NPK/ha).

Uso de Herbicidas e Pesticidas: Quantidade de herbicida e pesticida (defensivos químicos) sólido, aplicado à cultura da cana com o intuito de combater pragas (insetos) e ervas daninhas (culturas competidoras) na unidade de (kg/ha).

Captação e Uso das Águas: Volume de água captada e utilizada, por peso de cana colhida e processada (m³/tc).

Emissões de CO₂: Quantidade de gás CO₂ emitido (kg CO₂/tc) para atmosfera seja pelo uso de combustíveis fósseis, na fermentação alcoólica, na queima do bagaço e na decomposição dos insumos na produção agrícola.

Custo de produção: Valor da produção de etanol (US\$/m³ etanol) nas usinas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDREOLI, C.; SOUZA, S. P. "Cana-de-Açúcar: A Melhor Alternativa para Conversão da Energia Solar e Fóssil em Etanol." FIPE (Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas) MB Associados Abril, 2001

ARAÚJO, N.Q., CASTRO, H.F. E VISCONTI, A.E.S., "Sorgo matéria-prima renovável para Produção de etanol na escalada energética nacional", Brasil Açucareiro, Agosto, 1977, pg. 23-40.

BABU, SP AND HOFBAUER, H. "Status and prospects of biomass gasification". STCBC, Victoria, Canada, August 2004.

BARBOSA, M. L. (2005). "Responsabilidade social e benefícios". In: Macedo, I. C. (org.), *A energia da cana-de-açúcar*. Única.

BAXTER, L.L., MILES, T.R, MILES JR. T.R., JENKINS, B.M., MILNE, T., DAYTON, D., BRYERS, R.W., ODEN, L.L. "The behavior of inorganic material in biomass-fired power boilers: field and laboratory experiences". Fuel Processing Technology 1998; 54: 47–78.

BERG, C. 2005 – The Year When Everything Went Right. Presentation at FO Licht World Ethanol 2005. Amsterdam; 2005.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. "Conservação do solo". 3.ed. São Paulo: Ícone, 1990.

BP. 2006 BP Statistical Review of World Energy; 2006. Disponível em <http://www.bp.com/statisticalreview>

BRAZIL, Ministério de Minas e Energia. Brazilian Energy Balance 2005: Year 2004. Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro, 2005.

BRAZIL, Ministério de Minas e Energia. Plano de Longo Prazo – Projeção da Matriz 2022. Brasília, 2002.

BRAZIL, Ministério de Minas e Energia. Projeção da Matriz Energética Nacional 2005-2023. Brasília, 2004.

CABELLO, C. 2006, <http://www.abam.com.br/artigos/Cerat%20-%20>

CANADIAN ENVIRONMENTAL ASSESSMENT AGENCY (2004). STRATEGIC ENVIRONMENTAL ASSESSMENT, Governo do Canadá. www.ceaa-acee.gc.ca Acesso em **Fev/2007**.

CARENZA 2006, Cane Resources Network for Southern África, "Sugarcane as a Renewable Energy Resource for Southern Africa-Thematic Report 2: Industry" Prepared by V. Seebahuch, R. Mohee, P.R.K Sobhanbabu, F. Rosillo-Calle, M. R.L.V.Leal

CEBRAC - Fundação Centro Brasileiro de Referência e Apoio Cultural <http://www.cebrac.org.br/v2/noticias/?n=77>. acessado em 15/03/2006.

CHATIN, P.; GOKHOLE D.; NILSSON, S. E CHITIUS, A. 2004 "Sugar beet growing in tropical areas: a new opportunity for growers and sugar industry", Int. Sugar Journal, Vol. 106, No. 1266, Junho, 2004.

COGGIOLA, OSVALDO; OLIVEIRA, MARINALVA, PAIVA, JACOB. O veto à regulamentação do fundo nacional de desenvolvimento científico e tecnológico - FNDCT e os fundos setoriais – FS. Sindicato Nacional dos Docentes das Instituições de Ensino Superior – ANDES, 29/5/2006, <http://www.andes.org.br/imprensa/ultimas/contatoview.asp?key=4115> Acesso em: 20/02/07.

CONSONNI, S, LARSON, ED. "Biomass-gasifier/aeroderivative gas turbine combined cycles: Part A – technologies and performance modeling". Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, Vol. 118, pp. 507-515, July 1996.

CUENCA, M.A.G. E MANDARINO, D.C., 2006, "Aspectos agroeconômicos da cultura da Mandioca: características e evolução da cultura no estado do Maranhão em 1990 e 2004, Doc. 96, EMBRAPA, Aracaju,SE, Dezembro 2006.

CUNHA, M. P. (2005). "Inserção do setor sucroalcooleiro na matriz energética do Brasil: uma análise de insumo-produto". Tese de mestrado, Unicamp.

CUNHA, M. P., AND SCARAMUCCI, J. A. (2006a). "The construction of an updated economic database for energy studies: an application to the Brazilian sugarcane agroindustry". International Conference on Regional and Urban Modeling, Brussels June 1–2.

CUNHA, M. P., e J. A. SCARAMUCCI (2006c). "A construção de uma base atualizada de dados econômicos para estudos de energia: uma aplicação ao setor sucroalcooleiro". In: XI Congresso Brasileiro de Energia (CBE) (Rio de Janeiro), 923–933.

DAYTON, DC, JENKINS, BM, TURN, SQ, BAKKER, RR, WILLIAMS, RB, BELLE-ODRY, D, HILL, LM. *Release of Inorganic Constituents from Leached Biomass during Thermal Conversion*. Energy & Fuels, 1999; 13: 860-870.

DINARDO-MIRANDA, LEILA L., VASCONCELOS, ANTÔNIO C.M., FERREIRA, JOSÉ M.G. et al. "Efficiency of *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) on sugarcane root froghopper *Mahanarva fimbriolata* (Stål) (Hemiptera: Cercopidae). Neotropical Entomology", Nov./Dec. 2004, vol.33, no.6, p.743-749. ISSN 1519-566X.

DONZELLI, J. L. – Comunicação pessoal, Centro de Tecnologia Copersucar, 2002, (CTC-Copersucar, 1997).

Doson, L.E. "The Alcohol Fuel Handbook, Infinity Publishing Com., Haverford, PA, USA, 2001.

EBIO – European Biofuel Association. Bioethanol fuel in numbers; 2006. Available at www.ebio.org.

EGLER, P. (2001). Perspectivas do uso no Brasil do processo de Avaliação Ambiental Estratégica. *Revista Parcerias Estratégicas*, 11, http://www.cgee.org.br/arquivos/pe_11.pdf. Consultado Fev/2007.

ELIA NETO, A. (1995) "Tratamento de efluentes na agroindústria sucroalcooleira", Simpósio FEBRA/95- Feira Brasil Alemanha, São Paulo, SP, 1995.

EMBRAPA (2007), http://www/chph.embrapa.br/cultivares/bat_doce.htm

EMBRAPA 2006; "Experimento em cana-de-açúcar"; Embrapa Informática Agropecuária; em <http://72.14.209.104/search?q=cache:UGF1GpjAGhgJ:www.cnptia.embrapa.br/projetos/ipi/ipi/homepage/cana.html+uso+fertilizante+cultura+cana&hl=pt-R&gl=br&ct=clnk&cd=1>

ENDRES (2006); ENDRES, P.F; PISSARRA, T.C.T.; BORGES, M.J., POLITANO, W.; "Quantificação das classes de erosão por tipo de uso do solo no município de Franca – SP Brasil"; Eng. Agríc. v.26 n.1 Jaboticabal ene./abr. 2006; em http://216.239.51.104/search?q=cache:ZLcARmXcoegJ:www.scielo.br/scielo.php%3Fscript%3Dsci_arttext%26pid%3DS0100-69162006000100022%26lng%3Des%26nrm%3D+UNICA+crescimento+cana+a%3A7%3BAcar+pastagem&hl=pt-BR&gl=br&ct=clnk&cd=7

ESMAP. Energy Sector Management Assistance Programme. Potential for Biofuels for Transport in Developing Countries. Washington: The World Bank Group; 2005.

ETA-Florence 2002, ECHI-T: "Large Bio-ethanol Project from Sweet Sorghum in P.R. China and Italy" , Relatório preparado para a Comissão Europeia.

FAAIJ, APC; NEULEMAN, B AND VAN REE, R. "Long term perspectives of Biomass Integrated Gasification / Combined Cycle Technology: costs and electrical efficiency". NOVEM / Dept. of Science, Technology and Society, Utrecht University, The Netherlands, 1998.

FADEL, A.D., 2006, Revista da Associação Brasileira dos Produtores de Amido da Mandioca, Abril-Junho.

FAO. Food Outlook – Global Market Analysis 2006; 1.

FO Licht. World Ethanol & Biofuels Report 2006; vários números.

FÖRSTER, E, SCHOLZ, V, FAAIJ, A. "Europe – a new market for biofuel exports or vibrant competitor?" *Entwicklung & Ländlicher Raum* 2006, 6: 16-8.

Gasifiers Inventory. www.gasifiers.org. Acessado em novembro de 2006.

GIELEN, D, Unander, F. 2005. "Alternative Fuels – an Energy Technology Perspective". IEA/ETO Working Paper. Paris.

GOLDEMBERG, JOSÉ. **Pesquisa e desenvolvimentos na área de energia**. v.14 no.3 São Paulo jul./sep. 2000.(Tabela 3). http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-88392000000300014&lng=es&nrm=iso

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.

HAMELINCK, C; FAAIJ, APC; DEN UIL, H AND BOERRIGTER, H. "Production of FT transportation fuels from biomass: process analysis and optimization, and development potential". Report NWS-E-2003-08, Copernicus Institute, Utrecht University, 2003.

HAMELINCK, CN, VAN HOOIJDONK, G, FAAIJ, APC. "Ethanol from lignocellulosic biomass: techno-economic performance in short-, middle- and long-term". *Biomass and Bioenergy* 2005; 28: 384–410.

HAMELINCK, CN; FAAIJ, APC; LARSON, E. AND KREUTZ, T. "Future prospects for the production of methanol and hydrogen from biomass". Science, Technology and Society / Utrecht University, The Netherlands, 2001.

HASSUANI, SJ, LEAL, MRLV AND MACEDO, IC. "Biomass power generation: sugar cane bagasse and trash. Série Caminhos para Sustentabilidade". Piracicaba: PNUD-CTC, 2005.

HAZELL, P, PACHAURI, RK. "Bioenergy and agriculture: promises and challenges – Overview". *Focus* 2006; 14. December. International Food Policy Research Institute – IFPRI. Available at <http://www.ifpri.org/pubs/catalog.htm#focus>

HILLING, B E TROSSERO, M. (2006) "International wood-fuel trade – an overview", *Energy for Sustainable Development*, Vol. X, No. 1, Março, 2006, pg. 33-41.

HOEKMAN, B, NG, F, OLARREAGA, M. "Eliminating Excessive Tariffs on Exports of Least Developed Countries". Policy Research Working Paper 2604. The World Bank: Washington; 2001.

HUNT, S. "Potential challenges and risks of bio-energy production for developing countries". *Renewable Energy World* 2006, July. Disponível em www.renewable-energyworld.com.

IEA – International Energy Agency. *Biofuels for Transport – an International Perspective*. IEA: Paris; 2004.

IEA – International Energy Agency. *Energy to 2050 – Scenarios for a Sustainable Future*. Paris; 2003.

IEA – International Energy Agency. *Medium Term Oil Market Report*. Paris; 2006a. Disponível em <http://www.iea.org>.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2005), "Contas nacionais". (http://www.ibge.gov.br/servidor_arquivos_est/rolagem.php).

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) - SIDRA. Acesso através de <http://www.ibge.gov.br>;

International Association for Impact Assessment (1999). Principles of Environmental Impact Assessment Best Practice, IAIA. http://www.iaia.org/Members/Publications/Guidelines_Principles/Principles%20of%20IA.PDF Acesso em Fev/ 2007.

International Association for Impact Assessment (2002). SEA Performance Criteria, IAIA. www.iaia.org. Acesso em Fev/ 2007

JENKINS, B.M., BAXTER, L.L, MILES JR., T.R., MILES, T.R. "Combustion properties of biomass". Fuel Processing Technology 1998; 54: 17-46.

Jornal Folha de São Paulo (07/02/2007) – Caderno Dinheiro - Notícia : **País precisa de cem novas usinas de etanol até 2010**, jornalistas: Janaína Lage; Mauro Zafalo. Site Folha de São Paulo: www1.folha.uol.com.br/folha/dinheiro/ult91u114318.shtml

JOYCE, JA, DIXON, TF. "Bagasse and trash combustion – where to next?". International Sugar Journal, 2006, vol. 108, pp. 372-380.

KLINK, J. J. (2001). "A cidade-região: regionalismo e reestruturação no Grande ABC Paulista". DP&A Editora.

LARSON, ED, WILLIAMS, RH AND LEAL, MRLV. "A review of biomass integrated-gasifier/gas turbine combined cycle technology and its application in sugarcane industries, with an analysis for Cuba". Energy for Sustainable Development. Vol. V, No. 1, pp. 54-76, March 2001.

LARSON, ED; JIN, H; WILLIAMS, RH AND CELIK, FE. "Gasification based liquid fuels and electricity from biomass with carbon capture and storage". Fourth Annual Conference on Carbon Capture and Sequestration, Alexandria, Virginia, USA, 2005.

LEONTIEF, W. (1989). "Input-output data base for analysis of technological change". *Economic Systems Research* 1(3), 287-295.

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. p. 148.

MACEDO, I.C.; LEAL, M.R.L.V.; SILVA, J.E. "Emissão de gases de efeito estufa (GEE) na produção e uso do etanol no Brasil: situação atual (2002)", SMA-Secretaria do Meio Ambiente de São Paulo, São Paulo, 2004.

MENEZES, T.J.B., (1980) "Etanol Combustível do Brasil, Ed. Agronômica Ceres, (1980, 233 pg (pg.42)

MILLER, R. E., AND BLAIR, P. D. (1985). "Input-output analysis: foundations and extensions". Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.

MILLER, R. E., e P. D. BLAIR (1985). *Input-output analysis: foundations and extensions*. Prentice-Hall.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). "Avaliação Ambiental Estratégica." 95. Brasília: MMA, 2002.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES (2006). Brasília;

MONTGOMERY M., LARSEN, O.H. "FIELD TEST CORROSION EXPERIMENTS IN DENMARK WITH BIOMASS FUELS PART 2: CO-FIRING OF STRAW AND COAL". *Materials and Corrosion*, 2002; 53(3): 185-194.

MORRIS, M., WALDHEIM, L., LINERO, FAB., LAMÔNICA, HM. 2002. "Increased Power Generation from Sugar Cane Biomass – the results of a technical and economic evaluation of the benefits of using advanced gasification technology in a typical Brazilian sugar mill". Texto disponível em <www.tps.se>. Acesso em 14/07/2003.

NILSSON, M., A. BJORKLUND, ET AL. (2005). "Testing a SEA methodology for the energy sector: a waste incineration tax proposal." *Environmental Impact Assessment Review* 25: 1-32.

OPET. Review of Finnish biomass gasification Technologies. OPET Report 4, VTT, Espoo, Finland, 2002.

PARTIDÁRIO, M. R. (2003). Strategic Environmental Assessment (SEA): current practices, future demand and capacity-building needs., International Association for Impact Assessment. www.iaia.org. Acesso em Fev/ 2007.

PAULA, H.C.B. E CARIOCA, J.O.B, "Insulin: Prospects for food industry", em *Recycling Process for Human Food and Animal Feed from Residues and Resources*, UFC Edições, Fortaleza, 2000

PIMENTEL, G. (2003), *Correio da Bahia*, de 18/07/03.

PINTÉR, L., D. SWANSON, et al. (2004). "Strategic Environmental Assessment: A Concept in Progress".

PONCE, F., WALTER, A. 1999. Potential Assessment of BIG-GT Technology in Cuban Sugar Cane Mills. In: *Proceedings of the Fourth Biomass Conference of the Americas*, Oakland, EUA, Agosto, pp. 1127-1133.

PRAJ INDUSTRIES LTD. (2005), Comunicação pessoal para Projeto CARENSA.

PRODUÇÃO AGRÍCOLA MUNICIPAL – Culturas Temporárias e Permanentes (2003). Volume 30 – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 2004. Rio de Janeiro;

PROGRAMA DE ACELERAÇÃO DO CRESCIMENTO 2007-2010 – Casa Civil – Presidência da República – Material para a Imprensa, 2007.

Site UNICA:

Produção de álcool do Brasil das safras 1990/91 a 2005/06, site UNICA - <http://www.portalunica.com.br/portalunica/?Secao=refer%EAnCIA>

RFA – Renewable Fuels Association. From Niche to Nation – Ethanol Industry Outlook 2006. RFA; 2006.

RODRIGUES M., WALTER A., FAAIJ, A. "Co-firing of Natural Gas and Biomass Gas in Biomass Integrated Gasification/Combined Cycle Systems". *Energy* 2003; 28: 1115–1131.

RODRIGUES, M., FAAIJ, A., WALTER, A. "Techno-economic analysis of co-fired biomass integrated gasification/combined cycle systems with inclusion of economies of scale". *Energy*, 2003, 28, 1229-1258.

ROMM, J. "The car and fuel of the future". *Energy Policy* 2006; 34: 2609-14.

ROSILLO-CALLE, F, WALTER, A. "Global market for bioethanol: historical trends and future prospects". *Energy for Sustainable Development* 2006; X(1): 18-30.

SACHS, R.M. (1980), "Crop feedstocks for fuel alcohol production in California", *Environmental Horticulture*, University of California, June, 1980.

SCARAMUCCI, J. A., C. PERIN, P. PULINO, O. F. J. G. BORDONI, M. P. CUNHA e L. A. B. CORTEZ (2006). "Energy from sugarcane bagasse under electricity rationing in Brazil: A computable general equilibrium model". *Energy Policy* 34 (9), 986–992.

SCARAMUCCI, J. A., E CUNHA, M. P. (2006). "Bioethanol as basis for regional development in Brazil: an input-output model with mixed technologies". 2006 Intermediate Input-Output Meeting, Sendai (Japan), July 26–28.

SEABRA, J.E.A.; MACEDO, I.C.; LEAL, M.R.L.V. (2006), "The energy balance on GHG avoided emissions in the production/use of ethanol from sugar cane in Brazil: the situation today and the expected evolution in the next decade", *Anais do XVI International Symposium on Alcohol Fuels*, Rio de Janeiro, RJ, Nov. 26-29, 2006.

SEGGIANI, M. "Empirical correlations of the ash fusion temperatures and temperature of critical viscosity for coal and biomass ashes". *Fuel*, 1999; 78: 1121–1125.

Site biodiesel:

<http://www.biodiesel.gov.br/docs/PLANONACIONALDOAGROENERGIA1.pdf>

Site Prossiga (22/12/2006):

<http://prossiga.ibict.br>

SMEETS, E., JUNGIGER M., FAAIJ, A., WALTER A. E DOLZAN P., "Sustainability of Brazilian Bio-ethanol", Copernicus Institute, Universidade de Utrecht, Agosto, 2006.

STOEGLEHNER, G. AND G. WEGERER (2006). "The SEA-Directive and the SEA-Protocol adopted to spatial planning—similarities and differences." *Environmental Impact Assessment Review* 26: 586–599.

STORPER, M., E SALAIS, R. (1997). *Worlds of production*. Harvard University Press.

TIAGO DOMINGOS (coord.). "Avaliação Ambiental Estratégica do Programa de Desenvolvimento Rural 2007-2013 de Portugal - Continente." 110. Lisboa: Instituto Superior Técnico, 2006.

UNCTAD – United Nations Conference on Trade and Development. The Emerging Biofuels Market: regulatory, trade and development implications. Geneva; 2006.

UNIÃO DA AGROINDÚSTRIA CANAVIEIRA DE SÃO PAULO (UNICA) (2006). (<http://www.unica.com.br/>).

UNICA (2005), "Energia da cana-de-açúcar: doze estudos sobre a agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e sua sustentabilidade", coordenado por Isaias de Carvalho Macedo, 2005.

UNITED NATIONS FOUNDATION. The United Nations Biofuels Initiative. United Nations; 2006. Disponível em www.unfoundation.org.

URIESTE, D. (2005), "Uso de recursos hídricos e legislação ambiental", Relatório Interno do Projeto Etanol, Setembro, 2001.

VICENTE, G. AND M. R. PARTIDÁRIO (2006). "SEA – Enhancing communication for better environmental decisions." Environmental Impact Assessment Review **26**: 696–706.

WALDHEIM, L. "Overview of Gasification of Biomass" – 2005. Apresentação em evento realizado no CTC, em Piracicaba, em Setembro de 2005.

WALDHEIM, L., MORRIS, M., LEAL, M.R.L.M. 2000. "Biomass Power Generation: Sugar Cane Bagasse and Trash". Proceedings of the Progress in Thermochemical Biomass Conversion. Tyrol, Austria, September.

WALTER, A, LLAGOSTERA, J. "Feasibility Analysis of Co-Fired Combined Cycles Using Biomass-Derived Gas and Natural Gas". ECOS 2006, Creta, Grécia, Julho de 2006.

WALTER, A, ROSILLO-CALLE, F, DOLZAN, PB, PIACENTE, E, CUNHA, KB. "Market Evaluation: Fuel Ethanol". Relatório do Task 40: Task 40 Sustainable Bio-energy Trade; securing Supply and Demand. Disponível em www.bioenergytrade.org; 2007.

WILLIAMS, R, LARSON, ED. "Advanced Gasification-Based Biomass Power Generation and Cogeneration". In: Fuels and Electricity from Renewable Sources of Energy. Edited by Johansson, TB, Kelly, H, Reddy, AKN, Williams, R. Island Press, Washington, 1993.

WOYTIUK, K. "Sugar cane trash processing for heat and power production". Lulea University of Technology. Lulea, Suécia, 2006.