



cg ee

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
Ciência, Tecnologia e Inovação



Prospecção Tecnológica

Mudança do Clima

Estudo 5 – Ferramentas

Estudo de Ciência, Tecnologia e Inovação

Estudo de Tecnologias

Manoel Fernandes Martins Nogueira



SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	4
2. COMBUSTÍVEIS RENOVÁVEIS PARA TRANSPORTES	7
2.1. ETANOL	7
2.2. BIODIESEL.....	8
3. GERAÇÃO DE ELETRICIDADE PARA OS SISTEMAS ISOLADOS	10
3.1. QUEIMA DIRETA DE BIOMASSA	11
3.2. MICRO E PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS.....	11
3.3. PICO CENTRAIS ELÉTRICAS	12
3.4. ÓLEOS VEGETAIS	14
3.5. GASEIFICAÇÃO DE BIOMASSA	15
3.6. CÉLULAS A COMBUSTÍVEL.....	16
4. RESÍDUOS RURAIS	18
4.1. RESÍDUOS ANIMAIS	18
4.2. RESÍDUOS AGRÍCOLAS	19
5. RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS – RSU	22
5.1. QUEIMA DIRETA DO GÁS DE LIXO (GDL).....	22
5.2. QUEIMA DIRETA DO RESÍDUO SÓLIDO URBANO	24
5.3. COMPOSTAGEM SECA ANAERÓBIA.....	24
5.4. PRÉ-HIDROLISE ÁCIDA – BEM.....	25
6. FLORESTAS E REFLORESTAMENTOS	26
7. COGERAÇÃO E GERAÇÃO DISTRIBUÍDA.....	28
8. REDUÇÃO DE GÁS DE “FLARING” EM REFINARIAS E PLATAFORMAS PETROLÍFERAS	29
9. OUTRAS ALTERNATIVAS DE SEQÜESTRO	31

1. INTRODUÇÃO

Para fins deste estudo, foram considerados projetos nas seguintes áreas:

- Energia
- Agronegócios
- Resíduos Sólidos Urbanos/

Além dos seus abundantes recursos naturais, o Brasil possui um considerável acervo científico, tecnológico e um grande parque industrial, resultando numa situação privilegiada entre os países em desenvolvimento que o habilitam a propor projetos em todas as áreas acima, posição esta que só pode ser igualada por Índia e China. Dentre o grande espectro de possibilidades brasileiras, existem algumas em que o Brasil possui vantagem competitiva em relação aos outros países, que basicamente se materializa na forma de poder ofertar produtos e serviços em larga escala e a baixo custo. Essas possibilidades, em maior ou menor intensidade, ainda demandam por desenvolvimentos científicos e tecnológicos que tornem os processos mais eficientes e com produtos finais mais baratos. Como as tecnologias devem ser adaptadas às peculiaridades brasileiras, dificilmente serão desenvolvidas fora do país.

Para promover o desenvolvimento das tecnologias necessárias para viabilizar a maximização de projetos de MDL, investimentos precisam ser feitos na formação de recursos humanos e em inovações focadas nas necessidades prioritárias, evitando a pulverização de recursos financeiros. Isto fará com que os resultados aconteçam no menor período de tempo possível, ao menor custo e com o maior benefício. Sem dúvida, o principal instrumento dessa ação são os fundos setoriais do Ministério de Ciência e Tecnologia, mas outros recursos financeiros provenientes dos estados e do setor produtivo, privado e público, são igualmente possíveis de serem aplicados na remoção de óbices tecnológicos.

Com relação aos Fundos Setoriais do MCT, os que mais se aplicam para o desenvolvimento tecnológico da área de energia são os Fundos Setoriais de



Energia Elétrica e de Petróleo. Estes Fundos tem como prioridade o investimento em ações que resultem em produtos ou processos com valor comercial e que possam ser internalizados no setor industrial. Ambos incentivam ações conjuntas entre institutos de pesquisa e empresas como meio para que a inovação flua dos laboratórios para as fábricas. Os orçamentos desses fundos são anuais e para o ano de 2004 eles são de R\$ 160 e 250 milhões respectivamente.

Além dos recursos federais, também podem ser utilizados recursos estaduais geralmente localizados nas Fundações de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico e nas Secretarias de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. No setor empresarial, a Petrobras está investindo fortemente em inovações tecnológicas inclusive para geração com fontes renováveis. A Eletronorte possui também programas de P&D+I e, como consequência da Lei 9991, as empresas do setor elétrico são obrigadas a investir um percentual da sua receita líquida em projetos de inovação tecnológica. Todos os recursos acima perfazem um total respeitável, que mesmo sendo uma fração dos recursos disponíveis nos países desenvolvidos, é muito maior do que a maioria dos países em desenvolvimento possuem para investir em tecnologia. O grande desafio está em definir ações articuladas entre os diversos fundos que viabilizem os desenvolvimentos tecnológicos requeridos.

A complementação de uma situação favorável para promover atividades de desenvolvimento tecnológico nas empresas virá com a aprovação do Projeto de Lei da Inovação Tecnológica (PL7282/2002) em tramite no Câmara dos Deputados e com previsão de votação em julho de 2004. Nessa lei as empresas dos setores de semicondutores, bens de capital, fármaco e software que invistam em pesquisa e desenvolvimento tecnológico poderão receber recursos a fundo perdido oriundos do FNDCT (Fundos Setoriais do gerido pelo MCT). Também prevê a essas empresas a concessão de subsídios e incentivos fiscais, dá preferência nas compras governamentais e permite a utilização de laboratórios públicos mediante compensação financeira para desenvolvimento de atividades de interesse da empresa, entre outras providências.

Por outro lado, indefinições e incertezas persistem quanto à elegibilidade ao MDL dos projetos de fornecimento de eletricidade à rede com base em fontes renováveis. Devido o setor elétrico brasileiro ser fortemente hídrico e possuir hidroelétricas já amortizadas, o custo da eletricidade por elas geradas é muito pequeno quando comparado com o custo da geração na Europa e Estados Unidos. Além do baixo custo, a prioridade pelas expansões da geração hídrica e do sistema interligado de transmissão de eletricidade causa dificuldade na definição da linha de base da adicionalidade. Outros fatores dificultadores são a inexistência de regulamentação para a fornecer eletricidade excedente de cogeração e geração descentralizada para a distribuidora e também o recém iniciado processo de implantação do novo modelo institucional do setor elétrico para o sistema interligado. Para os sistemas isolados, a situação é particularmente crítica pois não existe o seu modelo institucional fazendo com que as relações entre empresas sejam definidas caso a caso e com dificuldade de serem reguladas pela ANEEL.

Neste contexto, serão apresentados as áreas onde a potencialidade brasileira de oferecer projetos são maximizadas. É nessas áreas que a remoção dos óbices tecnológicos serão trará ganhos significativos aos projetos, lhes proporcionando sua viabilidade técnica e/ou econômica no curto ou médio prazo. Será também apresentado a tendência atual de desenvolvimento dessas tecnologias e indicado quais as instituições que já possuem um histórico de trabalhos nos temas.



2. COMBUSTÍVEIS RENOVÁVEIS PARA TRANSPORTES

Etanol e biodiesel são as grandes oportunidades de negócio. Com relação ao etanol, somos a referência mundial. A produção brasileira é em volume tão grande e a um custo tão baixo que os outros países, inclusive países desenvolvidos, irão necessitar de pelo menos 10 anos para alcançar os números brasileiros. Para manter a vantagem que o Brasil detém hoje, inovações tecnológicas precisam ser incorporadas na cadeia produtiva do álcool. O Biodiesel, apesar de incipiente no Brasil, já chega com duas vantagens comparativas. A primeira é que o Brasil possui uma diversidade de produtos agrícolas que permitem a produção de óleos vegetais de norte a sul. A produção desses óleos depende de atividades extrativistas ou agrícolas e ambas tem a capacidade de criar empregos e renda para a população rural, condição fundamental para promover o desenvolvimento sustentável. A segunda vantagem, é que diferente dos produtores estrangeiros de biodiesel que utilizam metanol no seu processo de produção, um combustível de origem fóssil geralmente obtido a partir do carvão mineral, na produção do biodiesel brasileiro o metanol será substituído por etanol, um combustível renovável.

2.1. ETANOL

Apesar dos excelentes resultados alcançados, o setor ainda tem muito espaço para desenvolvimento, particularmente em relação à melhoria genética da cana com a oferta de variedades específicas para as várias regiões e ambiente de produção. Para isso é preciso completar o seu mapeamento genético. É também necessário o desenvolvimento de tecnologias para a produção em larga escala de mudas sadias. Na produção da cana existe demanda por inovações tecnológicas que promovam a utilização mais eficiente de ferti-irrigação com vinhaça, por novos sistemas de irrigação, por tecnologias para produção de cana sem queima dos canaviais e por melhoria e integração de sistemas de informática para planejamento e controle da produção. No processo industrial, o desenvolvimento de tecnologias para a recuperação da

palha a baixo custo, a menos que US\$1.00/GJ, o aumento da capacidade de cogeração e o aumento da eficiência energética do consumo interno de energia.

Relativo à produção de etanol, identifica-se como um novo processo, com grande possibilidade de reduzir os custos de produção, a hidrólise de lignocelulósicos e, em particular, utilizando processos catalisados por enzimas. Também o custo da produção pode ser reduzido conseguindo desenvolver novos fins comerciais para os produtos de sacarose como plásticos, solventes, amino-ácidos. É necessário também promover o desenvolvimento de novos usos para o etanol e as atividades mais promissoras são as misturas com diesel para motores alternativos, a utilização de etanol em células a combustível, seja com uso de reformador ou com alimentação direta, e a utilização de etanol na produção de biodiesel.

O Centro Tecnológico da Copersucar, a Unicamp e a Embrapa são algumas das instituições trabalhando nessas atividades.

2.2. BIODIESEL

A meta desejada é a de reduzir os custos de produção de biodiesel, utilizando etanol como reagente, a valores equivalentes ao da produção de diesel. Essa redução de custo não se restringe somente ao processo industrial, mas também no custo da produção do óleo vegetal, e no desenvolvimento de novas utilizações comerciais para o subproduto glicerina, aumentando assim a receita do processo. Também surgem como oportunidades de mais longo prazo, o desenvolvimento de novas rotas de produção de biodiesel através de catalise heterogênea e enzimática e craqueamento do óleo vegetal.

Vale salientar o esforço que está sendo feito pela sociedade brasileira para efetivamente criar um grande programa de produção e uso de biodiesel no Brasil, existindo uma forte articulação entre os vários atores envolvidas na sua cadeia produtiva. Os agentes governamentais estão coordenados pelo Comitê Interministerial para o Pro-Biodiesel. As instituições de pesquisa, como o IVIG-COPPE, TECPAR, e o LADETEL estão participando da proposição de ações.



Existe o envolvimento do setor produtivo através da ABIOVE e as grandes empresas energéticas do Brasil possuem ações neste tema. A Eletrobras desenvolve um programa na Amazônia para deslocamento do consumo de óleo diesel em localidades isoladas e a Petrobras pretende operar em 2005 um planta de produção de biodiesel no Nordeste.

3. GERAÇÃO DE ELETRICIDADE PARA OS SISTEMAS ISOLADOS

As localidades da Amazônia Legal que não estão conectadas a rede básica de transmissão de eletricidade do Brasil constituem os sistemas isolados. Estes sistemas são os principais consumidores brasileiros de combustíveis fósseis, principalmente óleo diesel, na geração de energia elétrica, e em muitos casos, de maneira ineficiente. Para essa atividade, os combustíveis são fortemente subsidiados pelas tarifas de energia elétrica. Com a implementação do programa nacional de universalização do acesso e uso de eletricidade, existe uma tendência para que a demanda de óleo diesel nesses sistemas aumente. Isso cria uma grande oportunidade de negócios que é a utilização de fontes energéticas locais para a geração, sejam as renováveis, seja o gás natural, em substituição aos combustíveis fósseis. Em muitos casos a geração com fontes locais pode ser feita com valores competitivos com os da geração diesel, pois a logística de transporte de diesel e a manutenção das centrais térmicas são muito dispendiosos.

Ciente de que o advento do Programa Luz para Todos nos sistemas isolados irá demandar tecnologias de geração de eletricidade a partir de fontes renováveis locais e de pequena potência e mecanismos de gestão ainda inovadores na região, o MME em conjunto com o MCT/CT-Energ lançaram um Edital para implantar plantas demonstrativas, sustentáveis técnica, econômica e ambientalmente. Os 21 projetos selecionados através do edital CNPq/MME/CT-Energ-03 serão os primeiros demonstradores dessas tecnologias a nível pré-comercial.

Projetos MDL nessa região além de promover a agregação de renda a produção local e contribuir para o seu desenvolvimento sustentável irá reduzir a emissão de poluentes locais e reduzir o volume de subsídio a geração diesel. Por outro lado, as tecnologias a serem empregadas devem ser adaptadas às condições climáticas, geográficas, e sociais da região, ou seja, devem operar eficientemente sob larga variação de temperatura (15 - 40 °C), em altos níveis



de umidade relativa do ar, requerendo baixa manutenção, e de preferência, utilizando recursos humanos locais para a sua operação e manutenção. Acrescente-se a tudo isso a necessidade de serem resistentes a ação de pragas e insetos típicos do ambiente das florestas úmidas.

Abaixo segue a relação de tecnologias, por ordem decrescente de maturação, com as suas necessidades de desenvolvimento científico e tecnológico.

3.1. QUEIMA DIRETA DE BIOMASSA

Este sistema gera energia com a queima de resíduos de biomassa decorrentes de processos agrícolas ou agro-industriais. O calor da queima é utilizado para produzir vapor de água que é expandido em uma turbina para gerar eletricidade. A indústria brasileira já domina toda a cadeia produtiva dos equipamentos necessários nesses sistemas, mas por motivos econômicos, a menor potência fabricada é de 300 kW (TGM em Sertãozinho, SP). Essa potência é alta para a maioria das comunidades isoladas. Para potência menores, os motores stirling possuem o potencial de serem mais eficientes a um custo por kW menor. Tanto o domínio tecnológico quanto o domínio do processo de fabricação ainda está em fase inicial de desenvolvimento no Brasil, e está bem mais desenvolvido no resto do mundo. Já existem ações coordenadas no Brasil entre institutos de pesquisa, governo, e empresas para recuperar o terreno perdido, motivado pela abertura do mercado de geração isolada que o programa de universalização propiciará. Participam desse esforço a Cemig, Unifei, Eletroacre, e empresas privadas produtoras de bens de capital, utilizando recursos financeiros do MME e do CT-Energ.

3.2. MICRO E PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS

O principal óbice para estas centrais é a identificação de locais onde as centrais possam ser construídas a uma distância economicamente viável de distribuir a eletricidade nas comunidades isoladas. É necessário fazer um levantamento que conjuga informações hidro-topográficas com a localização de centros de carga e suas informações sócio econômicas. Esse material permitirá a identificação de quais locais são prioritários para receber plantas hídrica de

geração e atuaria como elemento orientador tanto para empresários como para os programas de governo.

Para estes sistemas reduzirem seus custos de operação e manutenção na região, e necessário possuírem sistemas de automação parcial ou total, para que possam ser geridos a distância. Apesar de existir disponibilidade no Brasil dessa tecnologia, ela precisa ter seus custos reduzidos e serem adaptadas as condições amazônicas. As instituições atualmente envolvidas nisso são a Unifei, o IME, a Eletronorte e a Cemig.

As características hidro-topográficas da maioria da região demanda por turbinas de alta vazão e baixa queda. Apesar dessa tecnologia ser ofertada no Brasil por somente um fabricante, ela é totalmente importada. É necessário então promover a internalização e a disseminação do conhecimento para permitir a redução do preço.

As instituições que estão trabalhando no tema são o a UFPA, o IME, a UnB, a Beta Hidroturbinas, e a Alston.

3.3. PICO CENTRAIS ELÉTRICAS

A dispersão populacional na Amazônia é também um complicador para o atendimento das demandas elétricas. Existem consumidores agrupados e de uma até vinte casas distante dezenas de quilômetros da sede dos municípios e entre e isoladas na floresta, tendo por muitas vezes o rio como único meio de acesso, tendo essas comunidades atividades econômicas baseadas principalmente no extrativismo das florestas e dos rios. Por outro lado, a potência necessária para atender esses consumidores não excede a 50 kW no caso de 20 residências. Essa realidade geográfica e elétrica torna o atendimento por extensão de rede elétrica economicamente impossível e também reduz as opções de geração tendo como tradicional meio de atendimento, o grupo-gerador diesel. Este meio é insatisfatório pois pequenos volumes de óleo diesel necessitam ser transportado por grandes distâncias encarecendo significativamente o preço final do combustível, de maneira que a



disponibilidade dessa geração é eventual. Estima-se que o tamanho desse mercado em todo o Brasil esteja entre 50 a 100 MW.

A geração com fontes locais tem aqui um nicho de mercado que pode ocupar imediatamente, mas a disponibilidade de tecnologias que gerem potências tão pequenas de maneira eficiente, robusta e demandando por pequena manutenção, são poucos. Em ordem decrescente de maturação tecnológica, as tecnologias são turbinas hidráulicas, painéis fotovoltaicos, turbinas hidrocínéticas, aerogeradores, gaseificadores, motores stirling e células a combustíveis.

Exceto pelos painéis fotovoltaicos, turbinas hidrocínéticas e aerogeradores, todas as outras tecnologias já estão sendo abordadas neste item 3. A indústria internacional de sistemas fotovoltaicos está em crescimento explosivo tendo como estratégia comum de desenvolvimento nos seus países sede a criação pelos seus respectivos governos de um mercado interno que funcione como âncora para a estruturação do setor industrial e daí participar das oportunidades internacionais. Esta estratégia tem se demonstrado eficiente a tal ponto que todos os painéis fotovoltaicos disponíveis no Brasil são fabricados no estrangeiros, exceto os não competitivos fabricados pela Heliodinâmica. A consequência imediata dessa realidade é que o uso de tais painéis é uma evasão de divisas internacionais do Brasil. Por outro lado, a indústria fotovoltaica já reconhece como óbice futuro ao seu crescimento a disponibilidade de silício grau solar, sendo o Brasil o maior exportador mundial de silício metalúrgico. Isso posto surge então para o Brasil duas oportunidades únicas para a sua inserção nesse mercado. A primeira é aproveitar o programa de universalização como esteio inicial para fomentar no Brasil a criação de um parque industrial competitivo de sistemas fotovoltaico capaz de disputar o mercado internacional e a segunda e fomentar no Brasil a instalação de indústrias de beneficiamento do silício metalúrgico para alcançar o grau de pureza solar. Em relação a primeira oportunidade, algumas instituições que estão trabalhando nessa área são PUC-RS, UFRGS, IEE/USP-SP, UFPE, Labsolar/UFSC, UNIFACS, IDSM, UFPA, CEPEL/CRESESB. Na segunda

oportunidade, algumas instituições trabalhando no assunto são IME, IPT, e CETEC-MG.

As turbinas hidrocínéticas, ou seja, turbinas hidráulicas que aproveitam somente a energia cinética dos rios sem a necessidade da construção de barragens, é uma opção interessante para potências na faixa entre de 0,5 até 5 kW, o que pode atender até 5 domicílios ribeirinhos. Essa tecnologia está em fase pré comercial com alguns protótipos já instalados na região de Correntina, oeste da Bahia e com previsão de instalação de unidades demonstrativas na Amazônia, em particular no estado do Amapá no contexto do Edital CNPq/MME/MCT-CTEnerg. O limitante dessa tecnologia está no limite inferior de velocidade da água do rio que está muito alta, tem que ser maior que 0.8 m/s, e na eficiência da performance de longa duração desses equipamentos. As instituições que estão trabalhando no tema são a UnB, Unifei, INPA, UFPA e CERPCH.

A costa atlântica da região amazônica e o nordeste de Roraima possuem indicadores de velocidades de vento propícios para o uso de aerogeradores. A carga existente nessas áreas é pequena (kW) demandando pequenos aerogeradores. O Brasil domina o processo de fabricação de pás de grandes aerogeradores, mas não domina a tecnologia e processo de fabricação de sistemas de controle do passo da pá, do gerador, da transmissão e do controle do processo. Existem esforços para o desenvolvimento de aerogeradores de pequeno porte na Unicamp e na PUC-RS onde já foram desenvolvidos cabeças de série de produção industrial. A Rede Brasileira de Tecnologia do MCT publicou via Finep, com recursos do CT-Energ, um edital para promover o desenvolvimento desses aerogeradores. Cita-se aqui também o Centro Brasileiro de Energia Eólica – CBEE, a UFPA e a CEMIG como referência no assunto.

3.4. ÓLEOS VEGETAIS

A produção de biodiesel por transesterificação é um processo químico controlado, significando a necessidade de mão de obra qualificada. Também



precisa de um álcool nesse processo, o que implica em transportá-lo para o local da planta de produção de biodiesel, o que acarreta os mesmos inconvenientes do transporte de óleo diesel na Amazônia.. Essa região é rica em oleaginosas, detém o conhecimento de manutenção e operação de motores diesel e possui todos os equipamentos para produção de óleo e geração na própria região. O principal problema com motores diesel consumindo diretamente óleos vegetais é a redução dos tempos de manutenção devido a carbonização das regiões quentes e a formação de lacas e gomas nas regiões frias. O CEPEL demonstrou que é possível estender o tempo entre as manutenções requeridas por motores diesel operando com óleos vegetais, perfazendo alterações relativamente simples nos motores e o CIRED (Centre International de Recherche sur l'Environnement et le Développement, www.centre-cired.fr) demonstrou que com a utilização de pré-câmaras de combustão, a operação é similar aos motores usando óleo diesel. Um motor desse tipo sem dúvida poderá ser bastante demandado pelas concessionárias de energia elétrica da Amazônia no atendimento das suas metas da universalização. Além do produto tecnológico, é necessário o desenvolvimento de modelos de gestão que garantam a sustentabilidade técnica, econômica e ambiental destas centrais.

3.5. GASEIFICAÇÃO DE BIOMASSA

A gaseificação de biomassa, está em estágio pré-comercial. A vantagem desta tecnologia é que torna a conversão da biomassa em energia elétrica em um processo mais eficiente e com equipamentos mais compactos, dando mais flexibilidade de operação a planta. Após a gaseificação da biomassa, o gás pode ser usado para queima em um forno, como gás de síntese e/ou como combustível para um motor alternativo ou turbina a gás. Podemos subdividir as ações de gaseificação no Brasil em ações objetivando grandes (MW) e pequenas (kW) potências. Os principais projetos envolvendo grandes potências, cujo objetivo é injetar energia elétrica na rede básica, são os desenvolvidos pela CHESF e pela Copersucar. O primeiro está pronto para implementar a planta industrial mas está sendo abandonado, e o segundo

recentemente concluiu os estudos e elaborou o projeto básico para uma planta demonstrativa.

O uso de gaseificadores de pequena potência, tem como nicho, o atendimento de consumidores isolados da rede de distribuição de energia elétrica. Neste caso, a biomassa a ser gaseificada são os resíduos da produção agrícola e resíduos de serrarias. Estes sistemas propiciariam a redução do uso de óleo diesel, mantendo o uso de motores alternativos, tecnologia esta robusta e largamente difundido no país. As atividades em andamento no Brasil concentram-se na internalização da tecnologia de gaseificadores indianos visando evoluir a tecnologia e a transferir para o setor produtivo, e os trabalhos estão sendo coordenados pelo Cenbio/IPT, UFAM, UFPA.

Assim sendo, aqui existe oportunidade por desenvolvimento de grupos geradores com gaseificadores, bem como adaptação de motores diesel para consumirem gás, pois esses motores são mais eficientes e robustos que os motores do ciclo otto. Motores diesel consumindo gás proveniente de biomassa para gerar eletricidade de qualidade é um desafio por si só. Dependendo da composição da biomassa, a composição do gás varia, gerando a necessidade de compensação da capacidade calorífica da mistura gasosa pela variação na adição de óleo diesel. Sistemas eletrônicos precisam ser desenvolvidos para fazer esse ajuste eficientemente. Um atrativo a mais é desenvolver esses motores para operarem com biodiesel substituindo o diesel.

Além do produto tecnológico, é necessário o desenvolvimento de modelos de gestão que garantam a sustentabilidade técnica, econômica e ambiental dessas centrais.

3.6. CÉLULAS A COMBUSTÍVEL

Os dificultadores da geração nos sistemas isolados são o transporte do combustível, a operação da planta, e a sua manutenção, tudo isto a um custo compatível com a capacidade de pagamento das comunidades atendidas. As células a combustível podem utilizar combustíveis locais, como os gases oriundos da gaseificação de biomassa, o álcool, e o gás natural. As células



podem ser operadas remotamente, e como não possuem peças móveis, possuem pequena manutenção que em grande parte pode ser feita remotamente. O custo e a potência são os limitantes dessa tecnologia. O tipo de célula que mais se presta para esse tipo são as de óxido de sódio onde a tecnologia hoje só é capaz de produzir equipamentos com potência de 500 W. Precisa-se aqui investimentos para aprimorar a tecnologia, tanto das células em si quanto de reformadores de álcool e gás natural.

O MCT e o MME estão imbuídos em promover esse desenvolvimento com os recursos do CT-Energ. As principais instituições envolvidas no processo são a Unicamp, a Coppe/UFRJ, o Lactec, Cepel, INT e a Petrobras além de empresas que produzem células no Brasil como a Eletrocell e Unitech. Sediado na Unicamp está o Centro Nacional de Referência em Energia do Hidrogênio - CENEH que tem por objetivo aglutinar informações e propor ações de desenvolvimento tanto na produção de hidrogênio quanto no seu uso final. As ações de maior envergadura em andamento no Brasil são a planta de produção de hidrogênio da Cemig e o projeto de instalação de ônibus movidos por células hidrogênio trafegando regularmente na grande São Paulo com a execução pela EMTU/SP.

Como pode ser observado pelo descrito no parágrafo anterior, o Brasil já possui uma massa crítica na área de produção e uso de hidrogênio que o qualifica para participar das ações internacionais, tanto para troca de informações quanto para o desenvolvimento de produtos. Alie-se a isso o fato que existe um esforço internacional para a criação de uma infra-estrutura para a comercialização de hidrogênio no ano 2020, é necessário que o Brasil tenha programas nacionais para a promoção dessa tecnologia. Nesse intuito o MCT elaborou um programa para promover o desenvolvimento de células denominado de Programa Nacional de Sistemas com Células a Combustível com o apoio financeiro do CT-Energ e o MME está desenvolvendo uma política para criar uma economia do hidrogênio no Brasil.

4. RESÍDUOS RURAIS

Aqui duas oportunidades de negócio são inquestionáveis. A primeira é a utilização dos resíduos animais, principalmente da suinocultura de Santa Catarina e da indústria leiteira e a segunda é a utilização de resíduos agrícolas como casca de arroz, palha de cana-de-açúcar, soja, manejo florestal, cacau e outras plantações em grande escala.

4.1. RESÍDUOS ANIMAIS

Biodigestores de alta performance podem ser utilizados para evitar o lançamento de metano pelos resíduos da suinocultura, particularmente importante no Estado de Santa Catarina e ao mesmo tempo agregar valor a produção local, e adicionalmente resolver um problema ambiental. O resíduo produz biogás que é combustível na geração de eletricidade utilizando motores diesel. O gerador é conectado a rede elétrica para venda do excedente da geração e o empreendimento também gera receita com a comercialização do adubo produzido pelo digestor. Sistemas desse tipo são uma evolução dos biodigestores utilizados com baixo sucesso nos anos 70. Apesar de serem utilizados com sucesso na Europa, ainda não foram implementados no Brasil.

O trabalho aqui consiste em otimizar e automatizar ao máximo todos os processos de um sistema biodigestor. A coleta de material deve evitar ao máximo o uso de recursos humanos e utilizar as etapas regulares do manejo animal para reunir os dejetos. A mistura deve escoar para um tanque de coleta onde os parâmetros da mistura são padronizados antes de entrar no biodigestor. Neste, a temperatura deve ser controlada através de serpentinas por onde escoar o calor de rejeito do motor. O gás produzido no biodigestor é limpo com a remoção de umidade e enxofre antes de ser aspirado no motor diesel. Motores do ciclo diesel devem ser utilizados preferencialmente devido a sua maior eficiência e robustez de mas precisam ser desenvolvidos para produzirem energia elétrica de qualidade apesar da flutuação na composição dos gases do digestor. Devido à flutuação na composição da mistura dos gases



que afetam no funcionamento do motor, óleo diesel deve ser adicionado ao gás em proporções variáveis dependendo da composição do biogás. Como no caso de motores operando com gaseificadores, o desenvolvimento do grupo-gerador é um desafio em si só. Ele não deve ser um motor originalmente diesel e então adaptado, mas sim um motor otimizado para consumir gás, com sistemas de controle do combustível adequado de maneira a maximizar a eficiência do sistema como um todo. Os calores de rejeito, tanto dos gases de exaustão quanto do sistema de refrigeração devem ser utilizados tanto no controle do processo do biodigestor quanto na planta de beneficiamento da produção de adubo. Algumas instituições já estão trabalhando no desenvolvimento de tal sistema no Brasil. Exemplos são Embrapa, Lactec, Unicamp e UnB.

A utilização de turbinas a gás de micro e pequeno porte são desejáveis em sistemas com maiores produções de biogás. Essas turbinas reduzem o custo de operação e manutenção e podem operar continuamente por longos períodos. Seu calor de rejeito, a mais alta temperatura que no caso dos motores diesel, também podem ser utilizado no processo industrial e o espaço físico necessário para a casa de máquinas é menor. O Brasil não fabrica essas turbinas o que faz com que o investimento inicial desses equipamentos seja muito alto. Esforços por parte do MCT, MME, Petrobras e setor industrial como Bardella e Nuclep estão envolvidas na promoção da fabricação tanto de turbinas de pequeno porte quanto num sistema de apoio a manutenção e operação, inclusive com a fabricação de peças de reposição.

Também é necessário ajustar a legislação para facilitar ou incentivar) a venda de eletricidade para as concessionárias, uma vez que essa venda é fundamental para obter o equilíbrio econômico financeiro do empreendimento.

4.2. RESÍDUOS AGRÍCOLAS

Tradicionalmente os resíduos do beneficiamento industrial da produção agrícola são queimados a céu aberto, lançando na atmosfera poluentes e gases de efeito estufa. Exemplos desse tipo de operação são a palha da cana-de-açúcar, casca de arroz, resíduo de serraria, resíduo de manejo florestal, entre outros.

O desafio aqui é tanto tecnológico quanto de modelos de gestão que permitam a coleta dos resíduos em volumes suficientes para justificar uma planta de geração de eletricidade vendendo energia para a rede a valores competitivos para a concessionária e que viabilizem economicamente o empreendimento. O desafio tecnológico está contido nesse desafio. Busca-se equipamentos agrícolas que possam coletar os resíduos no campo a baixo custo, veículos energeticamente eficientes que possam transportar os materiais por distâncias maiores, com pouco ou nenhum lançamento de poluentes, e processos de transformação mais eficientes.

No caso de geração de energia, a tecnologia mais madura é a queima direta, mas as perspectivas indicam uma mudança para o uso da liquefação e da gaseificação da biomassa. O dificultador do uso da biomassa energética é o seu transporte até a planta de geração. Devido esta ser sólida, a densidade energética do transporte é pequena. A produção a partir da biomassa de bio-óleo, gasolina e diesel são técnicas viáveis que precisam de investimento em plantas demonstrativas em escala pré-comercial para a introdução desta tecnologia no mercado. Instituições que estão trabalhando nessa direção são a Copersucar, Unicamp, e UFRGS.

A gaseificação possui a vantagem de dar maior rendimento ao ciclo energético. Enquanto uma planta com queima direta alcança eficiência em torno de 20%, a gaseificação permite o uso de turbinas a gás e motores diesel em ciclos de cogeração que possuem eficiência maiores. Esses motores de combustão interna podem também ter seus calores residuais utilizados em processos industriais, plantas de cogeração, que elevam o rendimento térmico do sistema para valores acima de 80%. Para isso ser viável, é preciso que se venha a dominar no Brasil os processos de gaseificação, bem como a produção de motores em ciclo diesel que eficientemente queimem o gás e a produção de turbinas a gás que possam operar com os gases da biomassa. A necessidade de desenvolvimento tecnológico em motores diesel e turbinas a gás é a mesma descrita no item de utilização de resíduos animais. Instituições que estão trabalhando com nessas atividades são o IPT, CTA/ITA, UnB, Unifei, e CTC/Copersucar.



Um grande inconveniente no processo de gaseificação de biomassa é o fato que os seus gases possuem um baixo poder calorífico, pois sua composição possui altos teores de CO, H₂ e H₂O. O desenvolvimento de processos químicos que permitam a conversão desse gás de síntese para gás metano utilizando catalizadores promoveria uma ampliação nas opções de uso dos gaseificadores. Além de aumentar a densidade energética dos gases, e permitir a utilização em motores convencionais, permitiria também a sua comercialização no mercado de gás natural, seja para fins de geração de eletricidade, calor, ou transporte.

5. RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS – RSU

Conforme descrito no estudo 4 sobre aterros sanitários, os dois principais processos de aproveitamento econômico de resíduos sólidos urbanos são a reciclagem e a transformação dos resíduos que existem consorciados. A reciclagem está ligada a eficiência energética e tem como principal dificuldade tecnológica o desconhecimento do coeficiente térmico de reciclagem de cada material. Fora isso, a eficiência da reciclagem está ligada a definição de modelos de gestão nos sistemas de separação. Já o processo de transformação possui desafios tecnológicos em todas as quatro principais opções de geração de eletricidade. Estas são o uso direto do gás produto dos RSU, a queima direta dos RSU, compostagem seca anaeróbia e pré-hidrólise ácida. Abordaremos a seguir os principais necessidades de aprimoramento do conhecimento desses processos para incrementar a implantação de projetos de MDL.

5.1. QUEIMA DIRETA DO GÁS DE LIXO (GDL)

Nos aterros sanitários acontece a decomposição da matéria orgânica presente nos RSU de maneira aneróbica, gerando um biogás com conteúdo médio de 50% de metano. Esse gás por ser rico em metano, é um excelente combustível e pode ser utilizado diretamente em processos de combustão ou misturado com o gás natural. Nestes, a necessidade é de aprimoramento tecnológico buscando-se a redução dos custos dos equipamentos. O Brasil não detém o conhecimento de motores de combustão interna especificamente projetados para consumir gás e acoplados a geradores elétricos. O Brasil sabe adaptar motores alternativos no ciclo otto, que originalmente foram projetados para consumir gasolina, para consumir gás. Essa adaptação torna o processo ineficiente resultando num processo de combustão incompleto levando os motores a lançar metano na atmosfera e ter sua vida útil reduzida devida a elevação das suas temperaturas de operação.



Além disso, motores do ciclo otto não são os mais indicados para geração de eletricidade. O mais apropriado são os motores de ciclo diesel por serem mais simples, robustos e mais eficientes. Para que um motor diesel venha a consumir gás é preciso que tenha um sistema de alimentação que misture um percentual de diesel que atuará na ignição da mistura dentro da câmara de combustão. Uma vez que um sistema de alimentação e controle seja desenvolvido, esse pode vir a ser utilizado pelos fabricantes de grupos geradores. Vale salientar que essa tecnologia não seria útil somente para a gás de RSU, mas para o uso para gás natural, gás de gaseificadores de biomassa e biogás.

No caso do gás de RSU vir a ser utilizado num processo de cogeração com potência elétrica superior a 1 MW, as turbinas a gás são mais compactas, de menor custo e maiores facilidades de operação e manutenção. Nos anos 80, o Brasil teve um forte desenvolvimento na capacidade de projeto e fabricação de turbinas a gás, culminando com a fabricação de 70 turbinas a gás para o então Ministério da Aeronáutica numa planta fabril denominada Selma em Petrópolis. Nos anos 90, com a privatização da Selma para a GE, a capacidade instalada foi desmobilizada e hoje só existe no país capacidade de manutenção. Projetos que venham a usar turbinas a gás tem a sua viabilidade econômica comprometida pois as turbinas importadas são caras, e mais caro ainda são as peças de reposição e a manutenção propriamente dita. Por outro lado, o desenvolvimento da capacidade de projeto e fabricação de turbinas a gás no Brasil possui um enfoque estratégico, pois pode reduzir os seus custos de investimento e ter repercussões nos setores de geração descentralizada de energia elétrica, exploração de petróleo, aeronáutica e escoamento de gás natural. Existe um esforço do MCT, via fundos setoriais, MME, ITA, PUC-RJ, USP-SP, Unifei, UnB, Petrobras, Eletrobras, Bardella e Nuclep para habilitar o Brasil a projetar e fabricar turbo-geradores de pequeno porte, 1-10 MW, para que o seu custo seja reduzido e venha a viabilizar esse tipo de planta.

Outra alternativa para a geração de eletricidade com gás de RSU é a utilização de células a combustível. O tipo de tecnologia em situação pré-comercial é utilizando membrana PEM e para potências de até 10 kW, já existem

fabricantes no Brasil. Um desafio aqui é desenvolver o reformador para transformar metano em dióxido de carbono e hidrogênio. O hidrogênio alimenta a célula a combustível gerando eletricidade. Outros desafios são aumentar a potência máxima fabricável no Brasil e reduzir seus custos. Conforme descrito no item células a combustível nos sistemas isolados deste estudo, várias ações estão em andamento coordenadas pelo MCT e MME com apoio dos fundos setoriais.

5.2. QUEIMA DIRETA DO RESÍDUO SÓLIDO URBANO

O ponto crítico que precisa ser dominado é como evitar que os gases residuais do processo de combustão, bastante agressivos e poluentes, não corram os equipamentos e poluam a vizinhança da planta de geração. Isso é tecnicamente viável e já existem fornalhas fora do Brasil com combustão em ambiente controlado que permitem a destruição dos compostos das armas químicas. Essa mesma tecnologia pode ser utilizada para processar os RSU, gerando calor para vaporizar a água e injetar o vapor numa turbina. Vale salientar que o Brasil já domina o processo de fabricação de todos os equipamentos de um sistema a vapor para geração de eletricidade, faltando somente o desenvolvimento de uma caldeira que seja capaz de queimar o material orgânico do RSU sem lançar dióxinas e furanos na atmosfera. O ponto aqui é incentivar a internalização da tecnologia de caldeiras com duas câmaras de combustão utilizando a capacidade instalada nas instituições de pesquisa e no parque industrial brasileiro. Instituições com capacidade instalada para trabalhar no tema são a Unifei, UFPA e Coppe/UFRJ. Existem algumas iniciativas empresariais em Campo Grande – MS e Vitória – ES.

5.3. COMPOSTAGEM SECA ANAERÓBIA

A coleta seletiva de resíduo orgânico urbano com posterior decomposição em biodigestores industriais na ausência de oxigênio, evita a existência de aterros sanitários. Sendo o resíduo orgânico separado do resíduo inorgânico, ele pode ser processado em plantas industriais que promovem a decomposição da biomassa em gás metano e adubo. O gás metano é utilizado como



combustíveis em motores de combustão interna, gerando eletricidade que pode ser vendida para a concessionária e o adubo para as atividades de jardinagem no meio urbano ou para atividades de hortaliças nos arredores dos grandes centros urbanos. Existe também a possibilidade do biogás ser adicionada a rede urbana de gás natural.

5.4. PRÉ-HIDROLISE ÁCIDA – BEM

Aqui o objetivo é desenvolver as tecnologias dos materiais lignocelulósicos (madeira, bagaço de cana, capim, resíduos agrícolas, parte orgânica do lixo, etc.) e de digestão material (monazita, zirconita, etc.). Neste programa, as biomassas são transformadas em dois produtos: a celulignina utilizada como combustível, ração animal e madeira sintética, entre outros produtos e o pré-hidrolisado (solução de açúcares) usado em produtos químicos tais como furfural, álcool, xilitol que apresentam valor de mercado.

Nesta tecnologia, a biomassa presente nos resíduos sólidos é picada e compactada no silo. Uma rosca helicoidal comprime a biomassa dentro de um reator piloto (com cerca de 1m^3). Os dois produtos fundamentais desta reação são: uma parte hidrolisada sólida (a celulignina) e uma parte líquida pré-hidrolisada (solução de açúcares que foi digerida no processo).

6. FLORESTAS E REFLORESTAMENTOS

Na última década, o setor experimentou um salto tecnológico surpreendente que resultou no aprimoramento de técnicas de implantação, manejo e exploração. Como consequência disso, em 2000, o setor de papel e celulose tinha toda a sua matéria prima proveniente de reflorestamento, e o fornecimento para o setor de produção de carvão vegetal saltou em uma década de 34% para 72%. O Brasil passou a ter uma das melhores produtividades do mundo com relação a florestas de eucaliptos, 36 m³/ha.ano com possibilidade de alcançar 56 m³/ha.ano. Toda esse desenvolvimento qualifica o setor para a exploração de florestas nativas, ou seja, o aproveitamento da sua biomassa sem promover o desflorestamento. Apesar dos fatos acima serem relevantes, as atividades deste setor não priorizam o uso energético da biomassa, o que causa uma dicotomia entre a capacidade de oferta de biomassa com as necessidades específicas do setor energético. Apesar disto, os valores de produtividade são muito favoráveis e podem ser utilizados como florestas energéticas. Conseqüentemente, a oportunidade que aqui surge é o desenvolvimento genético de espécies (inclusive o desenvolvimento de culturas de rápido crescimento que propiciem cortes em curto período de tempo), de técnicas, de processos e de equipamentos de produção específicos para atender as especificidade do uso energético, como por exemplo, a complementação da sazonalidade de diferentes culturas energéticas para garantir o suprimento de combustível durante todo o ano.

A indústria de ferro e aço demanda por carvão no seu processo produtivo e o mais utilizado é o carvão mineral, coque. O carvão vegetal pode substituir com vantagem o carvão mineral mas no Brasil o primeiro é produzido majoritariamente de florestas nativas e utilizando técnicas rudimentares na sua produção. Surge então a oportunidade da produção de carvão vegetal oriundos de florestas plantadas, mas existe a dificuldade do estágio tecnológico do processo de carvoejamento. Criam-se então, grandes oportunidades para desenvolvimento de processos e produtos inovadores. Especificamente,



buscam-se aqui processos mais avançados de carvoejamento com maior eficiência de conversão e menor custo, inclusive com o aproveitamento integral dos subprodutos, como por exemplo alcatrão e gases residuais. Ressalta-se aqui o fato que o setor siderúrgico agora busca carvões vegetais oriundos de florestas plantadas e produzido com técnicas eficientes e ambientalmente corretas para serem utilizados na fabricação do chamado “aço verde”. A Universidade Federal de Viçosa, UFV, a Sociedade de Investigações Florestais – SIF, a Vale do Rio Doce, e a Mannesmann, estão desenvolvendo processos de carvoejamento otimizados.

Finalmente, a redução das queimadas no arco de desmatamento da região norte propicia uma redução no lançamento de gases de efeito estufa na atmosfera. O INPA em conjunto com a UnB e instituições internacionais estão efetuando queimadas controladas no norte de Mato Grosso para medir os teores de lançamento de poluentes e gases de efeito estufa, entre outras medidas.

7. COGERAÇÃO E GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

O custo do investimento inicial é um dificultador para a implantação de projetos de cogeração quando o combustível é gás. Como já explicitado anteriormente, o Brasil não fabrica turbinas a gás nem motores alternativos apesar de possuir a maioria das condições tecnológicas e industriais para fazê-lo. Acrescente-se a isso a dificuldade de comercialização da energia excedente e a insegurança do suprimento de energia de *back-up*.

Com o investimento adequado na criação de uma capacidade brasileira nessas tecnologias, é possível viabilizar num curto espaço de tempo a fabricação desses equipamentos a um custo menor que o hoje praticado pelas empresas internacionais em operação no Brasil. Iniciando a capacitação ainda no ano de 2004 possui uma vantagem adicional pois coincide com o início das ações empresariais da Petrobras para ampliação e consolidação do mercado de gás natural. Isso implicaria em ações simultâneas e complementares de desenvolvimento tecnológico com criação de mercado consumidor. Instituições envolvidas nessas tecnologias são a UnB, Unifei, PUC-RJ, ITA, USP-SP, IPT, CT-Gás, Petrobras, Bardella, Nuclep, Stemac entre outras empresas.



8. REDUÇÃO DE GÁS DE “FLARING” EM REFINARIAS E PLATAFORMAS PETROLÍFERAS

Gás de *flaring* é o gás rico em metano que é extraído associado com o petróleo dos reservatórios subterrâneos ou é resíduo dos processos de refino de petróleo. Em ambos os casos, esse gás é simplesmente lançado na atmosfera ou simplesmente queimado e os produtos da combustão lançados na atmosfera. Por outro lado, esse gás é um excelente insumo, tanto para geração de eletricidade quanto para produzir gás de síntese a ser utilizado em processos químicos. O problema aqui é que normalmente os consumidores desse gás estão longe do local produtor. Por outro lado, a redução do gás de *flaring* já vem mobilizando os agentes do setor e oferece excelente oportunidade para compor projetos de MDL.

Quatro são as opções técnicas para obter tal redução: capturar e transportar o gás para o usuário final na fase gasosa ou na fase líquida; utilizar o gás no local de produção para gerar eletricidade a qual será consumido localmente e o excedente injetado na rede elétrica para transmissão; reinjetar o gás no reservatório. A não utilização das opções estão relacionadas aos seus custos que podem ser reduzidos com a utilização de equipamentos e processos mais eficientes e que requeiram um menor espaço físico para operar. Um esforço internacional para viabilização dessas soluções está sendo liderado pelo GGFR “*Global Gas Flaring Reduction Public-Private Partnership*”.

O principal produtor de gás de *flaring* no Brasil é a Petrobras. Em 1997 ela queimava aproximadamente 2,7 milhões de m³/dia nas suas unidades em terra e no mar. Com o aumento da sua produção de petróleo, ela atingiu o máximo de queima em 2001 com 6,2 milhões de m³/dia. Após acordos entre a ANP e a Petrobras, esta última iniciou esforços coordenados para minimizar o gás de *flaring*, principalmente na bacia de Campos. O resultado de 2002 foi uma redução da queima, alcançando a quantidade de 5,5 milhões de m³/dia e tendo definido a meta de 2,8 milhões de m³/dia para o ano de 2006. Para alcançar esse objetivo a Petrobras está implementando várias ações como alteração de

processos, renovando ou adquirindo novos equipamentos como compressores. O Cenpes e a Coppe são algumas instituições de pesquisa que estão trabalhando em inovações tecnológicas no tema.



9. OUTRAS ALTERNATIVAS DE SEQÜESTRO

Aqui, o termo seqüestro significa impedir que o carbono inorgânico, produzido por queima, como por exemplo das centrais térmicas a hidrocarbonetos e carvão seja liberado no ar. Ao invés disso, ele seria capturado em sistemas pré ou pós-combustão e armazenados em reservas geológicas (como salitres e poços esgotados de combustíveis fósseis) ou nos oceanos.

No Brasil, há pelo menos dois projetos em operação. Há mais de dez anos, a Petrobras injeta 250 toneladas por dia de CO₂ - vindo de uma fábrica de fertilizantes nitrogenados - em duas antigas jazidas petrolíferas no recôncavo baiano. Com a pressão exercida pelo gás, a companhia retira o petróleo residual. A tecnologia aplicada nesses locais serve para capturar o carbono que escapa e reinjetá-lo até extinguir a vida produtiva do poço. Acontece que apenas uma parte do CO₂ que entra sai: em um dos reservatórios, há um índice de retenção de 20%, e no outro, de 50%.

A outra alternativa é armazenamento de carbono nos oceanos pois os mares são absorvedores naturais do CO₂ atmosférico. O CO₂ pode ser mantido permanentemente a certas profundidades pois sob determinadas condições de pressão e temperatura ele é mais denso do que a água. O problema é que ninguém sabe como o gás afetaria os ecossistemas subaquáticos, pois até hoje não foram feitas experiências em larga escala, pelos custos proibitivos.