

Plano Nacional de

# AGROENERGIA

2006 - 2011

Brasília, DF  
2005

**República Federativa do Brasil**

*Luiz Inácio Lula da Silva*  
Presidente

**Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

*Roberto Rodrigues*  
Ministro

**Secretaria-Executiva**

*Luis Carlos Guedes Pinto*  
Secretário-Executivo

**Secretaria de Produção e Agroenergia**

*Linneu Carlos da Costa Lima*  
Secretário

**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**

*Silvio Crestana*  
Diretor-Presidente

**Equipe Técnica**

André Cau dos Santos  
Ângelo Bressan Filho  
Décio Gazzoni  
Elísio Contini  
Frederique Rosa e Abreu  
José Nilton de Souza Vieira  
José Ramalho  
Luiz Jésus d'Avila Magalhães

*Projeto gráfico e capa*  
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

# Apresentação

O Plano Nacional de Agroenergia integra a concepção e ações estratégicas do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento em relação ao aproveitamento de produtos agrícolas para a produção de energia renovável. Orienta-se nas diretrizes gerais de Governo, particularmente no documento de Diretrizes de Política de Agroenergia.

A agroenergia é uma das prioridades do nosso ministério. Deriva da necessidade crescente de energia como insumo para o desenvolvimento de nossa sociedade. A elevação recente dos preços do petróleo, no mercado internacional, aponta para a necessidade de buscar alternativas de suprimento de energia, tanto elétrica como para transporte.

A agricultura é alternativa viável, do ponto de vista econômico, social e ambiental, para a geração de energia renovável. A produção de álcool, a partir de cana-de-açúcar, é um exemplo mundial de sucesso, por substituir parte substancial de gasolina no transporte. Queremos repetir o mesmo processo para o biodiesel.

Temos desafios pela frente, entre eles o desenvolvimento de tecnologias de produção agrícola, com a definição de plantas mais aptas, sistemas de produção eficientes e definição de regiões com potencial para a produção. Há necessidade de novas tecnologias industriais, que transformem os produtos agrícolas em biodiesel.

A produção de agroenergia, em larga escala, além da redução de custos em relação ao petróleo, apresenta vantagens ambientais, e gera renda e emprego no setor rural. Em outras palavras, promove o desenvolvimento sustentável do interior do Brasil, em especial nas regiões remotas.

Os preços elevados de petróleo e questões ambientais criam oportunidades para exportação de álcool, num primeiro momento, e apontam para demanda crescente de biodiesel. A exportação de biocombustíveis representa uma fonte adicional de divisas para o país.

Conclamamos as lideranças rurais, os funcionários do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, pesquisadores, professores, produtores rurais e a sociedade em geral, a se integrarem neste esforço nacional, para transformar estas oportunidades em realizações. Juntos, vamos construir um novo paradigma de desenvolvimento, em bases sustentáveis da nossa agroenergia.

Roberto Rodrigues

Ministro da Agricultura, Pecuária e Abastecimento



# Sumário

Resumo Executivo .....	7
<b>1 - Panorama energético atual e perspectivas futuras .....</b>	<b>14</b>
1.1 - Considerações gerais .....	14
1.2 - Demanda de energia .....	19
1.3 - Energias renováveis .....	20
1.3.1 - Considerações gerais .....	20
1.3.2 - Energia renovável na matriz energética .....	22
1.3.3 - Aplicações modernas da agroenergia .....	24
1.4 - A agricultura de energia .....	25
1.5 - O fator ambiental .....	28
1.6 - Transição da matriz energética .....	29
1.7 - Vetores do desenvolvimento tecnológico na agroenergia .....	34
1.8 - Cenários da oferta e demanda de energia .....	35
1.8.1 - Cenários para o século XXI .....	36
1.8.2 - Brasil: projeções para 2010 e 2020 .....	38
<b>2 - Análise das cadeias da agroenergia e sistemas conexos .....</b>	<b>41</b>
2.1 - Álcool combustível .....	41
2.1.1 - Introdução .....	41
2.1.2 - A experiência do Brasil com o álcool combustível .....	43
2.1.3 - O modelo institucional .....	44
2.1.4 - Cenário atual e perspectivas .....	46
2.1.5 - Desafios para a indústria sucroalcooleira nacional .....	47
2.1.6 - A ação de governo .....	48
2.1.7 - Co-geração de energia .....	49
2.1.8 - Metanol de biomassa .....	51
2.1.9 - Perspectivas de mercado .....	52
2.2 - Biodiesel .....	55
2.2.1 - Considerações gerais .....	55
2.2.2 - Produção e tecnologia .....	55
2.2.3 - Região Norte .....	58
2.2.4 - Região Nordeste .....	58
2.2.5 - Centro-Sul .....	60
2.2.6 - Competitividade .....	62
2.2.7 - Perspectivas de mercado .....	63
2.3 - Biomassa florestal .....	67
2.3.1 - Considerações gerais .....	67
2.3.2 - Indicadores de produção e produtividade .....	68
2.3.3 - Perspectivas .....	69
2.3.4 - Carvão vegetal .....	70
2.4 - Biogás .....	71
2.4.1 - Considerações gerais .....	71
2.4.2 - Biodigestores .....	72
2.4.3 - Utilização do biogás para suínos e aves .....	73

2.4.3.1 - Aproveitamento de dejetos da suinocultura .....	73
2.4.3.2 - Aproveitamento de dejetos da avicultura .....	74
2.4.3.3 - Aproveitamento da vinhaça .....	76
2.4.3.4 - Geração de energia elétrica .....	76
2.5 - Uso dos resíduos agropecuários e florestais .....	77
2.5.1 - Considerações gerais .....	77
2.5.2 - Potencial energético .....	78
2.5.3 - Setor sucroalcooleiro .....	81
2.5.4 - Resíduos de madeira .....	82
2.5.5 - Setor arrozeiro .....	83
2.6 - Geração de eletricidade a partir de biomassa .....	84
2.6.1 - Queima direta de biomassa: ciclos a vapor .....	85
2.6.2 - Gaseificação .....	86
2.7 - O Mercado de Créditos de Carbono e a Agroenergia .....	86
2.7.1 - Antecedentes .....	86
2.7.2 - Panorama atual do MDL .....	88
2.7.3 - Particularidades do MDL .....	90
2.7.4 - Oportunidades para a agroenergia .....	91
2.7.5 - Reduções de emissões de GEE .....	91
<b>3. Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&amp;I)</b>	
<b>e Transferência de Tecnologia (TT) em Agroenergia .....</b>	<b>94</b>
3.1 - Objetivo principal .....	94
3.2 - Objetivos específicos .....	94
3.3 - Matriz da produção de agroenergia .....	95
3.4 - Diretrizes de PD & I e de TT .....	96
3.5 - Estratégia e proposta programática .....	97
3.6 - As dimensões da PD & I em Agroenergia .....	99
3.7 - Agenda de PD & I .....	100
3.7.1 - Ações transversais .....	100
3.7.2 - Atuação nas cadeias produtivas .....	101
3.7.2.1 - Etanol .....	101
3.7.2.2 - Biodiesel .....	102
3.7.2.3 - Florestas Energéticas .....	103
3.7.2.4 - Biogás .....	103
3.7.2.5 - Aproveitamento de resíduos e dejetos .....	103
3.7.3 - Linhas de Pesquisa .....	104
3.7.3.1 - Etanol .....	104
3.7.3.1.1 - Tecnologia agrônômica .....	104
3.7.3.1.2 - Tecnologia industrial .....	105
3.7.3.2 - Biodiesel .....	106
3.7.3.2.1 - Tecnologia agrônômica .....	106
3.7.3.2.2 - Tecnologia industrial .....	107
3.7.3.3 - Florestas Energéticas .....	108
3.7.3.3.1 - Tecnologia silvícola .....	108
3.7.3.3.2 - Tecnologia industrial .....	109
3.7.3.4 - Biogás .....	110
3.7.3.5 - Aproveitamento de resíduos e dejetos .....	111
<b>4 - Referências bibliográficas .....</b>	<b>112</b>
<b>5 - Glossário .....</b>	<b>118</b>

## Resumo Executivo

O Plano Nacional de Agroenergia objetiva, a partir da análise da realidade e das perspectivas futuras da matriz energética mundial, organizar uma proposta de Pesquisa, Desenvolvimento, Inovação e de Transferência de Tecnologia, com vistas a conferir sustentabilidade, competitividade e maior equidade entre os agentes das cadeias de agroenergia, em conformidade com os anseios da sociedade, as demandas dos clientes e as políticas públicas das áreas energética, social, ambiental, agropecuária e de abastecimento.

O presente Plano é uma ação estratégica do Governo Federal, vinculada à sua política global, consubstanciada no documento Diretrizes de Política de Agroenergia.

A análise da demanda projetada de energia no mundo indica um aumento 1,7% ao ano, de 2000 a 2030, quando alcançará 15,3 bilhões de toneladas equivalentes de petróleo (TEP, ou toe, na sigla internacional, em inglês) por ano, de acordo com o cenário base traçado pelo Instituto Internacional de Economia (Mussa, 2003). Em condições *ceteris paribus*, sem alteração da matriz energética mundial, os combustíveis fósseis responderiam por 90% do aumento projetado na demanda mundial, até 2030.

No entanto, as reservas comprovadas de petróleo do mundo somam 1,137 trilhões de barris, 78% dos quais no subsolo dos países do cartel da OPEP. Essas reservas permitem suprir a demanda mundial por 40 anos, mantido o atual nível de consumo. É evidente que tanto as reservas quanto o consumo se incrementarão, ao longo deste período. Estima-se que a demanda deva crescer, em média, 1,7% ao ano, o que elevaria o consumo de petróleo para 120 milhões de barris/dia, em 2025.

O *break even*, em condições *ceteris paribus*, entre o preço do álcool e da gasolina (tributação exclusiva) oscila entre US\$30 e US\$35,00. Por ser uma tecnologia ainda imatura, a mesma relação é estimada em torno de US\$60,00 para biocombustíveis derivados de óleo vegetal. Isso posto entende-se que as condições econômicas estão postas, em forma estrutural, para a viabilização da agroenergia enquanto componente de alta densidade do agronegócio. As pressões social (emprego, renda, fluxos migratórios) e ambiental (mudanças climáticas, poluição) apenas reforçam e consolidam essa postura, além de antecipar cronogramas.

O Brasil é o país do mundo que reúne o maior quantitativo de vantagens comparativas para liderar a agricultura de energia. A primeira vantagem comparativa que se destaca é a perspectiva de incorporação de áreas à

agricultura de energia, sem competição com a agricultura de alimentos, e com impactos ambientais circunscritos ao socialmente aceito. O segundo aspecto a considerar é a possibilidade de múltiplos cultivos dentro do ano calendário.

Por situar-se, predominantemente, na faixa tropical e subtropical do planeta, o Brasil recebe intensa radiação solar, ao longo do ano. A energia solar é a base da produção da bioenergia e a densidade desta, por unidade de área, depende, diretamente, da quantidade de radiação solar incidente. Em decorrência de sua extensão e localização geográfica, o Brasil apresenta diversidade de clima, exuberância de biodiversidade e detém um quarto das reservas superficiais e sub-superficiais de água doce.

Finalmente, o Brasil é reconhecido por haver assumido a liderança na geração e implantação de tecnologia de agricultura tropical, associada à uma pujante agroindústria, em que um dos paradigmas é justamente a agroindústria de etanol, reconhecida como a mais eficiente do mundo, em termos de tecnologia de processo e de gestão.

Embora em expansão e, sobretudo, desejável, o Brasil não é dependente do mercado internacional para assegurar a sua competitividade. Dispondo de um invulgar mercado consumidor interno, o Brasil pode alavancar um negócio poderoso na área de agroenergia, com invulgar competitividade no âmbito do biotrade.

No curto prazo, a principal força propulsora do crescimento da demanda por agroenergia será a pressão social pela substituição de combustíveis fósseis. Considere-se que a concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico teve um aumento de 31% nos últimos 250 anos, atingindo, provavelmente, o nível mais alto observado nos últimos 20 milhões de anos. Os valores tendem a aumentar significativamente se as fontes emissoras de gases de efeito estufa não forem controladas, como a queima de combustíveis fósseis e a produção de cimento, responsáveis pela produção de cerca de 75% destes gases.

Os principais fatores que impulsionam o desenvolvimento tecnológico para aproveitamento da biomassa energética são:

- a.** a crescente preocupação com as mudanças climáticas globais que, no ponto futuro, convergirão para políticas globais de redução da poluição;
- b.** o reconhecimento da importância da energia de biomassa para efetuar a transição para uma nova matriz energética e substituir o petróleo como matéria prima, em seu uso como combustível ou insumo para a indústria química;

**c.** a crescente demanda por energia e as altas taxas recentes de uso de biomassa energética. Os países em desenvolvimento demandarão 5 TW de energia nova, nos próximos 40 anos, sendo inadmissível imaginar que essa energia possa ser proveniente de fontes fósseis, pelo seu alto impacto ambiental, pelo custo financeiro crescente e pelo esgotamento das reservas;

**d.** os custos ambientais serão paulatinamente incorporados ao preço dos combustíveis fósseis, através de tributos punitivos (taxa de poluição), tornando-os progressivamente mais caros, fator agravado com o aumento natural de preços, devido ao esgotamento das reservas e aos conflitos regionais;

**e.** o preço também oscilará, mantendo tendência crescente, em função das disputas políticas e bélicas pelas últimas reservas disponíveis, tornando inseguros os fluxos de abastecimento e o cumprimento de contratos de fornecimento de petróleo;

**f.** cresce, em progressão logarítmica, o investimento público e privado no desenvolvimento de inovações que viabilizem as fontes renováveis e sustentáveis de energia, com ênfase para o aproveitamento da biomassa;

**g.** também cresce o número de investidores internacionais interessados em contratos de longo prazo, para o fornecimento e biocombustíveis, especialmente o álcool e, em menor proporção, o biodiesel e outros derivados de biomassa;

**h.** a energia passará a ser um componente importante do custo de produção agropecuário e da agroindústria, tornando progressivamente atraente a geração de energia dentro da propriedade.

Lastreado nos fatos e premissas expostos, o objetivo principal da Pesquisa, Desenvolvimento, Inovação e Transferência de Tecnologia em agroenergia é o de desenvolver e transferir conhecimento e tecnologias que contribuam para a produção sustentável da agricultura de energia e o uso racional da energia renovável, visando a competitividade do agronegócio brasileiro e o suporte às políticas públicas.

Os objetivos específicos, vinculados ao atendimento das pressões sociais, das demandas dos clientes e das políticas públicas, são:

**a.** Apoio à mudança da matriz energética, com vistas à sua sustentabilidade;

- b. Propiciar condições para o aumento da participação de fontes de agroenergia na composição da matriz energética;
- c. 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;
- d. Suportar oportunidades de expansão do emprego no âmbito do agronegócio;
- e. Permitir a ampliação das oportunidades de renda, com distribuição mais equitativa entre os atores;
- f. Contribuir para a redução das emissões de gases de efeito estufa;
- g. Contribuir para a redução das importações de petróleo;
- h. Contribuir para o aumento das exportações de biocombustíveis.

As principais diretrizes que norteiam a agenda de PD&I e TT remetem à **sustentabilidade da matriz energética**, à **sustentabilidade e autonomia energética comunitária**, à **geração de emprego e renda**, à **otimização do aproveitamento de áreas antropizadas**, à **conquista e manutenção da liderança do biotrade**, ao suporte à **formulação de políticas públicas**, à **sustentabilidade, competitividade e racionalidade energética** nas cadeias do agronegócio nacional e de maximização do aproveitamento de fatores de produção e ao desenvolvimento de soluções que integrem a geração de agroenergia e a eliminação de **perigos sanitários** ao agronegócio.

A estratégia para a consecução desses objetivos pressupõe uma equipe técnica multidisciplinar organizada em forma de redes cient, parcerias organizacionais e estratégicas, a mobilização de competências, o empreendedorismo, o treinamento e a garantia de fontes de financiamento .

Sob o aspecto **temporal**, o programa de PD&I e TT deve contemplar metas de curto, médio e longo prazos. No tocante à dimensão **geográfica** deve-se atentar para tecnologia adequada aos diferentes ecossistemas e ambientes. A interface **ambiental** das tecnologias a serem desenvolvidas devem atentar para os quesitos de proteção do ambiente e redução de danos. Do ponto de vista **social**, o programa de PD & I deve levar em consideração a necessidade de ampliar as oportunidades de emprego e renda, bem como de distribuição equitativa, atentando para a sustentabilidade dos sistemas, a qualidade de vida, mitigando a penosidade do trabalho e conferindo autonomia para trabalhadores rurais ou suas organizações. A dimensão **disciplinar** deve atentar para o desenvolvimento de tecnologia agrônômica que permita obter matéria prima

adequada, o desenvolvimento de processos sustentáveis e em conformidade com as normas e regulamentos, bem como atentar, integradamente, para a cadeia produtiva, em especial para co-produtos, sub-produtos, dejetos e resíduos da produção agrícola ou agroindustrial.

A atuação ocorrerá no cerne das principais cadeias produtivas (etanol, biodiesel, biomassa florestal, biogás e resíduos agropecuários e da agroindústria) e sistemas conexos, de forma integrada com os princípios do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. Transversalmente às cadeias produtivas, serão contempladas as seguintes prioridades estratégicas:

**a. Elaboração de estudos de caráter sócio econômico e estratégico**, como a formação e manutenção de bancos de dados, o desenvolvimento de cenários, os estudos prospectivos, as avaliações ex-ante e ex-post, a preparação de subsídios para políticas públicas na área energética e suas conexões com temas ambientais, econômicos, sociais e negociais. Elaboração de estudos de competitividade, de entraves ao desempenho das cadeias, de nichos e oportunidades de mercado, de atração de investimentos, de investimento em logística, de estratégia e geopolítica, também compõe esta faceta da agenda;

**b. Capacitação do corpo técnico-científico em temas ligados ao Mecanismo de Desenvolvimento Limpo**, de modo a incrementar a formação de novas redes de pesquisa, bem como fomentar as existentes, tendo em vista que as vertentes envolvidas são extremamente novas, dinâmicas e multidisciplinares;

**c. Incorporação na cultura dos programas** de desenvolvimento científico e tecnológico a visão do MDL, em programas de melhoramento genético de culturas de valor econômico, boas práticas agrícolas, impacto nos biomas, manejo nutricional de ruminantes e questões ligadas à redução de emissões de GEE nos sistemas de produção em toda a cadeia agropecuária, consolidando uma base de dados que permita análises preditivas no contexto do desenvolvimento sustentável, de forma coordenada com iniciativas territoriais, regionais e globais;

**d. Elaboração dos balanços energéticos** dos ciclos de vida das cadeias produtivas do agronegócio brasileiro, objetivando substituir fontes de carbono fóssil por fontes provenientes da agroenergia, reduzindo, progressivamente, a demanda energética dos sistemas de produção;

e. Efetuar o **zoneamento agroecológico** de espécies vegetais importantes para a agricultura de energia;

No tocante a cada uma das vertentes importantes da agricultura de energia, propõe-se o seguinte elenco de prioridades estratégicas:

#### **Etanol**

a. Eliminar fatores restritivos à expressão do potencial produtivo da cultura da cana-de-açúcar, incrementando a produtividade de cana, o teor de sacarose, o agregado energético e o rendimento industrial da cana-de-açúcar;

b. Desenvolver tecnologias poupadoras de insumos e de eliminação ou mitigação de impacto ambiental, incluindo tecnologias de manejo da cultura e de integração de sistemas produtivos;

c. Desenvolver alternativas de aproveitamento integral da energia da planta de cana-de-açúcar, com melhoria dos processos atuais ou desenvolvimento de novos processos;

d. Desenvolver novos produtos e processos, baseados na alcoolquímica e no aproveitamento da biomassa da cana-de-açúcar;

#### **Biodiesel**

a. Propiciar o adensamento energético da matéria prima, tendo como referenciais 2.000kg/ha de óleo para o médio prazo e 5.000kg/ha no longo prazo;

b. Aprimorar as atuais rotas de produção de biodiesel, com valorização do etanol como insumo, e desenvolvimento de novas rotas;

c. Desenvolver processos competitivos e sustentáveis de produção de energia a partir de resíduos orgânicos das cadeias de processamento de produtos de origem animal;

d. Desenvolver tecnologias de agregação de valor na cadeia, com valorização de co-produtos, resíduos e dejetos;

e. Desenvolver tecnologias visando o aproveitamento da biomassa de vocação energética para outros usos na indústria de química fina e farmacêutica;

f. Desenvolver tecnologias que permitam a autonomia e a sustentabilidade energética para agricultores, agroindústria e comunidades isoladas;

- g. Desenvolver processos para a obtenção de inovações baseadas em biomassa de oleaginosas, inclusa a oleoquímica;

#### **Florestas Energéticas**

- a. Desenvolver tecnologias que promovam o adensamento energético de áreas reflorestadas;
- b. Desenvolver tecnologias para a substituição do carvão mineral, em seus diferentes usos;
- c. Desenvolver tecnologias de alcance social para inserção de comunidades de baixa renda na cadeia de florestas energéticas;

#### **Biogás**

- a. Desenvolver estudos e desenvolvimento de modelo de biodigestores;
- b. Efetuar a modelagem em sistemas de produção de biogás;
- c. Avaliar o uso do biofertilizante como adubo orgânico;
- d. Desenvolver equipamentos para o aproveitamento do biogás como fonte de calor;
- e. Desenvolver equipamentos para o transporte e distribuição do biofertilizante;
- f. Desenvolver equipamentos para geração de energia elétrica, movidos a biogás;
- g. Desenvolver sistemas de compressão e armazenamento do biogás;
- h. Desenvolver processos de purificação de biogás;

#### **Aproveitamento de resíduos e dejetos**

- a. Desenvolver tecnologias para o aproveitamento energético de resíduos da produção agrícola, pecuária, florestal e da agroindústria;
- b. Desenvolver tecnologias para a utilização de compostos orgânicos resultantes da produção agropecuária, com risco sanitário, na produção de agroenergia;
- c. Desenvolver tecnologias para a utilização dos resíduos pós obtenção de energia para outras finalidades, como correção de acidez ou fertilidade do solo;
- d. Promover a integração dos conceitos de agroenergia e mercado de carbono;
- e. Interfacear com as redes de pesquisa para aproveitamento de esgotos urbanos para fins energéticos.

# 1. Panorama energético atual e perspectivas futuras

## 1.1 - Considerações gerais

O presente Plano é uma ação estratégica do Governo Federal, vinculada à sua política global, consubstanciada no documento Diretrizes de Política de Agroenergia.

A análise do panorama energético atual e das perspectivas futuras visa subsidiar a proposta de Pesquisa, Desenvolvimento, Inovação e de Transferência de Tecnologia do Plano Nacional de Agroenergia. O Plano objetiva organizar o esforço das organizações de Ciência e Tecnologia setoriais para conferir sustentabilidade e competitividade às cadeias de agroenergia, em conformidade com os anseios da sociedade, as demandas dos clientes e as políticas públicas das áreas energética, social, ambiental, agropecuária e de abastecimento.

No presente capítulo, serão analisadas a situação atual da oferta e demanda de energia no Brasil e no mundo, as perspectivas e os cenários futuros e os impactos sobre o ambiente, bem como as oportunidades de ampliação da oferta de empregos, associadas às cadeias de produção de agroenergia.

A demanda projetada de energia no mundo aumentará 1,7% ao ano, de 2000 a 2030, quando alcançará 15,3 bilhões de toneladas equivalentes de petróleo (TEP, ou toe, na sigla internacional, em inglês) por ano, de acordo com o cenário base traçado pelo Instituto Internacional de Economia (Mussa, 2003). Em condições *ceteris paribus*, sem alteração da matriz energética mundial, os combustíveis fósseis responderiam por 90% do aumento projetado na demanda mundial, até 2030.

Entretanto, o esgotamento progressivo das reservas mundiais de petróleo é uma realidade cada vez menos contestada. A British Petroleum, em seu estudo "Revisão Estatística de Energia Mundial de 2004", afirma que atualmente as reservas mundiais de petróleo durariam em torno de 41 anos, as de gás natural, 67 anos, e as reservas brasileiras de petróleo, 18 anos.

A matriz energética mundial tem participação total de 80% de fontes de carbono fóssil, sendo 36% de petróleo, 23% de carvão e 21% de gás natural (**Tabela 1**). O Brasil se destaca entre as economias industrializadas pela elevada participação das fontes renováveis em sua matriz energética. Isso se explica por alguns privilégios da natureza, como uma bacia hidrográfica contando

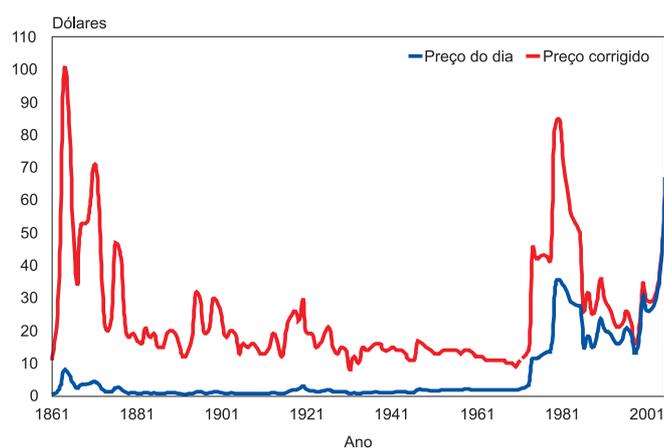
com vários rios de planalto, fundamental a produção de eletricidade (14%), e o fato de ser o maior país tropical do mundo, um diferencial positivo para a produção de energia de biomassa (23%).

**Tabela 1.** Composição da matriz energética.

Fonte	Mundo	Brasil
Petróleo	35,3	43,1
Carvão mineral	23,2	6,0
Gás natural	21,1	7,5
Biomassa tradicional	9,5	8,5
Nuclear	6,5	1,8
Hidroelétrica	2,2	14,0
Biomassa moderna	1,7	23,0
Outras renováveis	0,5	0,1

Fonte: IEA (Mundo) e MME (Brasil).

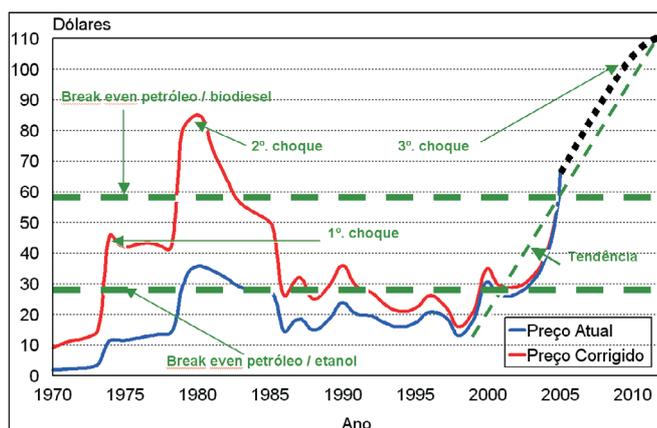
A **Figura 1** apresenta a cotação do barril de petróleo, no período 1861-2005 (valores de 1/7 de cada ano). Do gráfico é possível inferir, com clareza, que o período de 100 anos de petróleo barato (cotação entre US\$10-20/barril), que vigiu até 1970, está definitivamente superado. Por questões conjunturais, eventualmente o preço spot poderá oscilar abaixo de US\$60,00/barril, porém a tendência de médio prazo é de valores crescentes. É perfeitamente razoável traçar cenários com o piso da cotação em US\$100,00 a partir do início da próxima década.



**Figura 1.** Preço internacional do barril de petróleo.

Fonte: Elaboração D. L. Gazzoni

Nesse contexto, passa a ser fundamental a relação de preços entre matérias primas (petróleo, etanol na usina, óleo vegetal). O *break even*, em condições *ceteris paribus*, entre o preço do álcool e da gasolina (tributação excluída) oscila entre US\$30 e US\$35,00. Por ser uma tecnologia ainda imatura, a mesma relação é estimada em torno de US\$60,00 para biocombustíveis derivados de óleo vegetal (Figura 2).



**Figura 2.** Preço internacional do petróleo e eventos conexos.

Fonte: Elaboração D. L. Gazzoni

Como a maioria dos cenários traçados para o preço internacional do petróleo prevê a continuidade da escalada de preços, consolida-se o programa do etanol combustível e ficam criadas as condições para alavancar o programa de biodiesel.

Entende-se que as condições comerciais estão delineadas, em forma estrutural, para a viabilização da agroenergia enquanto componente de alta densidade do agronegócio. As pressões de cunho social (emprego, renda, fluxos migratórios) e ambiental (mudanças climáticas, poluição) apenas reforçam e consolidam essa postura, além de antecipar cronogramas.

Nesse particular, o mundo está cada vez mais temeroso dos impactos negativos dos combustíveis fósseis sobre o clima. Consolidando de forma reducionista a percepção de autoridades e cientistas, verifica-se que os extremos climáticos (secas, cheias, furacões, etc.) tornaram-se mais frequentes e mais severos. Assad et al. (2004) apresentaram modelos matemáticos, que projetam alterações profundas na temperatura do planeta e desastrosas consequências para o agronegócio. As alterações do clima acarretam modificações na incidência de pragas agrícolas, com sérias consequências econômicas, sociais e ambientais. O cenário fitossanitário atual seria significativamente alterado,

expondo a vulnerabilidade da agropecuária a essas mudanças e a necessidade de desenvolver estratégias adaptativas de longo prazo.

Embora não exista um estudo definitivo comparando a geração de emprego e renda e sua distribuição, cotejando as cadeias de energia de carbono fóssil e de bioenergia, a experiência brasileira e o senso comum indicam que é possível gerar 10-20 vezes mais empregos na agricultura de energia, comparativamente à cadeia de petróleo – com a vantagem de que os empregos seriam gerados internamente, auxiliando na solução de um dos mais sérios desafios brasileiros. A produção agrícola desconcentra renda mais intensamente que a extração de petróleo ou gás, podendo tornar o Brasil um paradigma mundial de como enfrentar três grandes desafios do século XXI, com uma única política pública: através do incentivo à agricultura de energia, é possível enfrentar os desafios da produção de energia sustentável, da proteção ambiental e da geração de emprego e renda, com distribuição mais equitativa.

Além da temática ambiental, a questão sanitária também possui interface com a temática da agroenergia. O desenvolvimento de tecnologias para o tratamento e utilização dos resíduos é o grande desafio para as regiões com alta concentração de suínos e aves. De um lado, existe a pressão pelo aumento do número de animais em pequenas áreas de produção, e pelo aumento da produtividade e, do outro, que esse aumento não provoque a destruição do meio ambiente e esteja de acordo com o MDL (Mecanismo de Desenvolvimento Limpo).

Ressalta-se que a recente crise energética e a alta dos preços do petróleo têm determinado uma procura por alternativas energéticas no meio rural (Lucas Junior, 1994). O processo de digestão anaeróbica (biometanização) consiste de um complexo de cultura mista de microorganismos, capazes de metabolizar materiais orgânicos complexos, tais como carboidratos, lipídios e proteínas para produzir metano (CH<sub>4</sub>) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e material celular (Lucas Junior, 1994; Santos, 2001).

Projetando o médio prazo, é importante alinhar os principais aspectos positivos e negativos das principais fontes energéticas, para tornar mais transparente a percepção da evolução futura da matriz energética e as reais possibilidades de participação de cada fonte no *market share* da energia (**Tabela 2**).

**Tabela 2.** Análise das principais fontes da matriz energética.

<b>Combustível</b>	<b>Aspectos positivos</b>	<b>Aspectos negativos</b>
<b>Carvão</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abundante, economicamente acessível, uso seguro</li> <li>• Fácil de transportar e de armazenar</li> <li>• Amplamente distribuído</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta emissão de gases de efeito estufa</li> <li>• Necessita portentosos investimentos para desenvolvimento de tecnologias que reduzam as emissões de gases de efeito estufa (GEE) a níveis aceitáveis</li> <li>• Extração perigosa</li> </ul>
<b>Petróleo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conveniente</li> <li>• Alta densidade energética</li> <li>• Fácil de transportar e de armazenar</li> <li>• Co-evolução da fonte energética com os equipamentos para seu uso</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fortemente poluidor da atmosfera</li> <li>• Preços voláteis</li> <li>• Concentração geográfica das jazidas</li> <li>• Produto cartelizado e mercado manipulável</li> <li>• Vulnerabilidade de interrupção de oferta e instabilidade geopolítica</li> <li>• Riscos de transporte e armazenamento</li> <li>• Reservas em esgotamento</li> </ul>
<b>Gás</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eficiente e conveniente</li> <li>• Combustível multiuso</li> <li>• Alta densidade energética</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produto emissor de gases de efeito estufa</li> <li>• Transporte e armazenamento caro e arriscado</li> <li>• Requer infra-estrutura cara, própria e inflexível</li> <li>• Volatilidade de preços</li> <li>• Jazidas concentradas geograficamente</li> <li>• Produto cartelizado e mercado manipulável</li> </ul>
<b>Nuclear</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não há emissões de gases de efeito estufa</li> <li>• Poucas limitações de recursos</li> <li>• Alta densidade energética</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baixa aceitação da sociedade</li> <li>• Sem solução para eliminação dos resíduos</li> <li>• Operação arriscada e perigosa</li> <li>• Muito intensivo em capital</li> </ul>
<b>Renováveis</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baixas emissões de gases de efeito estufa</li> <li>• Sustentabilidade</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Custos altos</li> <li>• Fontes intermitentes</li> <li>• Distribuição desigual</li> <li>• Estágio tecnológico inferior às demais fontes em uso</li> </ul>

## 1.2 - Demanda de energia

Antes de sua exploração, estima-se que existiam reservas de 2,3 trilhões de barris de petróleo. As atuais reservas comprovadas do mundo somam 1,137 trilhões de barris, 78% dos quais no subsolo dos países do cartel da OPEP. Essas reservas permitem suprir a demanda mundial por 40 anos, mantido o atual nível de consumo. É evidente que tanto as reservas quanto o consumo se incrementarão, ao longo deste período. Estima-se que a demanda deva crescer, em média, 1,7% ao ano, o que elevaria o consumo de petróleo para 120 milhões de barris/dia, em 2025.

Projetando-se os números dos últimos 50 anos, prevê-se que as reservas devem crescer a taxas mais tímidas que o consumo. Nos últimos 15 anos, houve incorporação líquida de apenas 13% nas reservas comprovadas, o que gera uma média de acréscimo de 0,8% ao ano. Cotejando-se com o crescimento da demanda, variável entre 1,5 e 1,9% a. a., dependendo do cenário adotado, resulta que, abstraindo-se as alterações na matriz energética, o ocaso da era do petróleo está contratado para meados do presente século.

Existe uma enorme dependência energética do mundo, tanto em petróleo quanto em gás, em relação a uma concentração geográfica (Oriente Médio) e em relação ao cartel dos países exportadores (OPEP), que dominam 78% das reservas mundiais. Este fato, aliado à finitude das reservas e à concentração da matriz em petróleo, carvão e gás, impõe a busca de alternativas rumo a uma transição segura para um ambiente de oferta energética sustentável.

Posta a escassez do petróleo e a extração mais complexa, os preços dispararão. De algum modo esse processo está em andamento, posto que, nos últimos 30 anos, a valorização real do petróleo foi de 505% (85% entre o final de 2004 e meados de 2005). Entre os analistas internacionais passa a ser aceito o cenário que prevê o preço do barril de petróleo em torno de US\$100,00, no início da segunda década do século XXI. Esta cotação pode ser julgada fantasiosa, entretanto, atente-se para dois fatos. O primeiro deles é o pico histórico da cotação do petróleo (US\$90,00/barril), atingido durante a guerra Irã-Iraque (2º choque do petróleo). O segundo é a proposta apresentada pelo Dr. Matthew Simmons ao Plano Energético dos EUA (em elaboração no primeiro semestre de 2005), propondo que os EUA fixassem a cotação interna do petróleo em US\$182, para equilibrar oferta e demanda (Porter, 2004).

Enquanto nos denominados primeiro e segundo choques de petróleo (anos 70), a razão estrutural preponderante para o aumento de preços foi a diminuição voluntária da oferta, o salto verificado no presente século está ligado à expansão

da demanda, emoldurada por choques de oferta devido a perturbações políticas. Sob o ponto de vista estratégico, a expansão da demanda é muito mais preocupante que a contração da oferta pois, enquanto a segunda pode ser negociada, no sentido amplo da palavra, a primeira é uma constatação factual de mais difícil solução, que não a própria expansão da oferta, ou uma mudança radical nos hábitos de consumo de energia.

Entre 2002 e 2004, o consumo diário de petróleo no mundo expandiu de 78 para 82 milhões de barris. A China respondeu por 36% desse aumento e os EUA por 24%. As altas taxas de crescimento da China fizeram com que o país passasse de exportador para importador de petróleo, volatilizando o balanço mundial, mesmo fenómeno verificado com o Reino Unido (Mussa, 2003). A Índia é um país energeticamente vulnerável e o seu crescimento ocorrerá à custa de maior pressão sobre a demanda atual de combustíveis fósseis. A mesma análise pode ser aplicada à Indonésia, ao Japão e à Coreia, países dependentes de importação de energia e com grande potencial de crescimento económico.

Em 2004, o consumo de energia dos países ricos alcançou 4,5 TEP por pessoa por dia, para um agrupamento estimado em 1 bilhão de cidadãos. Já nos países emergentes, o consumo situa-se em 0,75 TEP/pessoa/dia, porém em um universo de 5 bilhões de habitantes (World Bank, 2004). A globalização cultural e de mercados e a assimilação de costumes de países ricos pelos emergentes, provoca uma forte pressão de consumo energético, que é sentida com maior intensidade nos países emergentes. E é nesses países que continuará a ocorrer o maior crescimento demográfico, ao longo do século XXI, consequentemente pressionando a demanda energética.

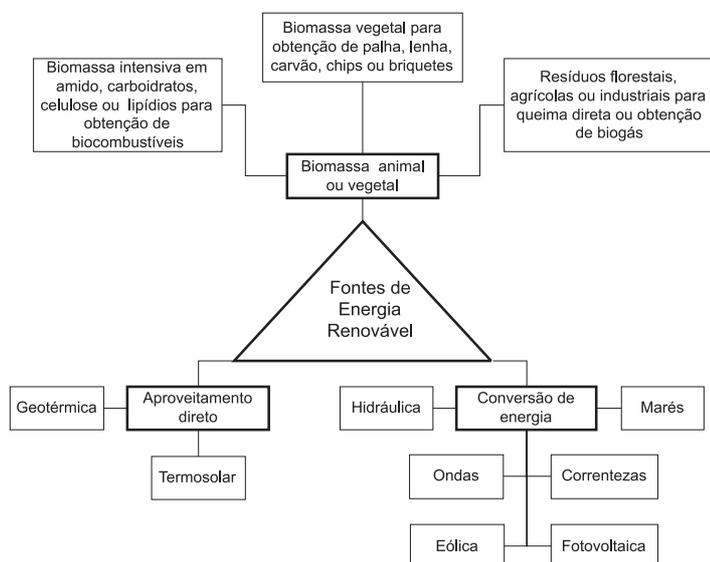
Enquanto os países ricos aumentaram seu consumo em menos de 100%, nos últimos 20 anos, no mesmo período a Coreia do Sul aumentou sua demanda em 306%, a Índia em 240%, a China em 192% e o Brasil em 88% (IEA, 2004). Deduz-se que qualquer tentativa de inclusão social promoverá uma pressão adicional sobre o consumo de energia.

## 1.3 - Energias Renováveis

### 1.3.1 - Considerações gerais

Além da agroenergia, as fontes renováveis incluem as hidroelétricas, a energia eólica, geotérmica, solar e a energia dos oceanos (**Figura 3**). Em grande parte, os conceitos de bioenergia e agroenergia se confundem. Pode-se

conceituar agroenergia como sendo a bioenergia produzida a partir de produtos agropecuários e florestais.



**Figura 3.** Fontes de energia renovável.

Fonte: Elaboração D. L. Gazzoni

O cenário de referência da World Energy Outlook (WEO 2000) projeta que a demanda por energia renovável crescerá 2,3% ao ano, ao longo das duas próximas décadas, portanto, acima do crescimento médio da demanda geral de energia. Excetuando-se a hidroelétrica, a demanda total crescerá em torno de 2,8% ao ano. Entretanto, esta projeção não prevê intervenções de externalidades no mercado, como políticas públicas ou pressões sociais.

O interesse despertado nos anos 90 para uso da biomassa como fonte energética elevou a sua oferta para 55 EJ, na virada do século. A tendência futura transparece nos inúmeros trabalhos de cenarização que apontam a biomassa com uma das principais fontes de energia do século XXI. Hoogwijk et al (2001) analisaram diversos estudos de cenários, dividindo-os em dois grupamentos principais: os cenários com foco na pesquisa (FP) e aqueles que são dirigidos para a demanda (DD). Nos diferentes cenários FP, o potencial da biomassa varia entre 67 e 450 EJ para o período 2025-2050. e para os DD de 28 a 220 EJ, no mesmo período. A participação da biomassa na matriz varia entre 7 e 27%.

A biomassa aparenta ser a maior e a mais sustentável fonte de energia renovável, composta por 220 bilhões de toneladas de matéria seca anual

(aproximadamente 4.500 EJ), pronta para uso energético (Hall & Rao, 1999). Outros autores reduzem o potencial efetivamente sustentável para cerca de 3.000 EJ, donde o valor médio observado nos cenários (270 EJ) é apenas marginal e constitui o que pode ser prontamente aproveitado, com custos competitivos, considerando as barreiras culturais e de portabilidade da energia.

Nos países em desenvolvimento, a bioenergia continuará a ser uma importante fonte na matriz energética. Sem as externalidades do mercado, a crescente urbanização e o aumento da renda per capita, fariam com que a demanda por outras fontes, que não as bioenergéticas, crescesse a taxas maiores. Como resultado, a participação da bioenergia tenderia a reduzir de 24% para 15%, até 2020.

As energias renováveis têm o potencial técnico de atender grande parte da demanda incremental de energia do mundo, independente da origem da demanda (eletricidade, aquecimento ou transporte). Há três aspectos importantes a salientar: a viabilidade econômica, a sustentabilidade de cada fonte e a disponibilidade de recursos renováveis para geração de energia, que variam entre as diferentes regiões do globo. As regiões tropicais possuem forte incidência de radiação solar, enquanto as áreas planas, em especial as costeiras, apresentam maior potencial eólico. Já a energia geotérmica é mais abundante nas regiões com atividade vulcânica intensa. O lixo está disponível em qualquer lugar e tanto seu volume quanto o grau de concentração, aumentam com a urbanização. A principal discrepância ocorre na biomassa, onde poucos países dispõem de condições de ampliar a área de agricultura energética, sem competir com outros usos da terra, como alimentação, lazer, moradia, vias de transporte, reservas de proteção ambiental, etc.

### 1.3.2 - Energia renovável na matriz energética

É importante ressaltar que a matriz energética brasileira é uma das mais limpas do mundo. Estimativas da International Energy Agency mostram que 35,9% da energia fornecida no Brasil é de origem renovável. No mundo, esse valor é de 13,5%, enquanto nos Estados Unidos é de apenas 4,3% (**Tabela 3**).

É previsível que o custo da energia obtida de fontes renováveis se tornará mais competitivo, ao longo dos próximos 20 anos, como resultado do investimento tecnológico e do ganho de escala. Entretanto, as externalidades de mercado, como a diversificação de fontes, a distribuição do risco de suprimento e a necessidade de reduzir as emissões de GEE interferirão positivamente neste aspecto, através das seguintes ações:

**Tabela 3.** Suprimento mundial de energia.

<b>País</b>	<b>Suprimento Primário de Energia (TEP)</b>	<b>Energia Renovável (TEP)</b>	<b>Energia Renovável (%)</b>
Argentina	57,6	6,2	10,8
Austrália	115,6	6,6	5,7
Brasil	185,1	66,4	35,9
França	265,6	18,6	7,0
Alemanha	351,1	9,2	2,6
Reino Unido	235,2	2,5	1,1
Estados Unidos	2.281,4	99,1	4,3
Mundo	10.038,3	1.351,9	13,5

Fonte: IEA - Renewables Information 2003, Table 1, p.8.

- a. Os governos investirão quantias significativamente maiores em PD&I de bioenergia do que fariam em condições normais;
- b. A iniciativa privada será induzida a investir em PD&I, por incentivos governamentais, e também o farão por iniciativa própria, dada a oportunidade de negócios;
- c. O encarecimento das fontes fósseis, pelo esgotamento das reservas, elevará o patamar geral de preços de energia;
- d. A pressão social por fontes renováveis incentivará a ampliação dos negócios, propiciando ganhos de escala;
- e. A ação estratégica preventiva, motivada por fenômenos climáticos extremos mais freqüentes, reforçará tanto o investimento em pesquisa quanto a ampliação do consumo, favorecendo a ampliação do *market share* das energias renováveis;
- f. Os governos utilizarão diversos instrumentos de políticas públicas destinados a fomentar a utilização de fontes renováveis, inclusa a bioenergia.

A disputa pelo espaço produtivo representará um empecilho à redução de preços de energia renovável. O custo de transporte e a portabilidade também pesarão contra a bioenergia, prevendo-se a necessidade de portentosos investimentos em logística e infra-estrutura para reduzir este custo. O cenário de Referência da WEO 2000 prevê investimentos em energia renovável da ordem de US\$ 90 bilhões, nos

países da OECD, representando 10% do investimento em energia nestes países. Entretanto, no cenário de Energias Alternativas da mesma WEO, este investimento alça-se a US\$228 bilhões, representando 23% do investimento total em expansão da oferta de energia da OECD.

### **1.3.3 - Aplicações modernas da agroenergia**

A agroenergia não é um fim em si mesmo, porém deve ser apta a ser transformada em aplicações práticas (iluminação, bombeamento de água, aquecimento, transporte), como qualquer outra fonte de energia. Para tanto, características são necessárias, como alta densidade e eficiência energética, custo compatível, portabilidade, garantia de continuidade de fornecimento, entre outras. Já existem diversas formas de bioenergia que atendem a estas características, como a obtenção de briquetes e carvão vegetal para uso na geração de eletricidade ou para aquecimento, ou o etanol como combustível veicular.

São visíveis os investimentos efetuados em diversas partes do planeta, visando inovações tecnológicas para o aproveitamento da bioenergia, sendo a produção de etanol um dos exemplos de sucesso. Sistemas de gaseificação de biomassa acopladas a turbinas a gás (IBGT) para geração de eletricidade, turbinas de ciclo combinado gás/vapor (GTCC), cama de circulação fluidizada (CFB), a gaseificação integrada de ciclos combinados (IGCC), a co-geração, a tecnologia de aproveitamento de óleos vegetais como biocombustíveis, extração de etanol e metanol de celulose, desenvolvimento de combustíveis, além de melhoria de processos de produção, colheita, armazenagem, transporte e processamento de biomassa, são alguns exemplos de inovações tecnológicas.

A gaseificação é uma alternativa potencial para a produção de eletricidade, havendo diversos grupos de pesquisa dedicados ao tema (Walter et al., 2000). Já existem tecnologias de cama de circulação fluidizada operando à pressão atmosférica, que produzem gás combustível aquecido que pode ser aproveitado para geração de energia. Plantas pilotos utilizando o sistema IGCC estão disponíveis na Suécia, produzindo 6-9 MW.

A queima conjugada (co-firing) de combustíveis fósseis (especialmente carvão) com biomassa tem atraído cientistas e empresários da Dinamarca, Holanda e dos EUA. Adiciona-se biomassa na proporção de 2-25% ao carvão, permitindo aproveitar os sistemas instalados. Os testes demonstraram que, sem modificações de monta, é possível obter até 15% da energia total a partir da biomassa, alterando apenas os sistemas de alimentação e os queimadores.

Os cientistas estão investindo na melhoria da eficiência do boiler, sistemas de controle de alimentação, estabilidade do combustível, separação dos resíduos, etc. Em especial, há necessidade de melhorar o processo a ponto de torná-lo economicamente compatível, com os custos do processo original (com gás ou carvão), além de eficiência energética comparável, considerando-se ser esta uma etapa para atingir-se o ponto futuro de uso de plantas movidas exclusivamente com biomassa. Por exemplo, no estado da arte tecnológico, o uso de biomassa para geração de eletricidade apresenta eficiência de 33-37%, comparada ao carvão mineral.

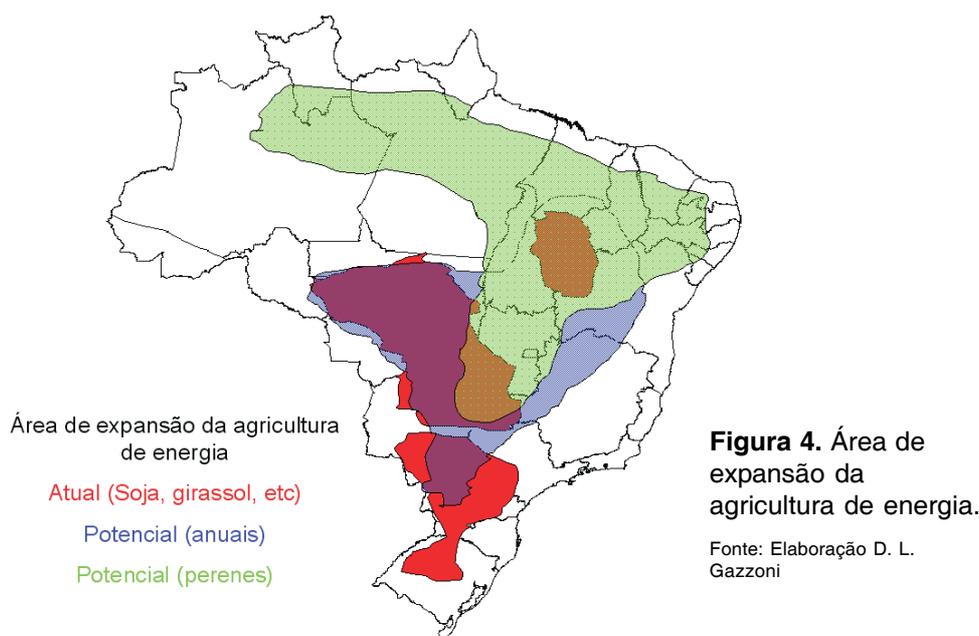
Uma das alternativas tecnológicas é a micro-produção, ou seja, o atendimento a comunidades isoladas, em que os custos de transmissão ou de transporte de energia a longa distância são incompatíveis com a capacidade de investimento do Estado e com o poder aquisitivo dos consumidores. A combinação entre tecnologia agrícola adequada, para produção de biomassa, e sistemas de produção de eletricidade, como micro-turbinas, pode revolucionar completamente a qualidade de vida das comunidades isoladas. Turbinas com capacidade para produzir entre 15 e 500 kW têm a vantagem do baixo custo, facilidade de operação e manutenção e longa durabilidade, fundindo os conceitos de gaseificação com motor de combustão interna (Harrison et al., 2000; Dunn, 2000).

## 1.4 - A agricultura de energia

Sob o conceito de biomassa, três grandes vertentes dominarão o mercado da agricultura de energia: os derivados de produtos intensivos em carboidratos ou amiláceos, como o etanol; os derivados de lipídios, como o biodiesel; e os derivados de madeira e outras formas de biomassa, como briquetes ou carvão vegetal. Aceitas as premissas anteriormente relacionadas, qualquer cenário que venha a ser traçado para o médio e o longo prazos, revela as vantagens comparativas do Brasil para ser o paradigma do uso de energia renovável e o principal *player* do *biotrade* – o mercado que está sendo plasmado, consolidando os negócios internacionais, envolvendo a oferta de energia renovável.

A primeira vantagem comparativa que se destaca é a perspectiva de incorporação de áreas à agricultura de energia, sem competição com a agricultura de alimentos, e com impactos ambientais circunscritos ao socialmente aceito (**Figura 4**). Nesse particular, a área de expansão de cerrados, a integração pecuária lavoura, a recuperação de pastagens, a ocupação de áreas de pastagens degradadas e outras áreas antropizadas, as áreas de reflorestamento e a incorporação de áreas atualmente marginais, por melhoria

do *quantum* tecnológico, pode aproximar-se de 200 milhões de hectares/ano, quando projetado o longo prazo (2030). Mesmo no médio prazo, o Brasil pode incorporar metade desse quantitativo, caso sejam viabilizadas as demais condições para a expansão da área (capitais, logística, insumos, mercado, etc).



O segundo aspecto a considerar é a possibilidade de múltiplos cultivos dentro do ano calendário. O sistema de safra e safrinha, ou de cultivo de inverno e duplo cultivo de verão, já é o paradigma dominante na produção de grãos no país. Uma faceta importante do modelo é o surgimento de "janelas produtivas", ou seja, períodos do calendário com riscos razoáveis para a cultura principal, porém com riscos aceitáveis para outras culturas, menos exigentes em recursos hídricos, como mamona ou girassol, o que viabiliza um nicho interessante para a agricultura de energia, a reboque de custos fixos amortizados, ou variáveis parcialmente amortizados.

Por situar-se, predominantemente, na faixa tropical e subtropical do planeta, o Brasil recebe intensa radiação solar, ao longo do ano. A energia solar é a da produção da bioenergia e a densidade desta, por unidade de área, depende, diretamente, da quantidade de radiação solar incidente.

Também em decorrência de sua extensão e localização geográfica, o Brasil apresenta três outras vantagens comparativas importantes. A primeira é a diversidade

de clima, o que permite administrar de forma mais flexível, o risco climático. O segundo aspecto é a exuberância de sua biodiversidade, o que significa que o Brasil necessita exercitar opções de novas alternativas associadas à agricultura de energia – selecionando aquelas que lhe forem mais convenientes - ao invés de depender, incondicionalmente, de uma única espécie, como é o caso da Europa ou dos Estados Unidos. Finalmente, o Brasil detém um quarto das reservas superficiais e sub-superficiais de água doce, o que permite o desenvolvimento de culturas irrigadas, na superveniência de condições climáticas desfavoráveis.

O Brasil é reconhecido por haver assumido a liderança na geração e implantação de tecnologia de agricultura tropical. Mais do que o estoque tecnológico de per se, o acúmulo de experiência em PD & I, a gestão de C & T e a capacidade material e humana instalada, permitem antever a continuidade da capacidade de situar-se na fronteira da tecnologia agropecuária, para a agricultura de energia, como o foi para a agricultura de alimentos.

O Brasil também acumulou portentosa experiência no desenvolvimento de uma pujante agroindústria, em que um dos paradigmas é justamente a agroindústria de etanol, reconhecida como a mais eficiente do mundo, em termos de tecnologia de processo e de gestão. A experiência dos últimos 30 anos forjou competência de gestão e negociação na cadeia, gerando as condições para uma nova investida em outros nichos do mercado da agricultura de energia.

Embora em expansão, o Brasil não é dependente do mercado internacional para assegurar a sua competitividade. Dispondo de um invulgar mercado consumidor interno, o Brasil pode alavancar um negócio poderoso na área de agroenergia, com invulgar competitividade no âmbito do biotrade.

Igualmente, o Brasil reúne condições para ser o principal receptor de recursos de investimento, provenientes do mercado de carbono, no segmento de produção e uso de bioenergia. Os contornos desse mercado já estão visíveis e ele será rapidamente catapultado pela ratificação do Protocolo de Quioto pela Rússia, destarte a recusa em subscrevê-lo por parte do maior devorador de energia fóssil e maior emissor de poluentes atmosféricos, que são os Estados Unidos.

O sinergismo entre as vantagens comparativas naturais (solo, água, mão de obra, e radiação solar intensa e abundante) e as captações de capital proveniente de projetos vinculados aos Mecanismos de Desenvolvimento Limpo, tornarão o País ainda mais atrativo para macro-investidores ávidos por disputarem o *market share* do *biotrade*. Esses capitais comporão um portfólio de investimento direto na produção, além de auxiliar na formação de uma logística adequada para o armazenamento e o escoamento da produção (comunicações, tancagem, ferrovias e hidrovias e instalações portuárias). Na

margem, existe a expectativa que o setor de P&D também será beneficiado com o aporte de recursos, o que permitirá ao Brasil manter-se no estado da arte da tecnologia da agroenergia. Isso posto, entende-se que a agricultura de energia será a jóia da coroa do agronegócio brasileiro, no médio e longo prazo.

## 1.5 - O fator ambiental

A taxa de acumulação de gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) na atmosfera da Terra aumentou acentuadamente; entre 2002 e 2003, levantando entre os cientistas o temor de que os efeitos do aquecimento global possam se manifestar mais rapidamente do que o esperado.

Os níveis de  $\text{CO}_2$  - gás que é considerado o principal responsável pelo aquecimento anormal do globo - aumentaram mais de 2 ppm ao longo dos biênios 2001/2002 e 2002/2003. Nos anos anteriores, essa taxa de crescimento havia sido de 1,5 ppm, o que já era um fator elevado. As variações grandes na concentração de  $\text{CO}_2$  estão associadas com picos de atividade industrial, que intensificam a queima de petróleo e derivados, ou a anos de atuação mais intensa do El Niño, quando a liberação de carbono por decomposição de árvores supera a retirada de carbono do ar pela fotossíntese. Entretanto, neste período, o El Niño não esteve ativo, não podendo ser responsabilizado pelo aumento da concentração de  $\text{CO}_2$ .

O incremento na taxa de gás carbônico na atmosfera foi detectado pelo grupo de pesquisa liderado pelo Dr. Charles Keeling, da Universidade da Califórnia em San Diego, que monitora, desde 1958, as concentrações de gás carbônico em pontos afastados de fontes de poluição, como o vulcão extinto Mauna Loa, no Havaí. O salto recente também foi detectado em outras estações de medição, como na Irlanda e na ilha norueguesa de Svalbard, no Ártico.

A literatura recente registra diversos fenômenos que estão sendo diretamente relacionados ao acirramento do efeito estufa, decorrente da queima de combustíveis fósseis. Pesquisadores americanos apontam que os incêndios florestais que assolaram o hemisfério Norte nos últimos anos podem haver contribuído para tornar mais intenso o efeito estufa. Outra tendência observada nos meios acadêmicos americanos são as investigações que tentam demonstrar que as florestas e oceanos, que funcionam como sumidouros ou depósitos de gás carbônico, retirando o seu excesso da atmosfera, estão perdendo essa capacidade, por saturação do sistema.

Caso a tese aventada por este grupo de cientistas seja correta, representaria o início de uma alteração incontrolável no efeito estufa, em que a incidência de

catástrofes decorrentes do aquecimento global - como elevação no nível do mar, secas e tempestades mais frequentes - previstas para o fim deste século poderiam se antecipar. O próprio Dr Keeling admite que o enfraquecimento dos sorvedouros de carbono da biosfera pode ser uma das causas do aumento anormal nas concentrações de CO<sub>2</sub>.

Por ser afeto à sustentabilidade do agronegócio brasileiro, a Embrapa vem demonstrando sua preocupação com o tema, incentivando a formação de redes e a execução de pesquisas para acompanhar circunstanciadamente este fenômeno, bem como para apontar soluções para o mesmo. A pesquisadora Raquel Ghini da Embrapa Meio Ambiente escreveu o livro "Mudanças climáticas globais e doenças de plantas", que enfatiza a necessidade da tomada de providências pró-ativas, evitando o aparecimento ou ressurgimento de doenças no reino vegetal. O livro está dividido em oito capítulos, que tratam das mudanças climáticas na agricultura, os efeitos dessas mudanças sobre o ciclo das relações patógeno/hospedeiro e os impactos nas doenças das plantas. Descreve o efeito do CO<sub>2</sub> sobre as doenças das plantas e discute os métodos de pesquisa mais adequados para esses estudos.

Esta publicação estabelece, de maneira didática, a necessidade de intervenção imediata para impedir o agravamento do problema, sendo o incentivo à agroenergia uma das maneiras mais adequadas de enfrentar o desafio.

## 1.6 - Transição da matriz energética

Apesar de a mudança dos componentes da matriz energética mundial ser indiscutível, no longo prazo, existem diversos condicionantes (tecnológicos, políticos, culturais, econômicos, sociais, comerciais ou ambientais) que podem apressar ou retardar as mudanças consideradas inexoráveis. Neste particular, deve-se considerar o que se segue:

- a. acordos internacionais – como a entrada em vigor do Protocolo de Quioto – ou intrabloco – como a Diretiva para Obtenção de Eletricidade de Fontes Renováveis, do Parlamento Europeu – são poderosos indutores do uso de energias renováveis e criam reservas de mercado para a bioenergia;
- b. o apoio intenso, garantido e continuado aos programas de PD&I constituirá a pedra angular para acelerar a taxa de utilização de energias renováveis. Inovações têm o condão de viabilizar técnica e economicamente as fontes renováveis de energia, bem como permitir a exploração comercial, o ganho de escala e a redução de custos;

c. a co-geração de energia se constituirá em um diferencial importante para a viabilização econômica de fontes de bioenergia;

d. a expansão da área de agricultura energética não poderá ocorrer à custa da contração da oferta de alimentos, nem de impactos ambientais acima da razoabilidade, sob pena de forte reação contrária da sociedade, o que inviabilizaria o negócio bioenergia. Ao contrário, entende-se que haverá uma tríplice associação entre energia, alimento e indústria química;

e. o preço dos combustíveis fósseis é crucial para apressar a transição, e, ironicamente, para estender o tempo de duração das reservas, tornando a transição menos turbulenta. Sob um quadro de preços moderados de combustíveis fósseis poucas fontes de energias renováveis são competitivas, como é o caso do etanol, derivado de cana-de-açúcar, já claramente competitivo, ou da energia eólica, em determinadas regiões em que se encontra em estágio pré-competitivo;

f. os custos de obtenção de energia são fortemente ligados às condições locais e os locais de menores custos serão explorados em primeiro lugar. Este fato gera diferenciais competitivos entre as diferentes regiões;

g. o aumento da participação das fontes de energia renovável na matriz energética, em especial nos países ricos, dependerá de apoio decisivo e continuado dos respectivos governos. O suporte é crucial especialmente no início do processo de introdução na matriz, podendo ser reduzido conforme as metas forem atingidas e o processo consolidado.

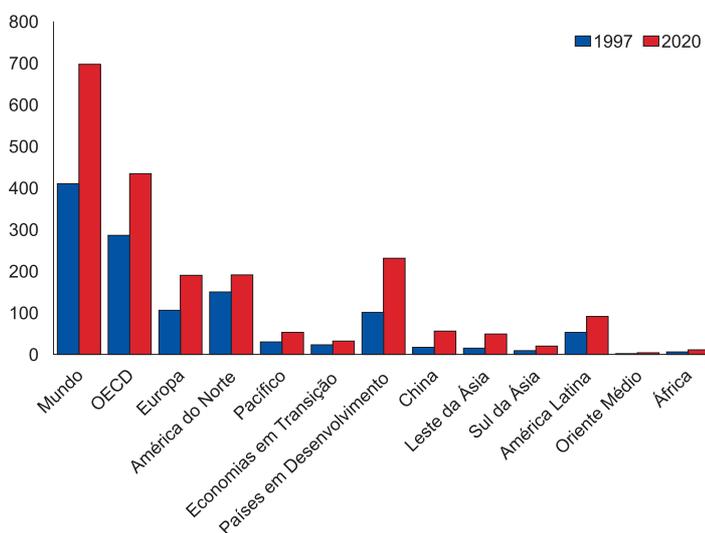
A **Tabela 4** alinhava o custo de geração de eletricidade na Europa, quando são utilizadas diversas fontes e mostrando que a bioenergia começa a tornar-se competitiva com o uso do carvão e do gás. Já a **Figura 5** mostra a produção de energia renovável em 1997, em diversas regiões e países do mundo e traça uma estimativa para o ano de 2020.

Na composição da futura matriz, a maioria dos estrategistas aponta para a entronização da energia solar como principal fonte primária de energia, que se desdobrará em repositórios intermediários, derivados da captação e transformação da radiação solar, seja por fotossíntese (biomassa) ou por processos industriais. A conjugação das duas vertentes, como é o caso das células de combustível, operacionaliza as formas de aproveitamento da energia solar.

**Tabela 4.** Custo de geração de eletricidade na Europa, por diversas fontes primárias (Euro cents/kWh a preços 1990).

País	Carvão	Ciclo Combinado de Gás	Bioenergia	Vento	Solar	Nuclear
Áustria	3.6	3.4	3.6	7.2	64.0	5.9
Bélgica	3.2	2.8	3.7	7.2	64.0	4.0
Dinamarca	3.6	2.9	3.9	6.7	85.3	5.9
Finlândia	3.2	2.6	3.9	7.2	85.3	3.8
França	3.2	3.2	4.0	7.2	51.2	3.4
Alemanha	3.2	3.5	4.3	6.8	64.0	5.1
Grécia	3.5	3.5	4.0	7.2	51.2	4.6
Irlanda	3.2	3.2	4.5	7.2	85.3	4.7
Itália	3.2	3.4	4.0	7.2	51.2	5.0
Holanda	3.6	2.6	4.0	7.2	64.0	5.1
Portugal	3.2	3.4	4.3	7.2	51.2	5.9
Espanha	3.6	3.5	4.3	7.1	51.2	4.7
Suécia	3.6	3.3	3.4	7.2	85.3	4.7
Inglaterra	3.2	2.6	3.8	7.2	64.0	4.3

Fonte: AEN/NEA - IEA - Projected costs of generating electricity.



**Figura 5.** Oferta de Energia Renovável por região (MToe).

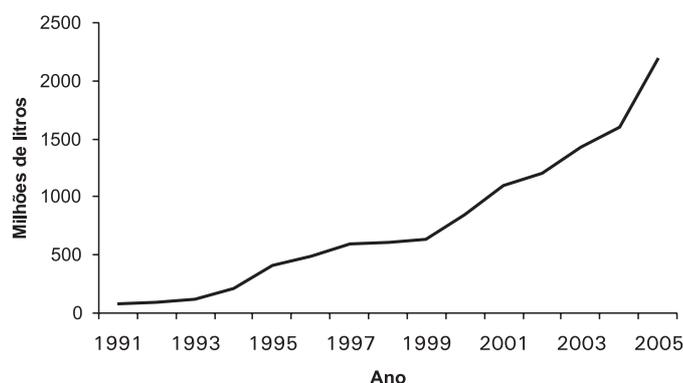
Fonte: IEA 2000

A **Tabela 5** apresenta o potencial de uso de bioenergia, de acordo com levantamento efetuado em 1990 e projetado para 2020, em dois diferentes cenários. A **Figura 6** mostra o expressivo crescimento da produção de biodiesel no mundo, com três importantes momentos de inflexão da curva.

**Tabela 5.** Estimativa do Potencial de uso de bioenergia (Mtoe).

Fonte	1990	2020	
		Referência	Alternativo
Resíduos de lavoura	420	482	499
Madeira	1.483	1.791	2.025
Cultivos energéticos	2.689	2.971	3.535
Dejetos animais	688	994	1.004
Lixo urbano	112	516	516
Total	5.393	6.755	7.569

Fonte: IEA, 2000.



**Figura 6.** Evolução da produção de biodiesel no mundo.

Fonte: Elaboração: D. L. Gazzoni, a partir de fontes dos países produtores.

Aceitas as premissas anteriormente relacionadas, qualquer cenário que venha a ser traçado para o médio e o longo prazos, revela as vantagens comparativas do Brasil para ser o paradigma do uso de energia renovável e o principal *player* do *biotrade* – o mercado que está sendo plasmado, consolidando os negócios internacionais envolvendo oferta de energia renovável.

Igualmente, o Brasil reúne condições para ser o principal receptor de recursos de investimento provenientes do mercado de carbono. Os contornos

deste mercado já estão visíveis e ele será rapidamente catapultado com a ratificação do Protocolo de Quioto pela Rússia, destarte a recusa em subscrevê-lo por parte do maior devorador de energia fóssil e maior emissor de poluentes atmosféricos, que são os Estados Unidos.

O sinergismo entre as vantagens comparativas naturais (solo, água, radiação solar e mão de obra) e as captações de capital proveniente de projetos vinculados aos Mecanismos de Desenvolvimento Limpo, tornarão o país ainda mais atrativo para macro-investidores ávidos por disputarem o *market share* do *biotrade*. Esses capitais comporão um portfólio de investimento direto na produção, porém também auxiliarão na formação de uma logística adequada para o armazenamento e escoamento da produção (comunicações, tancagem, ferrovias e hidrovias e instalações portuárias).

Da mesma forma, as políticas públicas destinadas à geração de emprego e renda e a melhoria de sua distribuição, em especial no apoio à pequena propriedade familiar e nos assentamentos da Reforma Agrária, encontrarão na Agricultura de Energia uma forma de agregar valor à produção destes segmentos, ao mesmo tempo em que contribui para o esforço global de limpeza da atmosfera.

Nota-se a ausência de um importante fator de produção, na equação acima, que é o componente tecnológico. A apropriação da maior fatia da rentabilidade do mercado de bioenergia será proporcional à importância dos fatores de produção. Radiação solar é grátis, a terra no Brasil ainda será farta e barata (para os padrões internacionais) no médio e longo prazos. Logo, a remuneração da natureza será proporcionalmente baixa.

A mão de obra também será farta, mesmo postos parâmetros como a redução das taxas de natalidade e o crescimento da oferta de emprego. Do outro lado da balança estarão a extensão da esperança de vida e a automação de processos, que são forças contrárias ao pleno emprego. Desta forma, a mão de obra em seu sentido massivo, terá baixa remuneração, na partilha da apropriação da rentabilidade, no horizonte do futuro mediato.

Entretanto, os capitais terão custos de oportunidade diferenciados, sendo carreados para investimentos com mercado estável, de alta rentabilidade, segurança e liquidez. Embora seja previsível que estas características estarão presentes na agricultura de energia, o mundo também reservará outras alternativas de investimento com as mesmas características, o que projeta um fluxo para negócios de alta rentabilidade.

Finalmente, as considerações relativas à tecnologia apontam que este mercado ainda se encontra na infância tecnológica, devendo mostrar muito dinamismo, mesmo nas projeções de longo prazo. As análises indicam que os

detentores e usuários de tecnologia no estado da arte serão muito bem remunerados, sob o conceito da apropriação das margens. Quando se examina sob o ângulo da pequena propriedade, em que as margens são essenciais, devido ao custo fixo relativamente maior pela escala menor, a adequação tecnológica pode fazer a diferença entre o lucro ou a falência do empreendimento.

A conclusão é reforçada por uma derivada do mercado de energia, para o qual poucos analistas, lideranças e autoridades têm atentado: a matéria prima para a produção de combustíveis fósseis e para a petroquímica é a mesma, ou seja, o petróleo. O declínio na oferta de petróleo afetará o conjunto das cadeias produtivas que dele dependem. Ao contrário da energia, onde uma cesta de fontes estará disponível, a matéria prima sucedânea do petróleo para a indústria petroquímica será a biomassa. E a concretização desta previsão poderá ser antecipada ou retardada em função do investimento em PD&I.

Apesar do exposto, os cenários não são pétreos nem auto realizáveis. O poder regulatório e de intervenção do governo pode alterar o quadro exposto, desde que este atue pró-ativamente e na direção correta. No caso do Brasil, é de fundamental importância que aspectos sociais e ambientais sejam considerados, e que jamais se perca de vista que esta é uma oportunidade histórica para promover justiça social, alavancar a pequena propriedade, viabilizar os assentamentos de Reforma Agrária e interiorizar o desenvolvimento.

Para tanto, o Governo pode – ou deve! - lançar mão de diversos instrumentos, como políticas públicas, o seu poder de compra e regulatório e a adequação do ferramental tecnológico. Considerando-se o tempo de maturação destas medidas, em especial o diferencial de tempo entre a formulação de hipóteses e a apropriação de uma tecnologia, em larga escala, pelos seus usuários, é importante visualizar os cenários mas também atentar para as molduras, para melhor balizar as decisões do presente que contratarão o futuro.

## **1.7 - Vetores do desenvolvimento tecnológico na agroenergia**

Os principais fatores que impulsionam o desenvolvimento tecnológico para aproveitamento da biomassa energética são:

- a. a crescente preocupação com as mudanças climáticas globais que, no ponto futuro, convergirão para políticas globais de redução da poluição;

- b.** o reconhecimento da importância da energia de biomassa para efetuar a transição para uma nova matriz energética e substituir o petróleo como matéria prima, em seu uso como combustível ou insumo para a indústria química;
- c.** a crescente demanda por energia e as altas taxas recentes de uso de biomassa energética. Os países em desenvolvimento demandarão 5 TW de energia nova, nos próximos 40 anos, sendo inadmissível imaginar que essa energia possa ser proveniente de fontes fósseis, pelo seu alto impacto ambiental, pelo custo financeiro crescente e pelo esgotamento das reservas;
- d.** os custos ambientais serão paulatinamente incorporados ao preço dos combustíveis fósseis, através de tributos punitivos (taxa de poluição), tornando-os progressivamente mais caros, fator agravado com o aumento natural de preços, devido ao esgotamento das reservas e aos conflitos regionais;
- e.** o preço também oscilará, mantendo tendência crescente, em função das disputas políticas e bélicas pelas últimas reservas disponíveis, tornando inseguros os fluxos de abastecimento e o cumprimento de contratos de fornecimento de petróleo;
- f.** cresce, em progressão logarítmica, o investimento público e privado no desenvolvimento de inovações que viabilizem as fontes renováveis e sustentáveis de energia, com ênfase para o aproveitamento da biomassa;
- g.** também cresce o número de investidores internacionais interessados em contratos de longo prazo, para o fornecimento e biocombustíveis, especialmente o álcool e, em menor proporção, o biodiesel e outros derivados de biomassa;
- h.** a energia passará a ser um componente importante do custo de produção agropecuário e da agroindústria, tornando progressivamente atraente a geração de energia dentro da propriedade.

## 1.8 - Cenários de oferta e demanda de energia

Nas próximas décadas, o agronegócio mundial estruturar-se-á em quatro macro-segmentos: alimentação e fibras, biomassa, plantas ornamentais e nichos especializados, com faixas de sobreposição entre si. A biomassa será a base da energia renovável e também servirá como insumo para a indústria química. Os

mesmos especialistas antevêem que esse segmento movimentará o maior volume de recursos das transações agrícolas internacionais, a partir do ano de 2050. Entretanto, o crescimento da agricultura de energia significará, também, aumento da produção de alimentos. Por exemplo, a expansão do cultivo de girassol para fins energéticos significará, necessariamente, o aumento da oferta da torta ou farelo de girassol, matéria prima da indústria de rações ou alimentos.

É possível que o maior potencial em energia renovável, no médio prazo seja proveniente do desenvolvimento de biomassa moderna (70 a 140EJ), seguido pela energia solar (16-22EJ) e eólica (7-10EJ). No longo prazo, a contribuição de bioenergia é estimada em 1.300EJ/ano (EIA, 2004).

A portabilidade, a capacidade de estocagem e a densidade energética de uma fonte são atributos importantes para a sua consolidação e para ampliar o seu espaço na matriz energética. Por exemplo, o tanto o etanol quanto o biodiesel possuem portabilidade, o que permite ser transportado e estocado além-mar, ao contrário da energia elétrica, que possui limitações de transmissão. Adicionalmente, os biocombustíveis derivados de óleo vegetal possuem as mesmas características do álcool, porém apresentam o atributo de maior densidade energética, o que reduz o seu custo relativo de transporte e de estocagem, quando medido pela energia potencial por unidade de volume ou peso.

### 1.8.1 - Cenários para o século XXI

O International Institute for Applied Systems Analysis e o World Council Energy elaboraram um conjunto de cenários para o século 21, sintetizados abaixo:

**Cenário A:** grande desenvolvimento tecnológico e crescimento econômico, no mundo; **A1** com abundância de petróleo e gás natural, **A2** limitando as reservas de óleo e gás às atuais (e aumentando muito o uso de carvão), e **A3** com domínio de energia nuclear e renovável, eliminando os fósseis até 2100.

**Cenário B:** Avanços tecnológicos e crescimento econômico mais moderados; desigual nos países menos desenvolvidos.

**Cenário C:** Dominado por restrições ecológicas, conservação e uso eficiente de energia, com grande avanço tecnológico e econômico; **C1** muito mais dependente de novos reatores nucleares (seguros), e **C2** de energia renovável. Somente os cenários **A3**, **C1** e **C2** podem promover uma transição para um “desenvolvimento sustentável”, entendido como o desenvolvimento

com baixo impacto ambiental (local e global) e com distribuição equitativa de recursos e riqueza. O **Cenário B** representa aproximadamente a permanência das condições e tendências atuais, mas com desenvolvimento tecnológico e econômico moderado; não levaria à sustentabilidade.

A discussão detalhada dos cenários e resultados, os indicadores de sustentabilidade, variações temporais e regionais são importantes para localizar e explorar as condições específicas do Brasil, no planejamento. Dentro desta enorme variação de opções, nota-se da **Tabela 6** que, até 2030, dentro do mesmo grupo de cenários, não haveria diferenças sensíveis nos consumos energéticos, apenas nas emissões de CO<sub>2</sub>. O crescimento na energia elétrica (77 a 96% nos 3 grupos) é sempre maior que o na energia primária (13 a 76%).

**Tabela 6. Cenários de demanda e oferta de energia**

Fator	Cenários A		Cenários B		Cenários C		
	2000	2030	2000	2030	2000	2030	
Energia Primária EJ	422	780	422	654	411	464	
Energia Elétrica 103 TWh	15	28	14	23,5	13	18	
Emissões CO <sub>2</sub> 10# Mt	6,8 (A3) (A2)	7,1 (A2)	8,7 (A3) (A2)	11,7	6,3	8,7	6

Fonte: IIASA-WEC

De acordo com o Departamento de Energia dos EUA, as demandas globais de energia (total e elétrica) devem crescer 78% e 92%, respectivamente entre 1996 e 2020 conforme o seu cenário básico. O investimento global necessário para o suprimento de energia será de US\$ 400 – 600 bilhões/ano entre 1990 – 2020. Este investimento será feito em um conjunto de tecnologias - fóssil, renovável, nuclear – muito diversificado. O cenário considera que 80% da oferta de energia atual são de origem fóssil, e estes serão ainda os principais até 2020.

Dos aumentos em energia global e elétrica até 2020, apenas 9 e 12%, respectivamente, ocorrerão nos EUA; a grande maioria virá de países em desenvolvimento. A produção de petróleo deverá crescer de 72 para 116 milhões barris por dia, mas cairá nos EUA, aumentando a dependência do Golfo. Os riscos associados ao suprimento e aos impactos no meio ambiente farão crescer o interesse em combustíveis limpos, de diversas fontes renováveis, em especial de biomassa, ou, no limite, do gás natural.

Gás natural é a fonte fóssil mais promissora, com maior capacidade de expansão, mais “limpa” entre os fósseis, mas apresenta uma distribuição espacial

não homogênea, demandando grandes investimentos em infra-estrutura e acordos internacionais complexos. Aumentar a geração distribuída demanda novas tecnologias. O avanço no uso de energia nuclear continuará a ser limitado pelas implicações na segurança para sua aceitação pela opinião pública, o que indica que tecnologias mais seguras continuarão a ser buscadas.

Energias renováveis deverão suprir uma fração crescente da demanda, inicialmente fora dos EUA, como os mercados fotovoltaico e eólico. O seu crescimento mundial, incluindo biomassa, será fortalecido por considerações ambientais e de segurança no suprimento. De um modo geral, o crescimento econômico e a proteção ao meio ambiente serão os principais motivadores de mudanças/crescimento no setor energético.

Caso a sociedade mundial decida manter a concentração de carbono na atmosfera nos atuais 550 ppm, grande parte da energia futura deverá ser livre de carbono fóssil, com um forte aumento na eficiência de uso de combustíveis fósseis. Embora o caminho até 2020 seja essencialmente evolucionário, a partir daí a participação de novas tecnologias deverá crescer significativamente.

### 1.8.2 - Brasil: projeções para 2010 e 2020

No final de 1999 as reservas medidas de petróleo, LGN e GN atingiram  $9,81 \times 10^9$  bep, e as totais (medidas, indicadas e inferidas)  $17,1 \times 10^9$  bep. As reservas medidas de petróleo correspondiam a 20 anos da produção, indicando o esgotamento na década de 20. Comparando as avaliações mais recentes, final de 2001 temos:

Das reservas comprovadas de petróleo, 88% estão no mar, a grandes profundidades, o mesmo ocorrendo com 65% das reservas provadas de gás natural. A oferta interna de energia em 1999 foi de 183 Mtep (com a energia elétrica computada pelo equivalente "calórico",  $1 \text{ Kwh} = 860 \text{ kcal}$ ; pela equivalência "térmica", foi de 253 Mtep). Estes valores permitem calcular coeficientes setoriais de "intensidade energética", e daí à evolução da Oferta Bruta Interna de Energia (OIB), total e por fonte, até 2020. A OIB considera produção doméstica de energia primária, importação e exportação, variação em estoques, e energia não aproveitada (**Tabela 7**).

O crescimento da OIB no período (2000-2020) seria de 4,4 % ao ano (**Tabela 8**). A evolução da OIB por fonte, com o equivalente calórico, seria em termos de participação na energia total, está exposto na **Tabela 9**, enquanto a **Tabela 10** apresenta a projeção de evolução do custo de biomassa no Brasil.

**Tabela 7.** Matriz energética brasileira (2001).

<b>Fonte</b>	<b>Consumo</b>	<b>Reservas (mil Mtep)</b>
Petróleo	2,06 x 10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup>	1,17
Gás natural	0,36 x 10 <sup>12</sup> m <sup>3</sup>	0,21
Óleo de xisto	9,80 x 10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup>	0,38
Gás de xisto	2,50 x 10 <sup>12</sup> m <sup>3</sup>	0,1
Carvão mineral	32,40 x 10 <sup>9</sup> t	2,56
Hidráulica	143,40 GWano	0,24/ano
Nuclear	0,31 x 10 <sup>6</sup> t	1,24
Turfa	487 x 10 <sup>6</sup> t	0,04

Fonte: Balanço Energético Nacional, 2001 - MME

**Tabela 8.** Valores equivalentes térmicos da OIB.

<b>Ano</b>	<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2020</b>
Mtep	260	300	396	617

Fonte : CGEE - Estado da arte e tendências tecnológicas para energia

**Tabela 9.** Evolução da OIB por fonte energética.

<b>Fonte</b>	<b>2000 (%)</b>	<b>2020 (%)</b>
Petróleo	47	42
Hidroelétrica	14	15
Gás natural	5	16
Cana-de-açúcar	12	8
Carvão mineral	7	8
Urânio	1	1
Outras fontes primarias	2	3
Lenha - carvão vegetal	11	7

Fonte : CGEE - Estado da arte e tendências tecnológicas para energia

**Tabela 10.** Evolução do custo da biomassa em US\$/GJ

	Ano			
	2000	2005	2010	2020
<b>Custo</b>	2,4	1,8	1,4	1,2

Fonte : CGEE - Estado da arte e tendências tecnológicas para energia

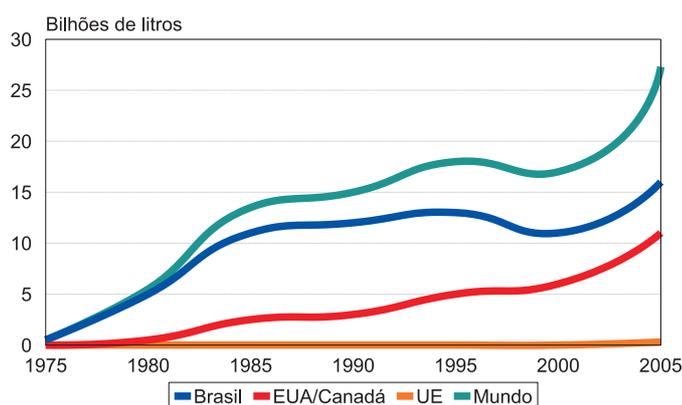
## 2. Análise das cadeias de agroenergia e sistemas conexos

O presente capítulo é dedicado à análise da situação atual das principais cadeias produtivas de agroenergia no Brasil, bem como de suas perspectivas futuras, e da sua vinculação com o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, do Protocolo de Quioto.

### 2.1 - Álcool combustível

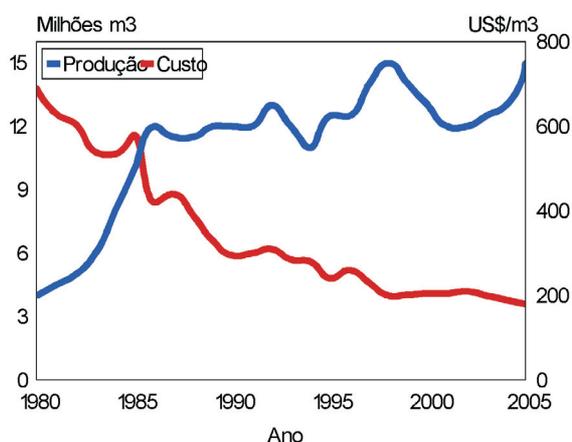
#### 2.1.1 - Introdução

O Brasil é o país mais avançado, do ponto de vista tecnológico, na produção e no uso do etanol como combustível, seguido pelos EUA e, em menor escala, pela Argentina, Quênia, Malawi e outros. A produção mundial de álcool aproxima-se dos 40 bilhões de litros, dos quais presume-se que até 25 bilhões de litros sejam utilizados para fins energéticos. O Brasil responde por 15 bilhões de litros deste total. O álcool é utilizado em mistura com gasolina no Brasil, EUA, UE, México, Índia, Argentina, Colômbia e, mais recentemente, no Japão. O uso exclusivo de álcool como combustível está concentrado no Brasil. A **Figura 7** compara a produção de etanol em diferentes países e a **Figura 8** demonstra como o ganho de escala, a prática empresarial e as inovações tecnológicas tornaram o álcool competitivo com a gasolina.



**Figura 7. Produção Mundial de Etanol.**

Fonte: Elaboração D. L. Gazzoni, a partir de diversas fontes



**Figura 8.** Produção e custo do etanol no Brasil.

Fonte: Elaboração D. L. Gazzoni

O álcool pode ser obtido de diversas formas de biomassa, sendo a cana-de-açúcar a realidade econômica atual. Investimentos portentosos estão sendo efetuados para viabilizar a produção de álcool a partir de celulose, sendo estimado que, em 2020, cerca de 30 bilhões de litros de álcool poderiam ser obtidos desta fonte, apenas nos EUA. O benefício ambiental associado ao uso de álcool é enorme, pois cerca de 2,3 t de CO<sub>2</sub> deixam de ser emitidas para cada tonelada de álcool combustível utilizado, sem considerar outras emissões, como o SO<sub>2</sub>.

A cana-de-açúcar é a segunda maior fonte de energia renovável do Brasil com 12,6% de participação na matriz energética atual, considerando-se o álcool combustível e a co-geração de eletricidade, a partir do bagaço. Dos 6 milhões de hectares, cerca de 85% da cana-de-açúcar produzida no Brasil está na Região Centro-Sul (concentrada em São Paulo, com 60% da produção) e os 15% restantes na região Norte-Nordeste.

Na safra 2004, das cerca de 380 milhões de toneladas moídas, aproximadamente 48% foram destinadas à produção de álcool. O bagaço remanescente da moagem é queimado nas caldeiras das usinas, tornando-as auto-suficientes em energia e, em muitos casos, superavitárias em energia elétrica que pode ser comercializada. No total foram produzidos 15,2 bilhões de litros de álcool e uma geração de energia elétrica superior a 4 GWh durante a safra, o que representa aproximadamente 3% da nossa geração anual.

Apesar de todo o potencial para a co-geração, a partir do aumento da eficiência energética das usinas, a produção de energia elétrica é apenas uma das alternativas para o uso do bagaço. Também estão em curso pesquisas para

transformá-lo em álcool (hidrólise lignocelulósica), em biodiesel, ou mesmo, para o seu melhor aproveitamento pela indústria moveleira e para a fabricação de ração animal.

### **2.1.2 - A experiência do Brasil com o álcool combustível**

As primeiras experiências com a utilização do etanol em motores do ciclo Otto datam do início do século XX. Em 1912, alguns veículos foram movimentados, em caráter experimental. Em 1931, o Governo Brasileiro autorizou a utilização do álcool em mistura à gasolina, em proporções entre 2% e 5%, respeitada a disponibilidade regional do produto. Em 1961 esse intervalo de mistura foi elevado para de 5% a 10%. Atualmente, a mistura oscila em torno de 24%.

Sob o impacto do segundo choque do petróleo, o governo brasileiro fomentou a fabricação de carros movidos, exclusivamente, a álcool. Houve uma resposta rápida e positiva da sociedade, de maneira que, entre 1983 e 1988, esses veículos representaram, na média, mais de 90% dos veículos novos comercializados. Entretanto, o ano de 1986 marcou o início da reviravolta. Inesperadamente, o mercado internacional assistiu a uma abrupta queda nos preços do petróleo, que saltou de uma média superior a US\$ 27,00/barril em 1985, para menos de US\$ 14,00/barril naquele ano. Manter os preços do álcool atraentes para o consumidor significaria sobretaxar o combustível fóssil, gerando recursos para subsidiar o renovável. Os impostos sobre a gasolina também eram utilizados para subsidiar o gás de cozinha e o óleo diesel, indispensável numa matriz de transporte em que mais de 65% das cargas eram movimentadas por caminhões.

Passada a crise, quando as vendas já davam sinais de recuperação (em 1992 e 1993 os veículos a álcool representaram uma média superior a 25% do total), nasceu um novo padrão tecnológico que veio colocar o carro a álcool definitivamente em segundo plano: os motores de até 1000 cilindradas. Como a relação de preços não era favorável ao álcool, a indústria automotiva concentrou os esforços de pesquisa numa geração de veículos a gasolina mais econômicos. Desse modo, em 1996 essa nova geração de veículos já representava 75% das vendas, enquanto a participação dos veículos a álcool despencou para menos de 1%.

Paralelamente a todo esse processo, ao tempo em que o setor sucroalcooleiro acumulava ganhos de produtividade, as cotações do petróleo reassumiram trajetória ascendente (flutuando na casa dos US\$ 25,00/barril entre

2000 e 2002). Com esses preços mais elevados e uma maior carga tributária sobre o combustível fóssil, o álcool recuperou a sua atratividade, especialmente nas bombas das regiões produtoras. Isso motivou a indústria automotiva a investir no desenvolvimento de um novo padrão tecnológico, o “flex-fuel”. Esse novo padrão tecnológico entroniza o consumidor, que passa a decidir, soberanamente, sobre qual combustível deve abastecer seu carro, com base em considerações econômicas, ambientais e de desempenho do veículo.

### 2.1.3 - O modelo institucional

A indústria sucroalcooleira, até a década de 1990, era caracterizada pela elevada intervenção do Estado. Esse controle que teve início devido ao papel estratégico do açúcar na pauta de exportações, foi reforçado a partir da introdução do álcool na matriz energética. Desse modo, ao longo da existência do Instituto do Açúcar e do Álcool, a indústria sucroalcooleira era uma mera executora de políticas definidas no âmbito do Governo Federal.

Apesar do ambiente de livre mercado, é importante destacar algumas características do mercado de álcool combustível, que impõem ao Governo a necessidade de dispor de mecanismos de regulação, tal como segue:

**a. Produção sazonal:** da mesma forma que os demais produtos agrícolas, o álcool é produzido durante alguns meses (safra), mas seu consumo ocorre durante todo o ano. Dessa maneira, a formação de estoques se torna fundamental, demandando capital de giro a baixo custo, de forma a minimizar os riscos de flutuação de preços e de desabastecimento do mercado no final da entressafra;

**b. Produto estratégico:** devido ao amplo consumo e ao fato de não ter produto substituto adequado, o álcool é tido como estratégico e sua falta ou super-oferta pode gerar crises no mercado de combustíveis. Logo, o consumidor do álcool combustível fica numa situação de dependência e precisa ter confiança no pleno abastecimento, confiança abalada com a crise ocorrida no final da década de 1980;

**c. Inexistência de mercado internacional:** o fato de não haver ainda comércio internacional significativo de álcool combustível inviabiliza a compra e venda em grandes volumes, no exterior, em tempos de escassez e de excesso de oferta no mercado interno, respectivamente;

**d. Setor de intermediação pouco desenvolvido:** como até recentemente mais de 90% da produção era adquirida pelas distribuidoras de combustível, estas não se interessavam em formar estoques, deixando esse ônus exclusivamente com os produtores. Acredita-se que com a transformação do álcool em commodity, a maior participação dos compradores externos deverá impor às distribuidoras uma mudança de estratégia, especialmente no que diz respeito ao mercado de futuros, reduzindo os riscos e os custos de carregamento dos estoques para as usinas.

A intervenção governamental deve partir de algumas premissas, consolidadas no marco regulatório do setor de combustíveis. Destaque-se a Lei nº 9.478, de 6 de Agosto de 1997, que dispõe sobre a política energética, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo e dá outras providências; e a Emenda Constitucional nº 33, de 11 de Dezembro de 2001, que altera os artigos nº 149, 155 e 177 da Constituição Federal, definindo as bases para a criação da Contribuição de Intervenção no Domínio Econômico – CIDE.

Esses dois atos normativos são os pilares para a implantação do ambiente de livre mercado (fim do monopólio estatal na indústria de petróleo), e definição do modelo tributário sobre combustíveis. Eles foram complementados pelas Leis nº 10.336, de 19 de Dezembro de 2001 (institui a Contribuição de Intervenção no Domínio Econômico - CIDE, incidente sobre a importação e a comercialização de petróleo e derivados, gás natural e derivados e álcool etílico combustível) e Lei nº 10.453, de 13 de Maio de 2002 (define o conjunto de instrumentos de política econômica, por meio dos quais o Governo poderá intervir na produção e comercialização do álcool combustível).

O Governo dispõe de outros dois instrumentos de intervenção no mercado de álcool combustível. O primeiro é a fixação dos níveis de mistura do álcool anidro à gasolina. A mistura pode variar entre 20 e 25%, conforme a disponibilidade do produto. O segundo, de natureza mais estrutural, diz respeito à carga tributária sobre os veículos automotores, onde são fixadas alíquotas menores do Imposto sobre Produtos Industrializados – IPI para os veículos movidos a álcool, exceto para aqueles de até 1000 cilindradas.

Outro aspecto institucional relevante para o setor é o Programa Nacional de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica – Proinfa. O programa tem por objetivo a diversificação da nossa matriz energética, a partir do aumento da participação das fontes renováveis de energia. É conferido enfoque na cogeração a partir de resíduos de biomassa, nas Pequenas Centrais Hidrelétricas e na Energia Eólica.

## 2.1.4 - Cenário atual e perspectivas

A indústria sucroalcooleira vive um momento de otimismo, decorrente de uma conjunção de fatores favoráveis. Ao tempo em que a economia nacional inicia processo de recuperação, que se reflete no aumento do consumo de açúcar e combustíveis, inclusive o álcool, o mercado externo também está cada vez mais atraente e promissor.

Se a partir de 2002 os consumidores já voltavam a demonstrar interesse pelo carro a álcool, com o lançamento dos veículos "flex" e a elevação dos preços internacionais do petróleo, o álcool hidratado voltou a ser um grande negócio, especialmente nas cidades próximas das regiões produtoras. Com apenas dois anos de existência, essa nova tecnologia representa 50% das vendas de veículos novos em 2005, com uma participação superior a 60% nas vendas do segundo semestre.

Estima-se que nos próximos anos ingressem no mercado pelo menos 1 milhão de veículos/ano, demandando 1,5 bilhão de litros de álcool hidratado no consumo anual (estima-se que esses veículos devem consumir uma média de 2 mil litros/ano. Entretanto, deve-se descontar uma redução de 500 mil litros/ano, que deverá deixar de ser consumida pela antiga frota de veículos a álcool, em fase de sucateamento).

Com base nessas projeções, estima-se que, nos próximos 5 anos, a demanda interna por cana-de-açúcar salte de 240 milhões de toneladas (70 milhões de toneladas de cana para açúcar e 170 milhões para álcool), para algo em torno de 334 milhões de toneladas (84 milhões para açúcar e o restante para álcool). Apesar de amplamente satisfatório para o setor privado, o problema é preocupante para o Governo, especialmente porque, além da necessidade de incremento de, praticamente, 100 milhões de toneladas na produção para atender o mercado doméstico, a demanda externa também é crescente.

Internacionalmente, os contratos firmados entre a Petrobras e as companhias petrolíferas da Venezuela e da Nigéria, somados às expectativas quanto ao mercado japonês e à consolidação dos investimentos no reprocessamento no Caribe (exportações para o mercado americano utilizando a cota destinada aos países daquela região), podem representar um incremento de quatro a cinco bilhões de litros de álcool nas exportações.

Não seria otimismo estimar que a demanda externa deverá representar a necessidade de incremento de outros 120 milhões de toneladas de cana. Diferentemente do que deve ocorrer no mercado doméstico, a maior demanda ocorrerá no mercado de açúcar (70 milhões de toneladas). No caso do mercado de álcool, embora o crescimento deva ser expressivo, a natureza estratégica do produto

deverá retardar as decisões de alguns importantes atores, como a União Europeia, os quais privilegiarão a estruturação da base produtiva doméstica antes de recorrer às importações.

De todo modo, ainda que de maneira muito otimista, estima-se a necessidade de incremento da produção em mais de 200 milhões de toneladas de cana nos próximos 8 anos. Significa um incremento superior a 50%, que exige não apenas a elaboração de um plano de expansão da produção, como também o equacionamento dos gargalos ligados à infra-estrutura de transporte e escoamento.

### 2.1.5 - Desafios para a indústria sucroalcooleira nacional

Apesar do pioneirismo de ter uma indústria tecnicamente qualificada, com os menores custos e um grande potencial para aumento da produção, alguns desafios estão colocados e exigem uma ação planejada e conjunta do Governo com o setor privado. **O primeiro, talvez o maior dos desafios, diz respeito às dimensões do mercado mundial de combustíveis.** Embora com apenas metade da cana o Brasil consiga substituir mais de quarenta por cento da gasolina consumida internamente, a produção mundial de etanol ainda é insignificante.

A produção de álcool pode ser uma alternativa para os países beneficiários de regimes especiais de cotas, como os ACPs (African, Caribbean and Pacific), permitindo uma maior aproximação do Brasil com esses países, de forma a reverter o ambiente de insatisfação ocasionado pelo Painel no âmbito da OMC, movido por Brasil, Austrália e Tailândia, contestando o Regime Açucareiro Europeu, do qual eles são beneficiários.

**O segundo ponto diz respeito à necessidade de um plano diretor para a expansão da indústria sucroalcooleira.** Esse plano deve começar pelo zoneamento agrícola da cana, o qual deve subsidiar não apenas o planejamento da ocupação de novas áreas, como também o gerenciamento de políticas públicas para áreas tradicionais, eventualmente não recomendadas para o cultivo.

Dentro desse enfoque cabe destacar as irregularidades climáticas, presentes especialmente na Zona da Mata Nordestina, e a topografia acidentada, observada exatamente nas áreas mais tradicionais, como a própria Zona da Mata Nordestina e a Zona da Mata Mineira. Num contexto onde crescem as pressões pela eliminação das queimadas, será cada vez mais difícil assegurar a viabilização da atividade em áreas não mecanizáveis.

O problema das queimadas, no entanto, não deve ser menor do que o da monocultura. É preocupante a situação do Estado de São Paulo, onde além de já ter aproximadamente metade de suas terras agricultáveis cobertas pela cana, constitui a maior fronteira de expansão do país, com mais de 25 projetos de implantação de novas unidades. Esse excesso de concentração, embora aparentemente irreversível naquele Estado, deve ser evitado nas novas áreas.

Esse problema da concentração está diretamente relacionado ao terceiro ponto, que diz respeito à **necessidade de investimentos em infra-estrutura de escoamento no interior do país**. Apesar do expressivo crescimento nos Estados do Centro-Oeste, a produção ainda é incipiente, especialmente se comparada à disponibilidade de terras e à performance da soja nos anos recentes. Assim como o Centro-Oeste, o Meio Norte (Estado de Tocantins, e sul dos Estados do Maranhão e Piauí), se apresenta como novo eixo de produção, mas depende da concretização de alguns investimentos em infra-estrutura para se conectar aos portos de São Luís e Fortaleza. Essas regiões, além da regularidade climática, têm no custo das terras outro importante diferencial positivo.

Outro desafio não menos importante diz respeito à **capacidade da indústria de base em atender às necessidades de crescimento do setor**. Considerando as estimativas de crescimento da demanda por capacidade de processamento, estima-se a necessidade de implantação de pelo menos 15 novas unidades por ano nos próximos 5 anos, além de outras 10 unidades anuais nos 3 anos subseqüentes.

### 2.1.6 - A ação do governo

A primeira ação deve ser a integração entre a Embrapa, INMET e demais parceiros no sentido de acelerar os estudos com foco na elaboração do plano estratégico de expansão da lavoura canavieira. Tal plano deve contemplar, além do privilégio à aptidão agrônômica, o enfoque sócio-ambiental, de forma a subsidiar programas de governo que visem evitar problemas como os verificados no âmbito do Programa Nacional do Alcool.

Uma das diretrizes deve ser o desenvolvimento de instrumentos que promovam a desconcentração da produção. A concentração regional, onde São Paulo responde por mais de 60% da produção, é tão preocupante quanto o processo de verticalização, em que a cana própria já representa mais de 70% do suprimento das unidades industriais, num processo fortemente excludente para os pequenos e médios fornecedores.

Tão importante quanto organizar o processo de crescimento da produção doméstica é estabelecer canais de negociação no plano internacional, de forma

a equacionar alguns importantes entraves. O maior deles, sem dúvidas, está relacionado à baixa liquidez no mercado de álcool, reforçado pela fragilidade do mercado de futuros para o produto. Esse problema só poderá ser equacionado a partir da entrada de novos atores no mercado, desconcentrando a oferta e reduzindo os riscos sistêmicos para os eventuais importadores.

O compartilhamento da experiência da diversificação da indústria sucroalcooleira, onde o Governo teve um papel institucional notório, é um caminho para angariar o apoio de outros países produtores de cana, a matéria-prima que permite os menores custos de produção para o álcool. O planejamento da expansão da fronteira de produção doméstica, combinado com uma ação estratégica junto a outros importantes players no mercado internacional é fundamental criar um ambiente de segurança, o qual se reproduzirá na materialização das expectativas quanto ao crescimento da demanda. Mais do que isso, a ação responsável do Governo e do setor privado será decisiva para atrair investimentos externos, inclusive em infra-estrutura, permitindo que sejam cumpridas as metas.

### **2.1.7 - Co-geração de energia**

Co-geração é definida como o processo de transformação de uma forma de energia em mais de uma forma de energia útil, de acordo com Oddone (2001), adendando que as formas de energia útil mais frequentes são a energia mecânica (movimentar máquinas, equipamentos e turbinas de geração de energia elétrica) e a térmica (geração de vapor, frio ou calor). O mesmo autor salienta que a co-geração apresenta alta eficiência energética, pois não há o desperdício de energia térmica (como ocorre nas termoelétricas puras), pois essa energia é utilizada em processos industriais, como secagem, evaporação, aquecimento, cozimento, destilação, etc.

Esses conceitos aplicam-se didaticamente à cadeia sucroalcooleira. No processamento da cana-de-açúcar, há alta demanda de energia térmica, mecânica e elétrica. Após a extração do caldo, é possível queimar o bagaço obtido em caldeiras, produzindo vapor que é utilizado para obter as três fontes de energia. É importante ressaltar que, do total da energia contida na planta de cana-de-açúcar, o álcool responde por cerca de um terço, estando o restante distribuído entre o bagaço, os ponteiros e a palhada. Logo, a co-geração movimenta uma cadeia energética com potencial de dobrar a energia obtida pela produção do álcool. Segundo Walter (1994), a co-geração respondeu por 3,6% da energia elétrica produzida no Brasil entre 1985 e 1992.

Autores como Wylen e Sonntag (1976), Oddone (2001), Coelho (1999) e Walter (1994) estudaram os aspectos termodinâmicos da obtenção de eletricidade por co-geração na cadeia sucroalcooleira, em especial o ciclo Rankine e o ciclo combinado. No ciclo Rankine, utiliza-se uma caldeira, em que uma fonte de energia (bagaço ou a palhada da cana), gerando vapor em alta pressão, com temperatura superior ao ponto de ebulição da água. A liberação do vapor ocorre através de sistemas mecânicos, movimentando máquinas, transferindo calor para processos industriais, ou movimentando turbinas para gerar energia elétrica. O ciclo se completa com o retorno do vapor condensado à caldeira, para ser novamente aquecido. Já no ciclo combinado, uma turbina a gás em alta temperatura movimenta um gerador, sendo transferido o calor do gás para água, que é vaporizada e aciona um segundo gerador, em que ambos produzem energia elétrica.

Inicialmente, o bagaço de cana, que significa 25% a 30% do peso da cana processada com 50% de umidade, foi utilizado nas usinas para geração de calor, substituindo a lenha. Apenas recentemente o bagaço vem sendo utilizado para gerar vapor, com grande flexibilidade para ser transformado em formas de energia como calor, eletricidade ou tração. O aumento do custo da energia, seja elétrica ou de petróleo, tornou mais atraente a utilização do bagaço para co-geração de energia. Como ainda estamos no alvorecer do processo, existe um grande espaço de melhoria tecnológica para maximizar a eficiência da co-geração na cadeia da cana-de-açúcar.

Essa possibilidade excitou os formuladores de políticas de abastecimento energético, em especial no final do século XX. Recentemente, o governo brasileiro regulamentou a compra de energia elétrica dos autoprodutores, assim entendida a pessoa jurídica ou consórcio, com concessão ou autorização para gerar eletricidade para seu uso exclusivo e que pode vender ao concessionário de energia elétrica eventuais excedentes para venda aos seus clientes.

Também pode operar o chamado consumidor livre, com autorização adquirir o excedente de eletricidade de autoprodutores. Além disso, existe o produtor independente de energia, conceituado como a pessoa jurídica, ou empresas reunidas em consórcio, que recebem concessão ou autorização para produzir energia elétrica destinada ao comércio, podendo ser vendida toda a energia produzida ou parte dela.

Segundo o Balanço Energético Nacional (2003), a participação da biomassa na matriz energética brasileira é de 27%, a partir da utilização de lenha de carvão vegetal (11,9%), bagaço de cana-de-açúcar (12,6%) e outros (2,5%). O potencial autorizado para empreendimentos de geração de energia

elétrica, de acordo com a ANEEL, é de 1.376,5 MW, quando se consideram apenas centrais geradoras que utilizam bagaço de cana-de-açúcar (1.198,2 MW), resíduos de madeira (41,2 MW), biogás ou gás de aterro (20 MW) e licor negro (117,1 MW). Neste ano, três novas centrais geradoras a biomassa (bagaço de cana) entraram em operação comercial no País, inserindo 59,44 MW à matriz de energia elétrica nacional. Projeções da Agência Internacional de Energia indicam que o peso relativo da biomassa na geração mundial de eletricidade deverá passar de 10 TWh, em 1995, para 27 TWh em 2020

### 2.1.8 - Metanol de biomassa

A tecnologia de produção de metanol a partir de biomassa evoluiu muito nos últimos 20 anos, atingindo maior eficiência de conversão e menores custos, mas o conceito de integração completa da gaseificação, limpeza do gás e síntese do metanol não é ainda comercial. A tecnologia, ainda experimental, compreende a preparação da madeira (eucalipto, no Brasil) com picadores; a gaseificação; limpeza do gás de síntese e reforma para CO e H<sub>2</sub>, ajustando a razão molar CO/H<sub>2</sub> para 2. O gás resultante é comprimido e, por catálise, produz o metanol. A água é removida por destilação.

Há necessidade de melhoria tecnológica, como a limpeza do gás a quente (reduzindo perdas de energia), a reforma catalítica auto-térmica (CAT) e produção direta na fase líquida. No Brasil, a CESP investigou a produção de metanol por gasificação de eucalipto na década de 80. O processo utilizava energia elétrica como fonte térmica, porém alguns problemas na gaseificação impediram a evolução.

Uma avaliação dos custos de produção com parâmetros atuais no Estado de São Paulo, e com avanços tecnológicos para a próxima década, indica uma produtividade média atual de 22,4 t matéria-seca/ha.ano, aumentando para 25 t/ha.ano (futuro), o que projeta o custo de eucalipto de 1,08 – 0,95 US\$/GJ, respectivamente. Estes custos, adicionados aos de logística, conversão e distribuição para as duas situações (hoje e futura) levam a custos finais de US\$ 12,78 e 9,95/GJ (metanol) respectivamente. Excluindo os custos de distribuição, seriam US\$ 9,68 e US\$ 6,85/GT (metanol).

Ao contrário do que ocorre na maioria dos sistemas de energia com base em biomassa, o custo da biomassa não é o fator principal no custo do metanol. Na situação atual, os custos de produção e transporte da madeira atingiram apenas 15% do custo total de produção de metanol, contra 60% de conversão e 24% da distribuição. Isto indica o interesse no desenvolvimento da tecnologia para baixar os custos de conversão.

Uma futura rota para produção de hidrogênio a partir de biomassa passaria por processos análogos aos da rota para metanol. Em um horizonte mais afastado, se o uso do hidrogênio como vetor energético crescer como esperado, estes processos poderão ser muito importantes. Estas avaliações iniciais de custos, e o potencial para biomassa no Brasil, recomendam aprofundar as investigações em processos de gasificação (para energia elétrica ou metanol), mesmo com as restrições ambientais e de toxicidade do metanol.

### 2.1.9 - Perspectivas de mercado

O Brasil conta, atualmente, com aproximadamente 320 unidades produtoras de açúcar e álcool. Isso representa uma capacidade instalada para o processamento de mais de 430 milhões de toneladas de cana, o que pode resultar na produção de até 18 bilhões de litros e 29 milhões de toneladas de açúcar. Na atual safra deverão ser processadas aproximadamente 390 milhões de toneladas de cana, atingindo 27,5 milhões de toneladas de açúcar e 16,7 bilhões de litros de álcool. Além disso, deverão ser gerados aproximadamente 3 GWh de energia elétrica, durante as 4.000 horas de funcionamento médio dessas usinas, dos quais quase 90% utilizados para auto-consumo.

Embora os números pareçam gigantescos, há necessidade de grandes investimentos para atender ao crescimento das demandas interna e externa. A alta do petróleo, combinada com a difusão dos veículos flex-fuel levam a estimativas de crescimento da ordem de  $1,5 \text{ GL.ano}^{-1}$ , no consumo interno de álcool combustível, o que representa uma demanda estimada em 25 GL para 2013. Agregando-se o volume previsível para a exportação, é factível imaginar-se uma oferta total de etanol próxima a 30 GL para 2015.

A situação não é muito diferente no mercado de açúcar, concorrencial com o etanol pela mesma matéria prima. O crescimento do consumo mundial, no patamar próximo de 2% ao ano já abriria espaços para o aumento da participação brasileira no mercado. Entretanto, a ele devem se somar as expectativas de redução da produção na União Européia (ajustes tanto em relação à OMC quanto às diretivas do Protocolo de Quioto), e em outros países que estão investindo na produção do álcool combustível, sem condições de incrementar a produção agrícola. Desta forma, estima-se que, em 8 anos, o Brasil deverá exportar 25 milhões de toneladas anuais, somadas a um consumo interno próximo de 11,5 milhões de toneladas.

A consolidação dessas expectativas quanto dever representar uma demanda por 220 milhões de toneladas de cana adicionais, que deverão ser atendidos com a ampliação de algumas unidades e a implantação de pelo menos 60 novos projetos de médio porte. Há a necessidade de incorporação de 3 milhões de hectares de

novas áreas, mas esse não é o maior problema, uma vez que a cana ocupa apenas 10% da área agrícola atual e há uma grande disponibilidade de terras agricultáveis por serem incorporadas. Os principais motivos de preocupação são a concentração espacial da produção e a falta de interesse pela busca de maior eficiência energética por parte das unidades produtoras.

Em relação à concentração espacial, embora a Região Centro-Oeste e o Meio-Norte (Estado de Tocantins e sul dos Estados do Maranhão e Piauí), apresentem grande potencial, São Paulo continua absorvendo a maioria dos investimentos. Dos 40 projetos em fase de implantação 25 estão naquele Estado, que já tem mais da metade de suas áreas de lavouras ocupadas com a cana. Os novos projetos se concentram na região oeste do Estado, invadindo áreas tradicionais de pecuária.

Da mesma forma, Minas Gerais, o Estado que registra as maiores taxas de crescimento do setor, vê os novos projetos sendo implantados no Triângulo Mineiro, praticamente numa extensão à fronteira de produção paulista. Essa busca por regiões melhor dotadas de infra-estrutura leva ao surgimento de grandes extensões de lavouras em regime de monocultura, cujos impactos sócio-ambientais precisam ser avaliados com maior profundidade.

O segundo problema está relacionado ao cenário amplamente favorável para o açúcar e álcool, levando os empresários do setor a investirem mais no aumento da capacidade de processamento do que na maior eficiência energética. Isso vale tanto para as unidades já instaladas quanto para os projetos em fase de implantação. A maior rentabilidade dos produtos tradicionais, combinada com os pesados custos dos investimentos em tecnologias mais eficientes para a co-geração de energia elétrica, tem deixado esse novo negócio em segundo plano.

Outros dois fatores ajudam a explicar a baixa atratividade dos investimentos na co-geração de energia elétrica. O primeiro é a falta de experiência com esse novo negócio, o que dificulta, inclusive, o relacionamento com os clientes. O segundo, não menos importante, está associado aos custos mais elevados para tecnologias mais eficientes. Isso tem levado à opção por tecnologias intermediárias, com caldeiras de 40 ou 60 quilos de vapor, que apresentam maiores taxas de retorno e menor necessidade de capital imobilizado. O problema é que como são equipamentos de ciclo de vida relativamente longo, as unidades poderão passar décadas sub-aproveitando as potencialidades do bagaço.

Desse modo o grande potencial que se abre para o setor requer uma ação efetiva do Governo no sentido de, estrategicamente, fomentar os investimentos de forma a contemplar tanto a reversão do processo de

concentração espacial da produção, quanto a busca da maior eficiência energética nos novos projetos e a modernização das unidades já em operação.

De um lado, são imprescindíveis os investimentos em infra-estrutura, aumentando a atratividade da implantação de projetos fora das áreas tradicionais. Destaca-se aí a conclusão dos investimentos no Corredor Norte Sul, que poderá permitir a consolidação da agroindústria sucroalcooleira como uma excelente alternativa para os Estados do Maranhão, Piauí e Tocantins, que estão entre os mais pobres do país.

Do outro a oferta de linhas especiais de crédito também deve funcionar como indutor de investimentos, aliado à captação de recursos internacionais. A diferenciação deve contemplar tanto a possibilidade de incentivos regionais quanto o fomento à utilização de tecnologias mais eficientes. Os Governos Estaduais, também interessados diretos, devem ser envolvidos no programa, trabalhando de forma harmônica com o Governo Federal.

Caso seja atingida a meta de processamento de 610 milhões de toneladas de cana na safra 2012/13, além da oferta de 36,5 milhões de toneladas de açúcar e 27,4 bilhões de litros de álcool, haverá uma disponibilidade de mais de 160 milhões de toneladas de bagaço. Se todo ele for queimado em caldeiras de alta pressão, poderá gerar o equivalente a 66 GW de energia elétrica, ou seja, 16,5 mil mega-watts/hora, durante as 4.000 horas médias anuais de safra. Esses números podem ser ainda mais surpreendentes se considerado o aproveitamento das palhas e pontas, cuja sua grande maioria ainda é queimada nos canaviais.

Cabe destacar, no entanto, que a produção de energia elétrica é apenas uma das alternativas. Tal como a gaseificação, que eleva substancialmente a eficiência da queima do bagaço, alternativas como a produção do álcool por hidrólise lignocelulósica e até mesmo a produção de biodiesel estão em estudos. Para alguns especialistas, a melhor remuneração paga pelo mercado de combustíveis líquidos pode estimular algumas usinas a utilizarem o bagaço para essas duas finalidades, recorrendo ao gás natural como fonte de energia para o seu funcionamento.

Esse conjunto de alternativas precisa ser bem avaliado pelos órgãos de governo. Como são tecnologias novas, com alto custo de implantação e longo prazo de maturação, é fundamental minimizar os riscos para o investimento privado e, ao mesmo tempo, maximizar a eficiência dos projetos de investimento. Mecanismos de mercado, especialmente num sistema de preços livres, podem levar à tomada de decisões de curto prazo que não reproduzam as melhores alternativas estratégicas para o país.

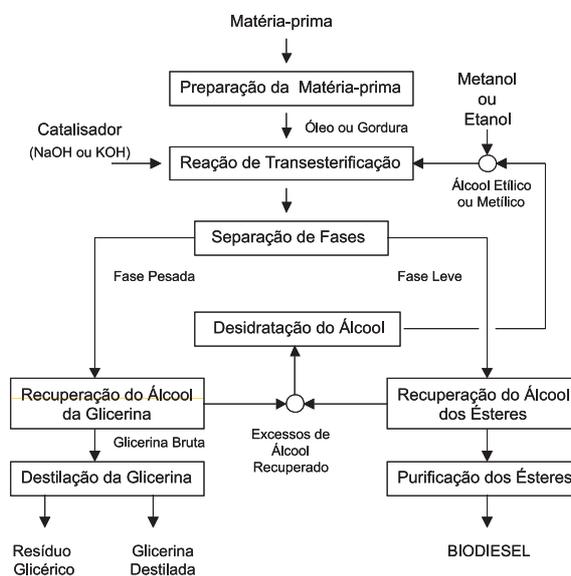
## 2.2 - Biodiesel

### 2.2.1 - Considerações gerais

O uso energético de óleos vegetais no Brasil foi proposto em 1975, originando o Pró-óleo – Plano de Produção de Óleos Vegetais para Fins Energéticos. Seu objetivo era gerar um excedente de óleo vegetal capaz de tornar seus custos de produção competitivos com os do petróleo. Previa-se uma mistura de 30% de óleo vegetal no óleo diesel, com perspectivas para sua substituição integral em longo prazo.

### 2.2.2 - Produção e tecnologia

Nas últimas duas décadas houve um avanço respeitável nas pesquisas relativas ao biodiesel, assim, além dos vários testes de motores, algumas plantas de piloto começaram a ser construídas em diferentes cidades. Recentemente, o biodiesel deixou de ser um combustível puramente experimental e passou para as fases iniciais de comercialização. O biodiesel pode ser obtido a partir de óleos vegetais novos, residuais, gorduras animais e ácidos graxos oriundos do refino dos óleos vegetais. Uma série de processos tecnológicos pode ser utilizada na obtenção deste produto (**Figura 9**).



**Figura 9.** Processo de obtenção de biodiesel a partir da transesterificação.

Esterificação é o nome dado à reação que envolve a obtenção de ésteres (biodiesel) a partir de álcoois e ácidos graxos ou seus derivados. A transesterificação consiste na reação química de triglicerídeos (óleos e gorduras vegetais ou animais, em que os ácidos graxos formam ésteres com o glicerol) com álcoois (metanol ou etanol), na presença de um catalisador (ácido, base ou enzimático), resultando na substituição do grupo éster do glicerol pelo grupo do etanol ou metanol. A glicerina é um subproduto da reação, que deve ser purificada antes da venda para aumentar a eficiência econômica do processo. Por fim, o craqueamento catalítico ou térmico refere-se ao processo que provoca a quebra de moléculas por aquecimento a altas temperaturas, formando uma mistura de compostos químicos com propriedades muito semelhantes às do diesel de petróleo.

No Brasil, as alternativas para a produção de óleos vegetais são diversas, o que constitui num dos muitos diferenciais para a estruturação do programa de produção e uso do biodiesel no país. Por se tratar de um país tropical, com dimensões continentais, o desafio colocado é o do aproveitamento das potencialidades regionais. Isso é válido tanto para culturas já tradicionais, como a soja, o amendoim, o girassol, a mamona e o dendê, quanto para alternativas novas, como o pinhão manso, o nabo forrageiro, o pequi, o buriti, a macaúba e uma grande variedade de oleaginosas a serem exploradas.

Entretanto, embora algumas plantas nativas apresentem bons resultados em laboratórios, como o pequi, o buriti e a macaúba, sua produção é extrativista e não há plantios comerciais que permitam avaliar com precisão as suas potencialidades. Isso levaria certo tempo, uma vez que a pesquisa agropecuária nacional ainda não desenvolveu pesquisas com foco no domínio dos ciclos botânico e agrônomo dessas espécies.

Dentre as várias alternativas, merecem destaque a soja, cujo óleo representa 90% da produção brasileira de óleos vegetais, o dendê, o coco e o girassol, pelo rendimento em óleo, e a mamona, pela resistência à seca. Na **Tabela 11** são apresentadas algumas características de culturas oleaginosas com potencial de uso para fins energéticos.

O processo de transesterificação pode utilizar, como fonte de álcool, o metanol, rota muito conhecida e aplicada industrialmente em diversos países, ou o etanol. A opção estrategicamente mais vantajosa para o Brasil é o etanol, produzido nacionalmente em larga escala, a custos altamente competitivos. O metanol, além de ser tóxico, necessita ser importado, ou produzido a partir de gás natural (carbono fóssil).

A ANP estima que a atual produção brasileira de biodiesel seja da ordem de 176 milhões de litros anuais, sendo que apenas 4 empresas têm autorização

**Tabela 11.** Características de culturas oleaginosas no Brasil.

<b>Espécie</b>	<b>Origem do Óleo</b>	<b>Teor de Óleo (%)</b>	<b>Meses de Colheita / ano</b>	<b>Rendimento (t óleo/ha)</b>
Dendê/Palma	Amêndoa	22,0	12	3,0 - 6,0
Coco	Fruto	55,0 - 60,0	12	1,3 - 1,9
Babaçu	Amêndoa	66,0	12	0,1 - 0,3
Girassol	Grão	38,0 - 48,0	3	0,5 - 1,9
Colza/Canola	Grão	40,0 - 48,0	3	0,5 - 0,9
Mamona	Grão	45,0 - 50,0	3	0,5 - 0,9
Amendoim	Grão	40,0 - 43,0	3	0,6 - 0,8
Soja	Grão	18,0	3	0,2 - 0,4
Algodão	Grão	15,0	3	0,1 - 0,2

Fonte: Nogueira, L. A. H. et al. Agência Nacional de Energia Elétrica. Adaptado pelo DPA/MAPA

para produzir comercialmente – Soyminas (MG), Brasil Biodiesel (PI), Agropalma (PA) e Biolix (PR) – e 7 estão em processo de solicitação de autorização.

Estudos desenvolvidos pelo Ministério do Desenvolvimento Agrário, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Ministério da Integração Nacional e Ministério das Cidades mostram que, a cada 1% de participação da agricultura familiar no mercado de biodiesel do país, baseado no uso do B5, seria possível gerar cerca de 45 mil empregos no campo, a um custo médio de, aproximadamente, R\$ 4.900,00 por emprego (Holanda, 2004). Admitindo-se que, para cada emprego no campo são gerados 3 empregos na cidade, seriam criados 180 mil empregos. Finalmente, é importante destacar que na agricultura empresarial emprega-se, em média, um trabalhador para cada 100 hectares cultivados, enquanto na agricultura familiar a relação é de 10 hectares por trabalhador.

A cada 1% de participação deste segmento no mercado de biodiesel, são necessários recursos da ordem de R\$ 220 milhões por ano, os quais proporcionam acréscimo de renda bruta anual ao redor de R\$ 470 milhões. Ou seja, cada R\$ 1,00 aplicado na agricultura familiar gera R\$ 2,13 adicionais na renda bruta anual, o que significa que a renda familiar dobraria com a participação no mercado de biodiesel.

A seguir, traça-se um breve panorama da produção doméstica de biodiesel, das vantagens comparativas e dos impactos sociais e econômicos regionais.

### **2.2.3 - Região Norte**

Nessa Região, caracterizada pela elevada dependência em relação ao óleo diesel para a alimentação de geradores estacionários, bem como de embarcações fluviais, o único empreendimento já registrado é o da Agropalma, uma grande empresa produtora de óleo de palma e que instalou unidade de esterificação de ácidos graxos, residuais no processo de refino do óleo. Essa planta, com capacidade para produção de 8 mil toneladas de biodiesel por ano, utiliza o etanol como reagente.

Desse modo, é pouco provável que a Região Norte consiga atingir a auto-suficiência até 2008, uma vez que a capacidade instalada atual atenderia a pouco mais de 10% do volume de biodiesel necessário, e a região consome pouco mais de 3 milhões de toneladas de óleo diesel por ano. Um desafio é a produção descentralizada de biodiesel, pela rota de craqueamento, para abastecimento direto das comunidades isoladas, que produziriam a matéria prima e efetuariam a transformação.

A Região Norte tem algumas características peculiares: detém a maior extensão territorial e possui grande parte do território coberta por floresta nativa. A exceção é o Estado de Tocantins, além das áreas de cerrado nos Estados de Rondônia, Pará e Roraima. A Amazônia concentra uma grande variedade de espécies nativas, inclusive palmáceas, que podem contribuir para a redução da dependência em relação ao diesel a partir da organização produtiva das comunidades locais, seja em regime de extrativismo simples ou de exploração agro-florestal. Além disso, a Região dispõe de uma área, já desmatada, superior a 5 milhões de hectares, com aptidão para o cultivo da palma africana ou dendê.

Destaque-se que o Estado do Pará é o maior produtor de óleo de palma, com produção anual de 100 mil toneladas, numa área cultivada de 50 mil hectares. Como boa parte dessas lavouras ainda não atingiu maturidade (começam a produzir a partir do quarto ano, mas atingem a maturidade a partir do sétimo, mantendo elevados níveis de produtividade até o décimo sétimo ano, com uma vida útil de aproximadamente 25 anos) a produtividade ainda é crescente e o potencial agrônomo é de até 40 toneladas de cachos por hectare, com um rendimento de 22% em óleo.

### **2.2.4 - Região Nordeste**

Essa região, responsável por aproximadamente 15% do diesel consumido no País, é caracterizada pelo pioneirismo nas iniciativas em relação ao biodiesel.

Atualmente, devido á conotação social dada ao programa, seu foco de produção tem sido a mamona. Isso se reflete nas plantas já instaladas (da NUTEC, em Fortaleza e da Brasil Biodiesel, em Teresina, ambas de natureza experimental, com capacidade diária de 800 litros e 2.000 litros, respectivamente), bem como nos projetos de produção comercial, com destaque para a planta da Brasil Biodiesel, localizada no município de Floriano, no Piauí.

A planta da Brasil Biodiesel, em fase final de instalação, terá a capacidade de processamento de 90.000 L/dia. Trata-se de um projeto ousado, especialmente pela falta de matéria-prima nas suas proximidades. A empresa instalou um assentamento modelo no município de Canto do Buriti, que fica a aproximadamente 225 quilômetros da unidade industrial. Esse assentamento poderá produzir até 14 mil toneladas de mamona por ano, equivalente a 25% da demanda da unidade industrial. O restante deverá ser adquirido de agricultores familiares da própria região.

Conjuntamente, deve ser considerado que a cotação internacional do óleo de mamona oscila em torno de US\$1000,00 /t, devendo haver um enorme incremento na oferta para reduzir o preço ao patamar dos demais óleos. Esse valor deriva dos múltiplos usos do óleo de mamona na indústria química.

Em 2005, ocorrerá a instalação de uma planta da Petrobras no município de Guamaré, no Rio Grande do Norte, com tecnologia desenvolvida pelo seu centro de pesquisas. Essa planta deverá ser a primeira experiência em escala comercial, de produção do biodiesel de mamona utilizando o etanol como reagente. Estima-se uma capacidade diária de 2 mil litros, o que atenderá à mistura dos 2% no Estado, bem como, nos municípios dos Estados vizinhos, atendidos pela mesma base de distribuição da BR.

A soma desses projetos totaliza uma produção potencial pouco superior a 27 milhões de litros por ano, o que permite a mistura de 2% em apenas um quarto do óleo diesel consumido na própria região. Apesar dos registros de grande expansão na área cultivada com mamona, onde se estima que chegue a mais de 600 mil hectares até 2007, e da própria possibilidade de contar com outras alternativas, como o óleo de soja do Oeste Baiano e sul do Piauí e Maranhão, tal como na Região Norte, deve ser feito um grande esforço para superar o déficit de capacidade de processamento.

A mamona consolidou-se como importante alternativa da região central do Estado da Bahia, hoje com uma área cultivada superior a 150 mil hectares e uma produção superior a 100 toneladas de baga, o que representa mais de 90% da produção nacional. Lavouras implantadas com a tecnologia recomendada pela Embrapa alcançam até 3 t/ha. Pela sua capacidade produtiva

no Semi-Árido, constituindo alternativa para os estabelecimentos de agricultura familiar, ela foi pensada como o carro chefe na fase inicial do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel, em sua vertente social.

Através do zoneamento agrícola, a Embrapa já mapeou mais de 600 mil hectares de terras aptas ao cultivo da mamona, o que pode representar uma alternativa para mais de 100 mil famílias de agricultores. Entretanto, tão importante quanto a aptidão agrônômica é a obediência a práticas de manejo, especialmente quando do plantio em sistema de consórcio, para reduzir o risco, diversificar as oportunidades e obter o máximo de fontes alimentares da própria lavoura.

Destaque-se que ainda são incipientes as pesquisas de novas variedades e de tecnologias de manejo (especialmente colheitadeiras, uma vez que ainda se usa a do milho, com algumas adaptações). Portanto, embora a mamona tenha sido vislumbrada como vetor de inclusão social no Semi-Árido, caso os produtores daquela região não sejam preparados para enfrentar um ambiente competitivo, poderão não suportar a concorrência da produção nas novas áreas, com um pacote tecnológico e capital intensivo.

Como o Estado do Maranhão situa-se na região de transição entre o Semi-Árido, o Cerrado e a Amazônia, apresenta potencial para alternativas perenes, cujo maior exemplo é o babaçu, estimando-se uma área superior a 18 milhões de hectares com esse planta, nativa da região. Embora o óleo seja de excelente qualidade, o babaçu tem como restrições o custo de extração, já que o óleo representa de 4 a 5% do fruto, o qual é envolto por uma casca muito dura, e o fato de a produção ainda ser baseada no extrativismo, com baixo padrão de organização.

### 2.2.5 - Centro-Sul

Embora a soja tenha potencial para oferecer todo o óleo necessário para até mesmo a mistura dos 5%, ela sofre restrições de natureza econômica. Estima-se que, nas condições atuais, o *break even* de neutralidade para destinação de óleo vegetal para o mercado nutricional ou para a produção de energia seja de US\$60,00/ barril de petróleo.

Essa preocupação quanto à competitividade é ainda maior na região, uma vez que os benefícios fiscais são menores. Em função disso, a Ecomat, localizada no Mato Grosso, e pioneira na produção de ésteres de óleo de soja para mistura do álcool ao diesel, ainda estuda com cautela a produção do biodiesel para o mercado interno. A sua capacidade instalada atual é de 26.666

litros por dia, mas pode ser ampliada num curto espaço de tempo. Também operam na região a Soyminas e a Biolix.

Além dessas unidades, há registro de que outras quatro (Adequim, no Mato Grosso; Ceralit, em Campinas – SP; Agrodiesel, em Iguatama – MG; e, Fusermann, em Barbacena – MG), todas com a tecnologia do grupo Biobras, aguardam autorização. Essas seis unidades, em plena operação, reunirão capacidade instalada para 65 milhões de litros/ano. Esses empreendimentos nasceram vislumbrando a possibilidade de utilização de alternativas como o nabo forrageiro, o girassol e a própria soja.

Entretanto, o maior empreendimento em curso fica no município de Charqueada, também em São Paulo, o qual deverá ter a capacidade de produção de até 300 mil toneladas por ano. Um dado preocupante em relação ao projeto, segundo relato dos diretores da empresa, é que atualmente a única matéria-prima que permite a produção do biodiesel a custos competitivos com o diesel de petróleo é o sebo bovino. Os empresários estão pensando em outras alternativas, em especial a borra do processo siderúrgico e a borra do refino do óleo de soja. O problema é que essas matérias-primas, tal como o próprio sebo, não têm mercados bem desenvolvidos, o que pode implicar o aumento dos riscos quanto ao seu fornecimento regular.

A empresa norte-americana Expoglobe International Inc. pretende instalar ainda este ano uma usina para a produção de 100 mil litros diários de biodiesel em Campo Largo - PR. Com um investimento de US\$ 6 milhões a empresa deverá utilizar girassol e etanol como matérias primas e tecnologia do Ladetel/USP. O principal produto a ser comercializado pela Expoglobe, será um aditivo que tem como matéria-prima o biodiesel e age aumentando o poder calorífico dos motores do ciclo diesel reduzindo o consumo de combustível.

Pode-se concluir que na Região Centro-Sul, apesar da maior necessidade de biodiesel e da maior diversidade de alternativas, o ambiente de incertezas, combinado com a insuficiência de incentivos fiscais sugerem sérias dificuldades para a ocupação da capacidade instalada dos projetos em curso, o que se refletirá em maiores dificuldades para fomentar a implantação de novos.

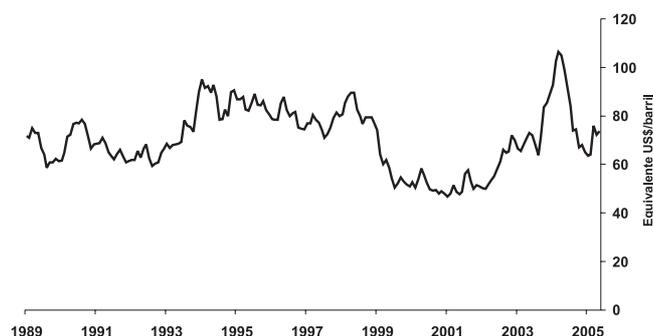
Do ponto de vista das alternativas para o biodiesel, a região também apresenta grande potencial para o amendoim, o girassol e a própria mamona, cujas experiências no Estado do Mato Grosso e as pesquisas do Instituto Agrônomo de Campinas vêm apresentando resultados satisfatórios, especialmente com as chamadas "variedades anãs", que além da alta produtividade de campo (até 4 toneladas de baga por hectare), podem ser colhidas mecanicamente.

Cabe destacar que essa região, especialmente os Estados do Centro-Oeste, dispõe de uma grande extensão de terras agricultáveis ainda livres, que têm como ponto positivo a maior regularidade climática. Significa que, o biodiesel se consolidando como novo negócio para a agricultura brasileira, o Centro-Sul, que já concentra quase 80% do consumo nacional de combustíveis, tem plenas condições de expandir sua base produtiva agrícola, com foco na auto-suficiência, tal como ocorreu com o álcool combustível.

## 2.2.6 - Competitividade

A **Figura 10** apresenta as cotações do mercado internacional de óleo de soja refinado, na unidade dólares americanos por barril, para permitir a comparação com o preço do petróleo. Verifica-se, nos últimos 15 anos, que o preço médio é de US\$69,00/barril, incorporando refinamento, frete internos e outros custos de comercialização. Considera-se que um deságio de US\$10,00 seria razoável para eliminar eventos na formação do preço do óleo de soja (comestível) não incidentes na cadeia de energia, ao tempo em que são agregados os custos de obtenção do biodiesel. Dessa forma, obtém-se um valor em torno de US\$60,00 para o barril de petróleo, em que a obtenção de biodiesel seria competitiva, postas as condições atuais de desenvolvimento tecnológico, capacidade gerencial, escala de produção, tamanho de mercado, instalações industriais, custos de capital e outros custos fixos, tributação, entre outras. Por comparação com a curva de aprendizagem no etanol, nos últimos 30 anos, infere-se que este valor possa ser reduzido de forma apreciável, no médio prazo.

Como referencial, um estudo da ABIOVE aponta o valor internalizado do biodiesel (antes da tributação) como sendo de US\$1,00/l, comparativamente a US\$0,97 do petrodiesel, sendo que o *break even* competitivo do biodiesel de soja ocorre com a cotação internacional do óleo de soja abaixo de S\$480,00/t, vigente na safra 2005, o que equivale ao câmbio de 21/7/2005, a R\$1,20/L.



**Figura 10.** Cotação de Mercado do óleo de soja.

Fonte: Abiove.

## 2.2.7 - Perspectivas de mercado

A atual estrutura nacional de produção de biodiesel pode ser caracterizada como incipiente e fortemente baseada em experiências com plantas-piloto, o que resulta num volume de produção bastante reduzido. A ANP estima que o potencial de produção atual situa-se ao redor de 176 milhões de litros anuais de biodiesel (B100), considerando a capacidade instalada declarada pelas empresas produtoras já licenciadas. N de janeiro a o período de janeiro a julho de 2005, a produção nacional atingiu 70.200 L.

Até o momento, o país conta com apenas 12 plantas produtoras, das quais 5 já estão autorizadas a produzir comercialmente – Soyminas (Cássia/MG), Brasil Biodiesel (Floriano e Teresina/PI), Agropalma (Belém/PA) e Biolix (Rolândia/PR) – e 7 estão em processo de autorização – Adequim (Dom Aquino/MT), Cebracom (São Paulo/SP), ECOMAT (Cuiabá/MT), Fertibom (Catanduva/SP), Biodiesel Sul (Içara/SC), Petrobrás (Guamaré/RN) e NUTEC (Fortaleza/CE). A relação das empresas produtoras e suas respectivas capacidades instaladas são apresentadas na **Tabela 12**.

Em relação às rotas utilizadas na produção de biodiesel, observa-se que no Nordeste e em Minas Gerais a preferência tem recaído sobre a metílica, em conjunto com o óleo de mamona, enquanto no Centro-Sul a opção principal

**Tabela 12.** Empresas produtoras e capacidade instalada.

Empresa	Capacidade(1000 L.dia-1)
Cebracom	500.000
Brasil Biodiesel (Floriano)	90.000
Soyminas	40.000
Biolix	30.000
Agropalma	27.000
Ecomat	26.666
Adequim	20.000
Fertibom	13.255
Biodiesel Sul	3.000
Brasil Biodiesel (Teresina)	2.000
NUTEC	800
Petrobrás	n/d
Total	752.721

Fonte: Nogueira, L. A. H. et al. Agência Nacional de Energia Elétrica. Adaptado pelo DPA/MAPA

tem sido a etílica, em virtude, principalmente, da grande disponibilidade de etanol na região.

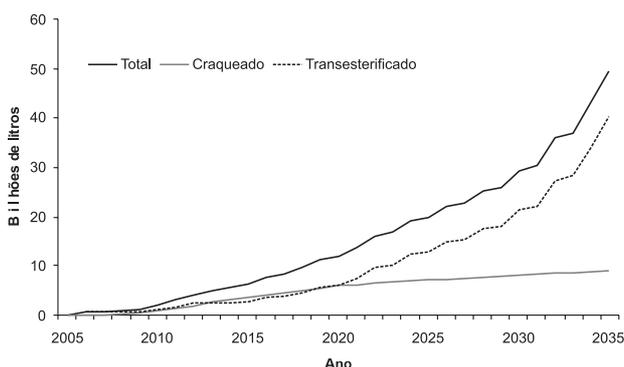
O atual nível de produção constitui um grande desafio para o cumprimento das metas estabelecidas no âmbito do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel, que necessitará de, aproximadamente, 750 ML em sua fase inicial. Ou seja, a capacidade produtiva atual supre somente 17% da demanda, considerando a mistura B2. Porém, com a aprovação das usinas cuja solicitação tramita na ANP, a capacidade de produção coincide com a demanda prevista para 2006. Esta capacidade terá que ser triplicada até 2012, com a necessidade de adição de 5% de biodiesel ao petrodiesel.

O biodiesel será um importante instrumento de geração de renda no campo. No Semi-Árido, por exemplo, a renda anual líquida de uma família a partir do cultivo de cinco hectares com mamona e uma produção média entre 700 e 1,2 mil quilos por hectare, pode variar entre R\$ 2,5 mil e R\$ 3,5 mil. Além disso, a área pode ser consorciada com outras culturas, como o feijão e o milho. Levantamentos indicam que, na safra 2004/05, 84 mil hectares serão cultivados com oleaginosas por agricultores familiares para a produção de biodiesel, dos quais 59 mil estão localizados no Nordeste. O cultivo da área total envolve 33 mil famílias, das quais 29 mil do Nordeste.

A fim de conferir uma dimensão à perspectiva de expansão da produção de biodiesel no Brasil, foram efetuadas projeções para o período 2005 – 2035. Foram considerados os seguintes parâmetros básicos para efetuar a projeção:

- a. Taxa geométrica de crescimento do consumo de óleo diesel ou sucedâneos de 3,5% a.a.;
- b. Mistura de biodiesel ao óleo diesel iniciando em 2% e finalizando em 40%;
- c. Produtividade de óleo iniciando em 600 kg/ha e finalizando em 5.000 kg.ha<sup>-1</sup>;
- d. Considerou-se grande usina aquela que processa acima de 100 kt.ano<sup>-1</sup>;
- e. Parcela da produção alocada a grandes usinas de 80 %;
- f. Craqueadores instalados em pequenas comunidades ou propriedades rurais atingindo 100.000 no final do período, com produção média de 250 L.dia<sup>-1</sup>;

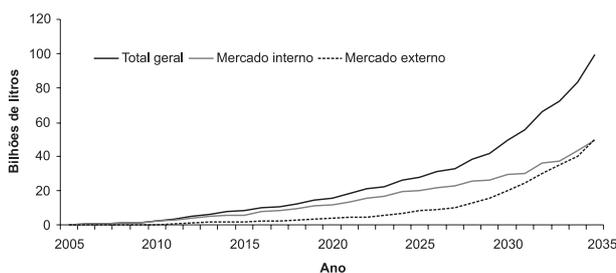
A **Figura 11** mostra que o Brasil poderá produzir, apenas para o mercado interno, um volume aproximado de 50 GL, sendo a maior parcela produzida por transesterificação (80%) e o restante por craqueamento. A produção por transesterificação atenderá o grande mercado atacadista, direcionado à mistura com petrodiesel, o abastecimento de frotistas ou de consumidores interessados em aumentar a proporção de biodiesel no petrodiesel.



**Figura 11.** Estimativa da produção de biodiesel para consumo interno.

Fonte: Elaboração D. L. Gazzoni

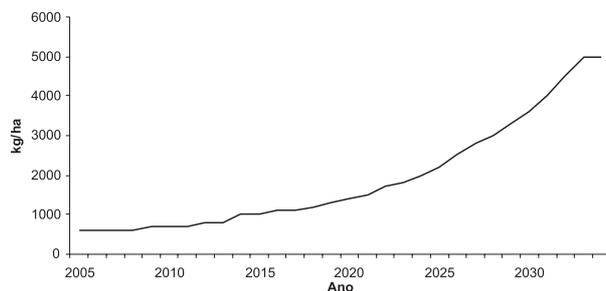
Estima-se que a produção de biodiesel para os mercados externos e internos, no final do período, será equivalente (**Figura 12**). Entretanto, nos primeiros 10 anos, o mercado interno absorverá a totalidade da produção. No conjunto do mercado interno e externo, a rota de transesterificação etanólica responderá por 90% do total do biodiesel produzido. Nesse cenário, no final do período, haverá uma demanda de 6 GL de etanol e uma produção 4Mt de glicerol, evidenciando o potencial de integração de cadeias com a produção de biodiesel.



**Figura 12.** Estimativa da produção total de biodiesel.

Fonte: Elaboração D. L. Gazzoni

Para produzir a matéria prima necessária para atender a indústria de biodiesel, impõe-se um dramático investimento em PD & I, de maneira a promover um adensamento energético das espécies oleaginosas (**Figura 13**).

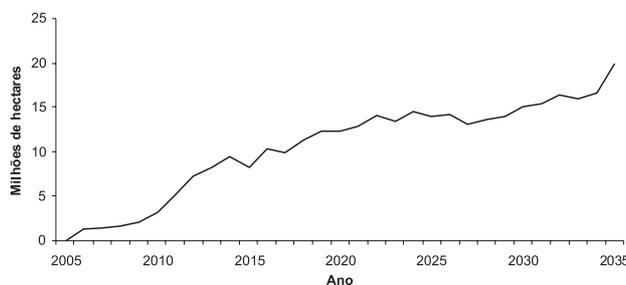


**Figura 13.** Estimativa da produtividade de óleo.

Fonte: Elaboração D. L.. Gazzoni

O cenário pressupõe que, ao final do período, a média de produtividade será de  $5 \text{ t.ha}^{-1}$ , em oposição aos  $600 \text{ kg.ha}^{-1}$  atuais. evolução ocorrerá, inicialmente, por melhoria nos sistemas de produção, aumento de produtividade e de teor de óleo das oleaginosas atuais. Entretanto, no médio e longo prazo, o incremento ocorrerá por incorporação de novas oleaginosas, mormente palmáceas tropicais, com alta capacidade de produção de óleo por unidade de área.

Atendida a premissa de aumento da densidade energética, diminuirá a pressão relativa por incorporação de novas áreas, de maneira que, ao final do período, serão demandados menos de 20 Mha (**Figura 14**), inclusas as áreas para produção comunitária e autoconsumo.

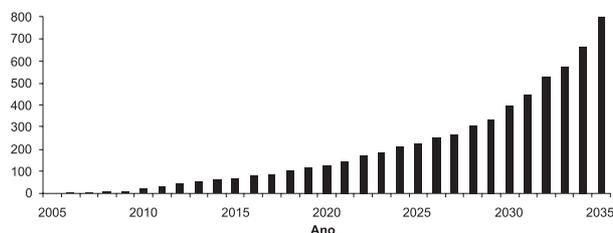


**Figura 14.** Estimativa da área de oleaginosas para produção de biodiesel.

Fonte: Elaboração D. L.. Gazzoni

O parque de usinas produtoras de biodiesel será composto de pequenas, grandes e médias unidades. As pequenas unidades serão vocacionadas ao atendimento da demanda localizada, enquanto as médias e grandes atenderão o mercado atacadista e a exportação. Pelas condições expostas anteriormente, estima-se que, no final do período, o Brasil contará com mais de 900 grandes

usinas (Figura 15), com capacidade de produção de biodiesel superior a 100 kt.ano<sup>-1</sup>.



**Figura 15.** Demanda de grandes plantas industriais de produção de biodiesel.

Fonte: Elaboração D. L.. Gazzoni

## 2.3 Biomassa florestal

### 2.3.1 - Considerações gerais

As variações no consumo de energia de madeira (em forma de lenha bruta e resíduos) estão fortemente associadas ao grau de desenvolvimento do país (Tabela 13). Seu uso é especialmente comum em áreas rurais dos países em desenvolvimento, sendo responsável pela quase totalidade da energia consumida no lar. Normalmente, o seu consumo ocorre, em sua quase totalidade, no local de produção. Já o carvão vegetal é mais consumido nas áreas urbanas e suburbanas das cidades, demandando cerca de 6m<sup>3</sup> de madeira para a produção de uma tonelada de carvão. Assim, incorrem custos de transporte tanto da matéria prima quanto do carvão, de processamento e de estocagem.

**Tabela 13.** Energia produzida exclusivamente a partir da madeira (não computa o licor) (1999).

Região	mtep	%
África	141,1	29,9
América do Norte	38,5	8,1
América do Sul	37,7	8,0
Ásia	216,1	45,8
Europa	34,9	7,4
Oriente Médio	0,2	0,0
Oceania	3,8	0,8
Mundo	472,3	100,0

Fonte: IEA Statistics

### 2.3.2 - Indicadores de produção e produtividade

O consumo mundial de madeira atingiu  $3,3 \times 10^9$  m<sup>3</sup>/ano, em meados dos anos 90. A área florestal no mundo era de  $3,4 \times 10^9$  ha em 1995, o que correspondeu a 27% da superfície terrestre, excluindo Groenlândia e Alasca, sendo que o Brasil detinha 16% das florestas. A área dobrou entre 1980 e 1995 (de  $40,2 \times 10^6$  ha para  $81,2 \times 10^6$  ha).

No Brasil, o consumo de madeira é de  $300 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/ano, sendo cerca de  $100 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/ano de florestas plantadas para uso industrial. Em 2001, o consumo industrial foi estimado em  $166 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/ano. Este total compreende 32 m<sup>3</sup> para papel e celulose, 45 m<sup>3</sup> para carvão vegetal; 29 m<sup>3</sup> para lenha industrial; e 60 m<sup>3</sup> para produtos sólidos (serrados, laminados, painéis etc).

No Brasil, a participação das florestas plantadas cresceu sensivelmente nos últimos anos. No segmento de papel e celulose, 100% da madeira provém do reflorestamento. Para a indústria de carvão vegetal a área de florestas plantadas cresceu de 34% (1990) para 72% (2000). No setor de produtos sólidos de 28% (1990) para 44% (2000). Estima-se em  $6,4 \times 10^6$  ha a área de florestas plantadas no Brasil, sendo  $4,8 \times 10^6$  ha de Eucaliptos e Pinus, com cerca de  $2,6 \times 10^6$  ha adicionais de florestas nativas intercaladas.

Em 2000 a produtividade média de eucalipto, em São Paulo, foi de 36 m<sup>3</sup>/ha.ano. Para 3 ciclos de 6 anos, atingiu 44,8 m<sup>3</sup>/ha.ano. Estimativas indicam médias, para o futuro próximo, de 50 - 60 m<sup>3</sup>/ha.ano.

Os custos de florestas energéticas no estado de São Paulo são de US\$ 1,16/GJ para a situação hoje (com 44,8 m<sup>3</sup>/ha.ano, e 21,4 km de média de transporte) e de US\$ 1,03 no futuro (com 56 m<sup>3</sup>/ha.ano, mesma distância). Estes valores dão uma idéia das vantagens comparativas do Brasil, vez que os parâmetros de campo do Brasil, em 2000, representam o ponto futuro projetado para o hemisfério norte, no ano de 2020.

Todo o desenvolvimento na área, para celulose e papel, leva a uma condição excepcionalmente vantajosa para o Brasil na exploração também de energia de florestas. O uso energético no Brasil durante 2000 foi de 21,4 Mtep de lenha (aproximadamente  $140 \times 10^6$  m<sup>3</sup>) com a seguinte distribuição: carvão vegetal: 36%, energia elétrica: 0,5%; doméstico: 31%; indústria: 25%; agropecuária: 7,5%.

O consumo industrial de lenha para energia concentra-se na agro-indústria localizada no meio rural, na secagem de grãos, chá ou tabaco, na produção de tijolos e na indústria cerâmica. Este uso responde por 10-20% da energia de madeira obtida na Ásia, sendo de 9,5% para a África. Na forma de carvão, existe um uso em indústrias de maior porte. No Brasil, estima-se um consumo anual de 6 milhões de toneladas de carvão vegetal, especialmente na indústria do aço e de outras ligas metálicas.

O uso extensivo da energia da madeira, incluindo o carvão, deve-se ao seu baixo custo e à sua acessibilidade, em especial nas áreas rurais. Normalmente, é um processo explorativo, em que não os custos de produção ou processamento são negligíveis. A preferência pelo carvão é explicada pela sua facilidade de transporte e de combustão.

O Brasil pode ser um dos beneficiários desta oportunidade de aproveitamento de madeira para fins energéticos, posta suas vantagens comparativas de extensão de área, clima adequado, mão de obra farta e experiência no ramo. É necessário atentar para a necessidade de investimento no desenvolvimento tecnológico, para atender a quesitos ambientais, econômicos, negociais e logísticos. Estima-se que, em 1998, 3,2 bilhões de m<sup>3</sup> de madeiras foram produzidos em todo o mundo, mais de 50% sendo destinado à obtenção de energia. Lentamente, a extração de madeira migra das florestas nativas para as áreas reflorestadas, como é o caso de alguns países asiáticos, que ameaharam fama mundial de derrubadores de florestas. Existem algumas grandes áreas de reflorestamento espalhadas pelo mundo, como é o caso da China, que estimulou projetos de reflorestamento energéticos da ordem de 13,5 milhões de hectares, com início de produção comercial prevista para 2010.

### 2.3.3 - Perspectivas

O Relatório Especial sobre os Cenários de Emissões, do Painel para a Mudança Climática (IPCC) estima que o maior potencial em energia renovável, no médio prazo (2025) seja proveniente do desenvolvimento de biomassa moderna (70 a 140EJ), seguido pela energia solar (16-22EJ) e eólica (7-10EJ). O conceito de biomassa moderna incorpora tanto a madeira na forma de briquetes, como carvão e licor negro. No longo prazo, a contribuição de energias renováveis é estimada em 1.300EJ/ano, metade do que será obtido diretamente da energia solar (2.600EJ/ano).

Enquanto a principal limitação para o aproveitamento da energia solar é a tecnologia que viabilize, economicamente, sua obtenção e estocagem, no caso da agricultura de energia acredita-se que haverá um limite máximo de sua expansão, devido à competição pela produção de alimentos. Neste caso, o ganho de produtividade terá que ocorrer tanto na agricultura de alimentos e fibras, quanto na de energia, para que a disputa por área possa ser impelida para um futuro em que outras fontes renováveis de energia hajam sido viabilizadas.

De acordo com a FAO, a área brasileira de florestas ascende a 5,3 milhões de km<sup>2</sup>, cerca de dois terços da área do país, sendo a segunda maior do mundo,

após a Federação Russa. A produção de energia a partir de madeira tem declinado consistentemente, nos últimos anos. Estima-se que a extração de madeira reduziu-se em 35% nos anos 90, partindo de 106 milhões de toneladas para estabilizar-se em 69,5 milhões de toneladas ao ano, em especial devido ao menor consumo de carvão vegetal. Estima-se existirem no Brasil cerca de 3 milhões de hectares de eucaliptos, destinados primariamente à produção de carvão. Com uma eventual retomada do mercado de biomassa florestal, dado o longo tempo de maturação dos projetos de reflorestamento, estima-se que haverá um déficit de oferta madeireira, na próxima década, no Brasil.

A queda foi observada no consumo residencial (47%), na indústria (39%), na agricultura (13%) e no comércio (1%). Em 1999, enquanto 25 milhões de toneladas de madeira foram transformadas em carvão, apenas 0,5 milhões de toneladas foram usadas para geração de energia elétrica. O uso industrial de madeira no Brasil se dirige especialmente para a produção de alimentos e bebidas, cerâmica e indústria de papel.

O setor rural é o maior consumidor de biomassa para energia. Estima-se que o consumo per capita rural atual seja de 1 tonelada/ano (15GJ), enquanto nas áreas urbanas o valor cai para 50% deste consumo. Um dos conceitos vigentes para subdividir a energia de biomassa é separar a madeira de "outras biomassas que não madeira", também excluídos os cultivos para fins energéticos, como a produção de biocombustíveis.

A biotecnologia terá um papel relevante para solucionar esta questão, adaptando os cultivos energéticos a estas adversidades. E, tanto a biotecnologia como outros ramos da ciência agrônômica, deverão auxiliar a aumentar a produtividade física por hectare, a maior densidade de elementos energéticos (celulose, açúcar, amido, óleos vegetais, etc). Também dependerá de inovações tecnológicas a melhoria do processamento e o aumento da eficiência das fontes energéticas.

#### **2.3.4 - Carvão Vegetal**

No Brasil, em 2000, 9% do carvão vegetal foi usado em residências (cocção) e 86% em indústrias, a maior parte na produção de ferro gusa. Do total de 21,2 Mtep (~69.5 Mt) de lenha usada para energia no país, 7,8Mtep foram destinadas à produção de carvão vegetal. As políticas para a redução de importação de coque e carvão mineral fizeram a produção de carvão vegetal crescer muito nos anos 80, atingindo o pico em 1989 (40% da produção de ferro gusa). Em seguida as facilidades para importação de coque e uma política ambiental severa de restrição ao uso de florestas nativas para carvão vegetal levaram a que apenas 25% do gusa utilizasse carvão vegetal em 1998.

As tendências nos últimos anos indicam que a produção a partir de florestas nativas (80% nos anos 80) caiu rapidamente para os limites legais de 10%: em 1997 atingiu 13% do carvão para a indústria do aço, e em 2002, 28% de todo o carvão vegetal. A tecnologia começou a evoluir dos tradicionais fornos "rabo quente" para fornalhas retangulares e processos muito mais eficientes estão sendo gradualmente adotados, sendo que o uso de florestas plantadas reduz os custos de transporte.

O interesse na siderurgia a carvão vegetal renovou-se com as perspectivas do uso do MDL para premiar a produção de "aço verde". Buscam-se tecnologias mais limpas e eficientes, incluindo a utilização de sub -produtos (do alcatrão e dos gases efluentes). Estima-se que a produção de gusa hoje (27 milhões t) necessitaria de 17,5 milhões t de carvão vegetal, com uma área plantada de 3,3 milhões de ha.

## **2.4 - Biogás**

### **2.4.1 - Considerações gerais**

O biogás é um combustível gasoso com um conteúdo energético elevado semelhante ao gás natural, composto, principalmente, por hidrocarbonetos de cadeia curta e linear. Pode ser utilizado para geração de energia elétrica, térmica ou mecânica em uma propriedade rural, contribuindo para a redução dos custos de produção. No Brasil, os biodigestores rurais vêm sendo utilizados, principalmente, para saneamento rural, tendo como subprodutos o biogás e o biofertilizante.

O desenvolvimento de tecnologias para o tratamento e utilização dos resíduos é o grande desafio para as regiões com alta concentração de produção pecuária, em especial suínos e aves. De um lado a pressão pelo aumento do número de animais em pequenas áreas de produção, e pelo aumento da produtividade e, do outro, que esse aumento não provoque a destruição do meio ambiente. A restrição de espaço e a necessidade de atender cada vez mais as demandas de energia, água de boa qualidade e alimentos, têm colocado alguns paradigmas a serem vencidos, os quais se relacionam principalmente à questão ambiental e a disponibilidade de energia (Oliveira,2003; Santos,2001).

O aspecto energia é cada vez mais evidenciado pela interferência no custo final de produção sendo, tanto para a suinocultura como para a avicultura, uma vez que as oscilações de preço podem reduzir a competitividade do setor.

Ressalta-se que a recente crise energética e a alta dos preços do petróleo tem determinado uma procura por alternativas energéticas no meio rural (Lucas Junior, 1994).

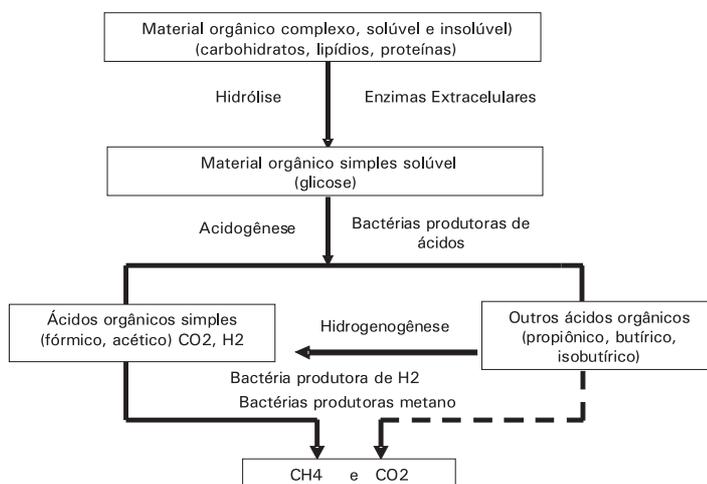
O processo de digestão anaeróbia (biometanização) consiste de um complexo de cultura mista de microorganismos, capazes de metabolizar materiais orgânicos complexos, tais como carboidratos, lipídios e proteínas para produzir metano ( $\text{CH}_4$ ) e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e material celular (Lucas Junior, 1994; Santos, 2001). A digestão anaeróbia, em biodigestores, é o processo mais viável para conversão dos resíduos de suínos e aves, em energia térmica ou elétrica.

A presença de vapor d'água,  $\text{CO}_2$  e gases corrosivos no biogás *in natura*, constitui-se o principal problema na viabilização de seu armazenamento e na produção de energia. Equipamentos mais sofisticados, a exemplo de motores a combustão, geradores, bombas e compressores têm vida útil extremamente reduzida. Também controladores como termostatos, pressostatos e medidores de vazão são atacados reduzindo sua vida útil e não oferecendo segurança e confiabilidade. A remoção de água,  $\text{CO}_2$ , gás sulfídrico, enxofre e outros elementos através de filtros e dispositivos de resfriamento, condensação e lavagem é imprescindível para a confiabilidade e emprego do biogás.

#### 2.4.2 - Biodigestores

O processo de biometanação envolve a conversão anaeróbica de biomassa em metano. A decomposição biológica da matéria orgânica compreende quatro fases: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese. Esta conversão do complexo orgânico requer uma mistura de espécies bacterianas, as quais podem depender de cada uma para seu crescimento e ocorrer, pela seqüência de quatro reações: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese. Dependendo da temperatura que o processo está acontecendo, o tratamento de resíduos orgânicos é basicamente de três tipos. A biometanação com temperatura entre 45 – 60°C é considerada termofílica, a que ocorre entre as temperaturas de 20 – 45°C é a mesofílica. A digestão anaeróbia de matéria orgânica em baixas temperaturas (>20°C) são referidas como digestão psicofílica.

A conversão anaeróbica produz quantidade relativamente pequena de energia para os microorganismos, por isso, as suas velocidades de crescimento são pequenas e apenas uma pequena porção do resíduo é convertida em nova biomassa celular. Um esquema simplificado (**Figura 16**), representando as etapas metabólicas, é mostrado no diagrama abaixo (Santos 2001).



**Figura 16.** Etapas metabólicas do processo de digestão anaeróbia em biodigestores.

O tratamento de dejetos por digestão anaeróbia segundo Sánchez, et al. (2005), possui várias vantagens, tais como destruir organismos patogênicos e parasitas, o metano pode ser usado como uma fonte de energia, produção de baixa biomassa determina menor volume de dejetos e menor custo, capacidade de estabilizar grande volumes de dejetos orgânicos diluídos a baixo custo.

## 2.4.3 - Utilização do biogás para suínos e aves

### 2.4.3.1 – Aproveitamento de dejetos da suinocultura

#### Suinocultura

A atividade da suinocultura no Brasil tem apresentado um significativo crescimento, havendo a concentração do lançamento dos resíduos em determinadas regiões, o que traz grande preocupação quanto à degradação ambiental e os conseqüentes prejuízos à qualidade de vida das pessoas. No ano de 2004, o plantel brasileiro era de 34 milhões de cabeças, presente em todas as regiões brasileiras, sendo que a maior concentração de animais está na região Sul (34,21%), seguido da região Nordeste (23,03%), Sudeste (18,95%), Centro-oeste (16,18%) e Norte (7,63%) (ABCS, 2004).

A busca por tecnologias que colaborem para a redução da poluição ambiental tem sido objeto de estudo nos mais variados segmentos,

principalmente, na área produtiva, com vistas à melhoria da qualidade de vida da população. Em função da própria legislação, são crescentes as exigências quanto aos critérios de manejo de dejetos, tornando-se significativamente mais rigorosas e acarretando elevados custos aos produtores. Dessa forma, torna-se imperiosa a evolução nos processos de tratamentos de resíduos que conduzam a uma redução do custo dos mesmos, tornando-os acessíveis aos suinocultores.

Como forma de compatibilizar uma ação ambiental, redutiva de emissões de efluentes e de gases, com uma alternativa ao suinocultor que conduza a uma viabilização da implantação do biodigestor, empresas renomadas e de caráter inovador estão construindo biodigestores para o suinocultor, em troca dos créditos de carbono a serem gerados com a implantação do mesmo. Estima-se que mais de 70 biodigestores recentemente foram construídos nessas condições e, mais 320 estão em construção, nos Estados de Minas Gerais, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Santa Catarina e Goiás.

Os dejetos de suínos, quando submetidos à digestão anaeróbica em biodigestores, perdem, exclusivamente, carbono na forma de  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$  (diminuindo a relação C/N da matéria orgânica), o que resulta em um resíduo final mais apropriado para uso como adubo orgânico, em função da mineralização do nitrogênio e da solubilização parcial de alguns nutrientes (Scherer et al., 1996).

Os suínos são animais homeotérmicos, capazes de regular a temperatura corporal. No entanto, o mecanismo de homeostase, é eficiente somente quando a temperatura ambiente está dentro de certos limites. Portanto é importante que as instalações tenham temperaturas ambientais próximas às das condições de conforto dos suínos. Nesse sentido, o aperfeiçoamento das instalações com adoção de técnicas e equipamentos de condicionamento térmico ambiental tem superado os efeitos prejudiciais de alguns elementos climáticos, possibilitando alcançar bom desempenho produtivo dos animais, (Sousa, 2002). A **Tabela 14** mostra as temperaturas desejáveis do ambiente interno das instalações.

#### **2.4.3.2 – Aproveitamento de dejetos da avicultura**

A cama de aviário está sendo produzida em grande quantidade, devido ao crescente aumento da avicultura de corte nos últimos anos. Este crescimento da produção tem como uma de suas bases a alta tecnificação dos galpões, o que significa maior dependência energética e econômica destes sistemas. A biodigestão, ou digestão anaeróbica, se mostra como uma boa alternativa para

**Tabela 14.** Temperaturas de conforto e críticas, inferior e superior, para diferentes categorias de suínos.

<b>Categoria</b>	<b>T conforto (°C)</b>	<b>T crítica inferior (°C)</b>	<b>T crítica superior (°C)</b>
Recém-nascidos	32-34	-	-
Leitões até a desmama	29-31	21	36
Leitões desmamados	22-26	17	27
Leitões em crescimento	18-20	15	26
Suínos em terminação	12-21	12	26
Fêmeas gestantes	16-19	10	24
Fêmeas em lactação	12-16	7	23
Fêmeas vazias e machos	17-21	10	25

Fonte: PERDOMO et.al. (1984).

o tratamento da cama. Os subprodutos, biogás e o biofertilizante possuem alto valor como fontes energéticas e nutricionais para as plantas, respectivamente, podendo ser substitutos de insumos adquiridos pelo avicultor.

As aves são animais homeotérmicos, capazes de regular a temperatura do corporal. São também consideradas como uma “bomba térmica” de baixa eficiência porque 80% da energia ingerida é utilizada para a manutenção da homeotermia e apenas 20% é utilizada para a produção (Abreu, 2004). Em aves a termotolerância varia em função da idade (idade/peso do animal). Algumas condições básicas devem ser observadas para um ótimo conforto térmico e bem-estar do ponto de vista fisiológico das aves: considerar que existe um balanço calórico entre as aves e o meio ambiente; estabelecer uma importante relação entre a temperatura média da pele e a atividade da ave na zona de conforto e estabelecer a perda de água por evaporação e a atividade da ave na zona de conforto (**Tabela 15**).

**Tabela 15.** Valores de temperatura crítica inferior (TCI), zona de conforto térmico (ZCT) e temperatura crítica superior (TCS), de acordo com as fases das aves.

<b>Fase</b>	<b>TCI (°C)</b>	<b>ZCT (°C)</b>	<b>TCS (°C)</b>
Recém-nascido	34	35	39
Adulta	15	18-28	32

Fonte: CURTIS, (1983)

#### **2.4.3.3 - Aproveitamento da vinhaça**

A produção de gás pela biodigestão da vinhaça em usinas de açúcar/álcool, ou destilarias autônomas, tem sido objeto de estudos e tentativas de viabilização comercial há várias décadas, porém, só recentemente, surgiu o interesse de usar o biogás para geração de energia elétrica. Tecnicamente, a tecnologia já alcançou um grau de maturidade razoável devido às sucessivas experiências em escala de demonstração. Ainda permanecem algumas incertezas tais como os efeitos corrosivos do biogás nos equipamentos auxiliares e motores geradores e a estabilidade da biodigestão frente às flutuações na quantidade e qualidade da vinhaça processada. Estes problemas potenciais, que podem causar impactos negativos para o futuro comercial da tecnologia, só poderão ser realmente avaliados e resolvidos com a operação de algumas unidades.

Por isso, antes de entrar em escala comercial, seria conveniente a implantação de algumas unidades piloto, onde recursos de P & D pudessem ser aplicados para diminuir os riscos financeiros, dentro de uma escala razoável. Devido ao potencial de geração de excedentes, estimados neste estágio em 20 kWh/t cana (considerando 180 milhões de toneladas de cana para álcool resulta no potencial para o Brasil de 3,6 TWh/ano) a introdução comercial da tecnologia de biodigestão da vinhaça e uso do biogás em motores geradores de energia elétrica deve ser feita com cuidado.

É importante lembrar que existem, nos países desenvolvidos, inúmeras plantas de geração de eletricidade a partir de biogás, proveniente da biodigestão anaeróbica de outros substratos, como efluentes industriais e dejetos animais. A experiência operacional destas plantas poderia ser bem aproveitada para melhorar a confiabilidade técnica e econômica das futuras plantas de geração com biogás da vinhaça.

#### **2.4.3.4 - Geração de energia elétrica**

A avicultura e a suinocultura brasileira tem se destacado pelo alto nível tecnológico e pela posição de destaque que o país ocupa entre os exportadores de carne de aves e suínos. Entretanto, as condições climáticas, principalmente nas regiões sul e sudeste, têm contribuído para alterar significativamente o consumo energético para o aquecimento dos animais jovens nos primeiros dias de alojamento.

Atualmente, estes sistemas são constituídos por campânulas a gás (GLP), elétricas e lâmpadas infravermelhas ou incandescentes. Todos estes sistemas

de aquecimento utilizam fontes de energia não renováveis e com custos elevados para o produtor. O consumo médio de energia elétrica em granjas de frangos de corte é de 2.169 kWh /granja /mês, segundo a CEMIG-MG, sem considerar o uso da energia elétrica no aquecimento das aves. Porém, considerando-se o uso de campânulas elétricas no aquecimento dos pintos (1.000 W p/a cada 500 pintos) durante os primeiros 21 dias este consumo se eleva para 16.128 kWh.

O consumo médio de gás (GLP) usado em campânulas para o aquecimento dos pintos em aviários com 16.000 frangos (12 x 100 m), no inverno na região sul é em torno de 546 kg (42 butijões de 13 kg), o que corresponde a R\$ 1.260,00 (42 x 30,00) por lote de frangos alojados, totalizando em 7 lotes anuais R\$ 8.820,00 (custo do butijão de GLP, em outubro de 2004, R\$ 30,00).

Souza (2001) também observou, ainda, que o percentual de energia usada no aquecimento do substrato é muito alto, sendo possível melhorar em muito a eficiência do sistema, de forma que a produção líquida de biogás seja utilizada simultaneamente para outros fins. Considerando a produção líquida de metano do biodigestor, para atender a 10 animais, não há condições para que se utilize um sistema de aquecimento do substrato, como o que foi idealizado para esse tamanho de rebanho. Para o rebanho de 50 animais, já ocorre excedente de biogás para aquecimento até 29°C, com o sistema idealizado; para 100 animais, até 37°C, e para 1.000 animais, foi possível aquecer até 40°C, com folga no excedente de biogás. Para 100 animais, a produção líquida de biogás foi máxima na temperatura de 29°C e para 1000 animais, na de 36°C.

## **2.5 - Uso dos resíduos agropecuários e florestais**

### **2.5.1 – Considerações gerais**

Não é fácil estimar o potencial energético dos resíduos, devido à precariedade das estatísticas e às variações regionais. Mesmo assim, o estudo de Woods & Hall (1994) aponta para valores próximos a 93EJ/ano. O valor é próximo do estimado por Smil (1999), que concluiu existirem entre 3,5 e 4 bilhões de toneladas de resíduos agrícolas, com um potencial energético de 65 EJ, equivalendo a 1,5 Gtoe. Hall et al (1993) estimou que apenas nos principais cultivos (trigo, arroz, milho, cevada e cana-de-açúcar) é possível recuperar 25% de resíduo em forma de energia, gerando 38 EJ e evitando a emissão de 350-460 Mt de CO<sub>2</sub>, por ano.

O uso energético dos resíduos competirá, no futuro, com outros usos, como o preparo de cama para criação animais, adubação orgânica, controle de erosão, alimentação de animais, etc. Também será necessário consolidar o conceito de resíduo sob a óptica da sustentabilidade da exploração, ou seja, não retirar do local de produção da biomassa excesso de matéria orgânica, que venha a depauperar o solo e prejudicar futuras explorações.

De outra parte, o aproveitamento atual dos resíduos é inapropriado, causando problemas ambientais e de saúde pública. Por exemplo, Andreae (1991) estimou que 2 Gt de resíduos agrícolas são queimados anualmente, sem qualquer aproveitamento. Smil (1999) estima que entre 1 e 1,4 Gt de resíduos são queimados, gerando 1,1-1,7 Gt de CO<sub>2</sub>/ano. Os autores referem que o potencial estimado de resíduos agrícolas, se utilizado para geração de eletricidade, permitiria produzir 4,5 GW.

### 2.5.2 - Potencial energético

Os resíduos que se mostram mais apropriados para pronto aproveitamento são aqueles gerados no cultivo da cana-de-açúcar, da indústria de papel e celulose e a serragem e gravetos da indústria madeireira e moveleira. Mais de 300 Mt de bagaço de cana são produzidos anualmente no mundo, em sua maior parte utilizados para produção de energia local, nas usinas produtoras de açúcar e álcool.

Um estudo de Larson & Kartha (2000) mostra que, em países em desenvolvimento, a energia gerada pelos resíduos da cultura da cana, descontada a parcela utilizada na obtenção de álcool e açúcar, pode significar entre 15% e 20% do consumo de energia destes países, em 2025, o cerca de 1200 TWh/ano, sobre uma oferta total de 1.100 TWh/ano. São estes números que apontam para a necessidade do investimento em PD&I e no fomento ao empreendedorismo em formas não convencionais de obtenção de agroenergia.

Os resíduos florestais, obtidos a partir de um manejo correto dos projetos de reflorestamento, pode incrementar a produtividade energética futura das florestas. Também neste campo as estatísticas são deficientes, devido à diversidade regional, faunística, tecnológica, edáfica e climática. Entretanto, Woods & Hall (1994) estimam em 35 EJ/ano (10GW) o potencial energético dos resíduos da extração florestal, no mundo. Parcela ponderável deste resíduo é obtido de forma consolidada, nas plantas de processamento de madeira ou de obtenção de celulose e papel. No caso brasileiro, estima-se que a indústria de celulose e papel gere aproximadamente 5 Mtoe de resíduos sem

aproveitamento energético. Entretanto, boa parte dos resíduos permanece no campo, na forma de galhadas e restos de tronco, após o corte das árvores, necessitando de profundos estudos para viabilizar seu aproveitamento energético.

O potencial dos resíduos da produção animal é estimado por Woods & Hall (1994) em 20 EJ/ano, em todo o mundo. Entretanto este valor não deve ser tomado como absoluto, devido às enormes variações metodológicas para cálculo dos dejetos aproveitáveis, em função da espécie animal, da alimentação, da cama, do manejo, etc. Como no caso dos resíduos vegetais, há limitações em seu uso energético pelos demais usos concorrenciais, devido a:

- a. grande potencial para uso como fertilizante;
- b. é uma fonte de baixa densidade energética, sendo viável apenas em grande escala e quando não existirem fontes alternativas disponíveis, mais competitivas;
- c. há necessidade de bioprocessamento, normalmente em biodigestores, gerando problemas logísticos de carga, descarga, compressão e estocagem do gás e utilização do fertilizante final;
- d. eventuais impactos ambientais e na saúde humana, decorrentes de sua manipulação. (Rosillo-Calle, 2001).

Parcela ponderável da energia elétrica produzida a partir de biomassa, no Brasil, é proveniente do aproveitamento de resíduos agropecuários, florestais ou da agroindústria. Segundo dados do Balanço Energético Nacional, edição 2004, a participação da biomassa na matriz elétrica nacional é de 2,86%, distribuída em 1,69% de bagaço de cana, 1,17% em resíduos madeireiros e resíduos agrícolas e silvícolas diversos.

As tecnologias para o aproveitamento energético são comerciais e utilizam, na sua maioria, ciclos de potência a vapor. As usinas brasileiras de açúcar e álcool já são auto-suficientes e algumas já produzem eletricidade excedente, na forma de co-geração. Exceto em algumas poucas unidades, o mesmo não ocorre nas instalações industriais dos segmentos de beneficiamento de arroz e de madeira.

Resultados obtidos no Estudo Levantamento do Potencial Nacional de Produção de Eletricidade nos segmentos sucro-alcooleiro, madeireiro e em usinas de beneficiamento de arroz, do NIPE/ Unicamp, indicam que os resultados do potencial alcançado para o segmento sucro-alcooleiro são muito próximos daqueles apresentados em outros estudos sobre o mesmo tema – na faixa de 2,4 a 6,1 GW excedentes, dependendo da configuração dos sistemas e para um nível de moagem de 346 milhões de toneladas de cana.

O potencial de médio e longo prazos, considerando-se a expectativa de crescimento acentuado da atividade sucro-alcooleira nos próximos anos, seria da ordem de 16 a 21 GW médios em 2025. Mais importante do que a quantificação do potencial total é a constatação de que o potencial efetivo, economicamente viável, é inferior a 65% do potencial calculado de excedentes, e de que o mesmo está muito concentrado em algumas poucas usinas. Assim, políticas abrangentes, quanto ao universo que se pretende atender, mas restritivas do ponto de vista dos benefícios oferecidos, serão pouco eficazes.

No caso do segmento sucro-alcooleiro, a janela de oportunidade que se configura em função (i) da reorganização empresarial em curso, (ii) da necessidade de substituição dos principais equipamentos nos sistemas de potência existentes, e (iii) da construção de novas usinas, bem como da ampliação de algumas existentes, requer a definição imediata de uma estratégia de efetiva viabilização do potencial.

Cabe o alerta de que os investimentos atualmente em curso prevêm a adoção de soluções tecnológicas menos eficientes, o que limitaria o potencial efetivo adicional, nos próximos cinco anos, a apenas 0,5-2 GW, mesmo considerada a expansão da produção de cana. Configurações tecnologicamente mais avançadas permitiriam que o potencial excedente efetivo, até 2010, se situasse entre 3 e 6,4 GW, sendo estimado que 1,7 a 3,8 GW seriam economicamente viáveis.

Nos segmentos madeireiro e arrozeiro o potencial máximo ora existente é muito menor, e foi estimado em 594 MW médios no primeiro caso e 200 MW médios no segundo. Supondo que apenas 50% desse potencial possa ser aproveitado, por razões econômicas e dificuldade de transporte da biomassa residual, apenas 300 MW e 100 MW poderiam ser viabilizados, respectivamente. Descontada a capacidade já instalada – 142 MW com uso de resíduos de madeira e 9 MW com uso da casca de arroz – a curto prazo restariam cerca de 160 MW e 90 MW para serem aproveitados, respectivamente.

Embora o potencial identificado nos segmentos madeireiro e arrozeiro seja de pequena importância do ponto de vista nacional, é preciso ter clareza que o mesmo é de grande relevância nas regiões nas quais os mesmos existem. Para o segmento madeireiro, os pólos de produção e de beneficiamento de madeira estão localizados nos Estados do Pará, Mato Grosso e Rondônia (madeira nativa) e nos estados de Santa Catarina, Paraná e São Paulo (madeira plantada). Também cabe notar que no caso da madeira nativa há incertezas quanto ao futuro dessa atividade florestal, e é importante a análise de quais são suas perspectivas de continuidade no contexto da exploração sustentável dos recursos florestais.

Como ocorre para todas as fontes renováveis de energia, a efetiva viabilização do potencial de produção de eletricidade a partir da biomassa residual da cana, da madeira e do arroz, requer a definição e a implantação de políticas de fomento com horizonte de médio a longo prazo e que definam condições claras e efetivamente motivadoras para que o potencial que é economicamente viável e é estrategicamente de interesse possa ser aproveitado.

### **2.5.3 - Setor sucroalcooleiro**

De acordo com a FAO, cerca de 1.333 Mt de cana foram produzidos em 1997, com o bagaço correspondendo a 335 Mt (25%). A energia contida em uma tonelada de bagaço, com 50% de umidade, corresponde a 2,85 GJ. Pelo conceito de bagaço entende-se apenas o caule macerado, não incluindo a palhada e os ponteiros, que representam 55% da energia acumulada no canavial. Este potencial fabuloso é muito pouco aproveitado, sendo, na maioria dos casos, queimado no campo.

A cana-de-açúcar é plantada em vários estados brasileiros, estimando-se em 5,5 milhões de hectares a área colhida em 2004 (UNICA, 2004). Cerca de 85% da produção brasileira concentra-se nas regiões Centro Oeste, Sul e Sudeste, sendo os 15% restantes produzidos no Norte e no Nordeste. São Paulo é o maior produtor nacional, com cerca de 60% da produção, sendo Alagoas o segundo maior produtor nacional (8% da moagem na safra 2003-2004).

A sazonalidade da cultura de cana-de-açúcar interfere na disponibilidade de resíduos de interesse energético. No Centro-Sul do Brasil, a colheita concentra-se nos meses de abril/maio a novembro/dezembro de um mesmo ano. Já na região Norte e Nordeste, a colheita concentra-se nos meses de agosto/setembro de um ano até março/abril do ano seguinte.

Para o segmento sucro-alcooleiro, os resíduos que podem ser utilizados na produção de eletricidade são o bagaço, as pontas e folhas, e o vinhoto. Alternativamente à co-geração dentro das próprias usinas e destilarias, o bagaço pode ter uso energético fora das usinas e destilarias; insumo para volumoso de ração animal; fabricação de papel de bagaço; fabricação de elementos estruturais; e hidrólise para produção de álcool. Tecnologias de produção de etanol a partir da hidrólise do bagaço estão em desenvolvimento e poderão atingir estágio comercial em 10-15 anos. Com viabilização da tecnologia, passa a ser muito importante o custo de oportunidade de aproveitamento do bagaço, pelas múltiplas alternativas para seu aproveitamento econômico.

Pontas e folhas da cana-de-açúcar costumam ser deixadas no campo e podem representar até 30% da biomassa total. Seu poder calorífico superior é da ordem de 15 GJ/t, com umidade de 50%. O poder calorífico inferior é em 13 GJ/t.

Já o vinhoto é resíduo da produção de álcool, sendo gerado somente nas destilarias. O seu aproveitamento energético é possível através da biodigestão anaeróbica, com obtenção de biogás. Atualmente, o principal destino do vinhoto é a fertirrigação na lavoura de cana-de-açúcar. O poder calorífico do biogás foi estimado em 21,32 MJ/ Nm<sup>3</sup>.

## 2.5.4 - Resíduos de madeira

Os resíduos florestais, obtidos a partir de um manejo correto dos projetos de reflorestamento, pode incrementar a produtividade energética futura das florestas. Também neste campo as estatísticas são deficientes, devido à diversidade regional, faunística, tecnológica, edáfica e climática. Entretanto, Woods & Hall (1994) estimam em 35 EJ/ano (10GW) o potencial energético dos resíduos da extração florestal, no mundo. Parcela ponderável deste resíduo é obtido de forma consolidada, nas plantas de processamento de madeira ou de obtenção de celulose e papel.

Considerando as densidades das madeiras nativa e plantada, estudos indicam que o poder calorífico inferior é de 11,3 MJ/kg e 8.8 MJ/kg , respectivamente. No caso brasileiro, estima-se que a indústria de celulose e papel gere, aproximadamente, 5 Mtoe de resíduos sem aproveitamento energético. Parcela ponderável dos resíduos permanece no campo, na forma de galhadas e restos de tronco, após o corte das árvores, necessitando de profundos estudos para viabilizar seu aproveitamento energético.

O setor de base florestal é analisado considerando dois grandes segmentos - papel e celulose e produtos de madeira sólida. No Brasil, as empresas atuam em um único segmento, isto é, ou em papel e celulose ou em produtos de madeira sólida. Em países nos quais o setor florestal é mais desenvolvido, como na Finlândia, nos Estados Unidos e no Canadá, as grandes empresas do setor atuam em ambos os segmentos, possibilitando maior competitividade no mercado internacional (ABIMCI, 2003a).

Para a avaliação do potencial de geração elétrica no segmento madeireiro, optou-se por considerar o caso das indústrias que processam madeira em tora na produção de compensados e serrados, nas quais se origina a maior parte dos resíduos do segmento. Nas etapas iniciais de fabricação destes produtos –

no descascamento, no corte em serras ou na laminação das toras – são geradas grandes quantidades de casca e cavaco, que podem ser aproveitadas na geração de energia elétrica no próprio local, ou ainda transportadas com relativa facilidade caso sejam comercializadas, pois possuem dimensões que facilitam o seu armazenamento e manipulação.

Por outro lado, empresas que processam a madeira serrada para a fabricação de produtos de maior valor agregado<sup>1</sup> tendem a produzir resíduos em menor quantidade e com dimensões mais reduzidas, como a serragem e o pó de madeira, que podem ser aproveitados localmente devido a maior dificuldade de transporte. Segundo dados do IBGE (2003), os Estados de São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul têm maiores áreas de madeira plantada e os Estados do Pará e Mato Grosso de madeira nativa.

### 2.5.5 - Setor arrozeiro

No Brasil há centenas de usinas de beneficiamento de arroz, 300 delas localizadas no Rio Grande do Sul. O beneficiamento de arroz não ocorre, necessariamente, próximo ao local da produção, uma vez que o transporte do arroz bruto – ou arroz em casca – para seu beneficiamento próximo do mercado consumidor, é economicamente justificável. Assim, o Estado de São Paulo, que não é um grande produtor, tem razoável capacidade de beneficiamento.

As usinas de beneficiamento de arroz são classificadas em três grupos: as exclusivamente produtoras de arroz branco, as exclusivamente produtoras de arroz parbolizado e as unidades produtoras de arroz branco e parabolizado. A maior parte da produção brasileira é de arroz branco, concentrada no Rio Grande do Sul. Santa Catarina, o segundo maior estado produtor, concentra a produção de arroz parabolizado. Segundo o IBGE (2003) os Estado do Rio Grande do Sul e Santa Catarina têm produção de arroz em casca, acima de 700 mil t/ano.

O arroz vem da lavoura com 25-30% de umidade, índice que varia com as condições de plantio e com a época do ano. A umidade precisa ser reduzida para 12-15% para que o arroz seja beneficiado e, no máximo a 13%, para que seja armazenado. A secagem é feita com queima da casca e os gases de combustão são empregados como meio de aquecimento. Uma usina exclusivamente produtora de arroz branco não tem consumo de vapor de processo. O poder calorífico superior, em base seca, da casca de arroz, é 15,84

---

<sup>1</sup> Como *blocks* e *blanks*, molduras, painéis colados lateralmente (EGP), portas, pisos, móveis e outros produtos de madeira.

GJ/t. O poder calorífico inferior, com umidade de 11%, é de 12,96 GJ/t, muito superior ao bagaço de cana.

Já uma usina produtora de arroz parabolizado tem demanda de vapor na produção industrial, (i) para o encharcamento do arroz, (ii) nas autoclaves, (iii) para a própria parabolização do grão e, em algumas indústrias, (iv) na secagem.

Uma usina de beneficiamento de arroz recebe o arroz colhido, que é transportado com casca para a usina. Segundo dados técnicos, ao longo de um ano, aproximadamente 15% da casca produzida é destinada à secagem do arroz, atividade que ocorre principalmente no período de colheita (janeiro a abril). A secagem se concentra nesses meses, consumindo 60% da casca recolhida. Estima-se que, de toda a casca produzida ao longo de um ano, apenas 50% podem ser utilizados na produção de eletricidade, uma vez que, além dos 15% destinados à secagem, cerca de 35% estão disponíveis em pequenas indústrias, espacialmente dispersas. A casca é um material de densidade muito baixa, sendo o transporte viabilizado apenas para frete de retorno.

## 2.6 - Geração de eletricidade a partir de biomassa

A única tecnologia comercial utilizada em larga escala é a combustão direta da biomassa em caldeiras, em ciclos a vapor, com produção de 40 GWe em unidades médias com potência de 20 MW. A combustão direta poderia atingir US\$0,042/kWh com custos progressivamente menores da biomassa, e com alguns avanços tecnológicos (pré-secagem do material, transporte/alimentação, fornalhas próprias para material com alto teor de alcalis).

As duas outras tecnologias consideradas para conversão termelétrica são:

- a. Combustão mista de biomassa/carvão, com até 10-15% de madeira, e custo de US\$ 100-700/kW;
- b. Gasificação da biomassa e uso do gás em ciclos combinados.

Esta última não é ainda uma tecnologia comercial, existindo apenas na etapa de planta piloto, com potencia variável dentre 5-30 MWe. Outras tecnologias envolvem a gaseificação pressurizada ou atmosférica; o aquecimento direto ou indireto, leito fixo (limitado a pequeno porte) ou CFB; com injeção de ar ou oxigênio. Em todos os casos há necessidade de avanços tecnológicos para sua viabilização.

Nos países do Primeiro Mundo, com a tecnologia atualmente disponível, uma planta de 30 MWe, usando madeira (com custo de US\$4/GJ) teria eficiência elétrica líquida de 41-45%, gerando energia na faixa de US\$ 4000/kWe. As projeções

para a próxima década indicam plantas com potência de 110 MWe, com custos de US\$1600- 2400/KWe instalado, e com custo da energia gerada de US\$0,07-0,09/kWh, considerando o custo da biomassa a US\$4./GJ.

Considerando a evolução nos custos internacionais de biomassa e da tecnologia, as projeções futuras indicam que, em 2030, o custo poderá cair para US\$ 1100/kw, quando o kWh de energia produzida atingiria, a valores de hoje, US\$0,04/ kWh.

No Brasil, já foi possível antecipar a redução de custos. A planta projetada para construção na Bahia, utilizando madeira (abaixo de US\$ 1,5/GJ), com potência instalada de 32 MWe, teria 37% de eficiência elétrica líquida – base PCS – com custo de US\$ 2500/kWe, uma redução superior a 40% em relação aos países do Hemisfério Norte.

### **2.6.1 - Queima direta de biomassa: ciclos a vapor**

Os sistemas utilizados no Brasil são predominantemente ciclos a vapor (queima direta) operando em co-geração nas indústrias de cana e papel/celulose. A produção de energia elétrica da biomassa foi 10 TWh (1999; 3% do total de energia elétrica) sendo 4,1TWh no setor de cana de açúcar (cogeração); 2,9TWh na indústria de papel/celulose; 0,7TWh (lenha), 2,1 TWh de resíduos agrícolas. O setor de cana -de-açúcar passa hoje por uma transição, evoluindo de sistemas a vapor de baixa pressão (até 20 bar) para sistemas a alta pressão (até 80 bar), permitindo sair da auto-suficiência em energia elétrica para a geração de alguns GW excedentes.

A utilização destas tecnologias, com os custos atuais, é economicamente viável em comparação com custos comerciais da energia (o investimento estimado na indústria de açúcar é de R\$ 725-1100/kW adicional, excedente, para sistemas em baixa pressão e alta pressão, 2,2-8,0 Mpa, respectivamente). Há um grande aumento na implantação destes sistemas, nos últimos 12 meses, sendo que investimentos até R\$ 1350/KW são viáveis (38), no caso de usinas de açúcar.

Na indústria de cana de açúcar, sistemas de queima direta poderão gerar adicionais de até 2,4-2,7 GW (base anual) se usarem cerca de 25% da palha em adição ao bagaço (ou até 3,4 GW, com 40% de palha).

O setor de papel e celulose gera para consumo próprio, usando a lixívia negra, cavacos e cascas de madeira. Em 1999 a capacidade instalada era 718 MW cobrindo 50% das necessidades de energia; seria possível complementar com madeira, em co-geração pura, atingindo 79% das necessidades (450 MW adicionais).

Dos outros resíduos agrícolas, apenas os referentes a arroz e trigo são aproveitáveis hoje; se implementados, atingiriam até 450 MW. Resíduos de produção madeireira são utilizáveis em unidades relativamente pequenas, com potência estimada de 400- 800 MW.

É muito importante avaliar o potencial para plantações energéticas (em particular, eucalipto); como exemplo, um estudo da CHESF (42) indica potenciais para a produção de eucalipto no Nordeste em 50 milhões de ha (levando a pelo menos 85 GW) a custo médio de biomassa de US\$ 1,36/GJ.

## **2.6.2 - Gaseificação**

Trata-se da conversão de combustíveis sólidos em gasosos, por meio de reações termoquímicas, envolvendo vapor quente e ar, ou oxigênio, em quantidades inferiores à estequiométrica (mínimo teórico para a combustão). Há vários tipos de gaseificadores, com grandes diferenças de temperatura e/ou pressão. Os mais comuns são os reatores de leito fixo e de leito fluidizado. O gás resultante é uma mistura de monóxido de carbono, hidrogênio, metano, dióxido de carbono e nitrogênio, cujas proporções variam de acordo com as condições do processo, particularmente se é ar ou oxigênio que está sendo usado na oxidação.

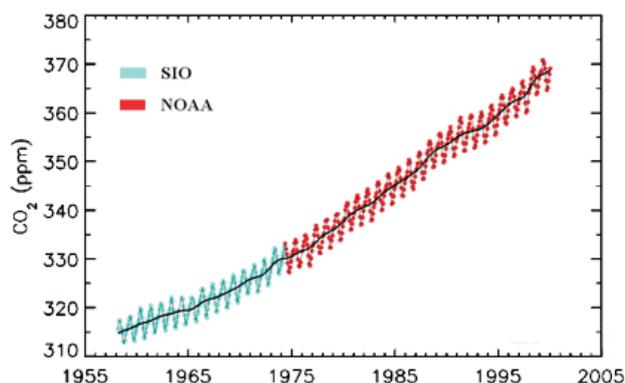
A gaseificação de biomassa, no entanto, não é um processo recente. Atualmente, esse renovado interesse deve-se principalmente à limpeza e versatilidade do combustível gerado, quando comparado aos combustíveis sólidos. A limpeza se refere à remoção de componentes químicos nefastos ao meio ambiente e à saúde humana, entre os quais o enxofre. A versatilidade se refere à possibilidade de usos alternativos, como em motores de combustão interna e turbinas a gás. Um exemplo é a geração de eletricidade em comunidades isoladas das redes de energia elétrica, por intermédio da queima direta do gás em motores de combustão interna. Outra vantagem da gaseificação é que, sob condições adequadas, produz gás sintético, que pode ser usado na síntese de qualquer hidrocarboneto.

## **2.7 - O Mercado de Créditos de Carbono e a Agroenergia**

### **2.7.1 - Antecedentes**

A concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico aumentou 31% nos últimos 250 anos (Figura 17), atingindo, provavelmente, o nível mais alto dos últimos 20 milhões

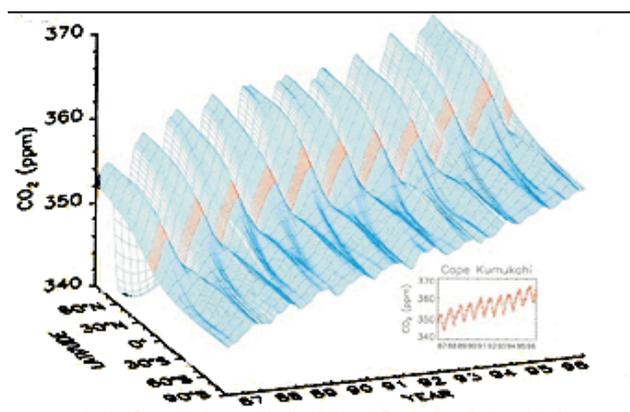
de anos. Os valores tendem a aumentar significativamente se as fontes emissoras de gases de efeito estufa não forem controladas, como a queima de combustíveis fósseis e a produção de cimento, responsáveis pela produção de cerca de 75% destes gases. A mudança no uso da terra, como o desmatamento, também tem significativa contribuição (25%).



**Figura 17.** Concentração de gás carbônico na atmosfera em Mauna Loa (Hawaii).

Fonte = [www.mlo.noaa.gov/project/GASES/co2graph.htm](http://www.mlo.noaa.gov/project/GASES/co2graph.htm)  
(cdkeeling@ucsd.edu)

O aquecimento global, decorrente da emissão de gases de efeito estufa (GEE) por fontes antrópicas, é algo que tem trazido grande preocupação à sociedade moderna, principalmente dentro de cenários que configuram demanda crescente de energia, em maior parte de natureza não-renovável, decorrente principalmente do crescimento populacional. Mudanças climáticas podem resultar em externalidades negativas de diversa sorte às gerações futuras. A **Figura 18** demonstra como a região entre 30°. e 60°. de latitude norte, onde se localizam os países de Primeiro Mundo, que são os maiores emissores de gases de efeito estufa.



**Figura 18.** Distribuição da concentração de gás carbônico na atmosfera, em função do tempo e da latitude.

Fonte = [www.mlo.noaa.gov/project/GASES/co2glob.htm](http://www.mlo.noaa.gov/project/GASES/co2glob.htm)

Esta preocupação levou os países da Organização das Nações Unidas a assinarem um acordo que estipulasse controle sobre as intervenções humanas no clima. Desta forma, o Protocolo de Quioto determina que seus signatários países desenvolvidos (chamados também de países do Anexo I), reduzam suas emissões de gases de efeito estufa em 5,2%, em média, relativas ao ano de 1990, entre 2008 e 2012. Para tanto, existem algumas alternativas para auxiliá-los ao cumprimento de suas metas, chamadas de mecanismos de flexibilização.

O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) nasceu de uma proposta brasileira à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (CQNUMC). Trata-se do comércio de créditos de carbono baseado em projetos de seqüestro ou mitigação. Através dele, países desenvolvidos comprariam créditos de carbono, em tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente, de países em desenvolvimento responsáveis por tais projetos. Há uma série de critérios para reconhecimento desses projetos, como estarem alinhados às premissas de desenvolvimento sustentável do país hospedeiro, definidos por uma Autoridade Nacional Designada (AND). No caso do Brasil, tal autoridade é a Comissão Interministerial de Mudança do Clima. Somente após a aprovação pela Comissão, é que o projeto pode ser submetido à ONU para avaliação e registro.

### **2.7.2 - Panorama atual do MDL**

O MDL é o mecanismo de flexibilização que oferece maior risco ao investidor, pelo alto grau de incerteza e pela burocracia que existe até a efetiva aprovação dos projetos pela ONU, além do alto custo de transação envolvido (em torno de US\$ 100.000 a 150.000). Vale lembrar que alguns países de Anexo I, como a Islândia e a Austrália, não referendaram o compromisso de redução (com possibilidade, inclusive, de aumentar suas emissões no período de compromisso), e outros, como a Rússia, que têm reduzido substancialmente suas emissões, e que podem lucrar substancialmente com o comércio de permissões (allowances), as quais representam créditos mais seguros e de maior valor comercial.

Estudos econômicos baseados em cenários futuros têm sido cada vez mais necessários para uma compreensão de longo prazo. Atualmente, a tonelada de carbono dos projetos de MDL é vendida em torno de US\$ 5,00 a 6,00, para projetos que obedeçam todas as premissas do Protocolo de Quioto. Entretanto, outras alternativas de comercialização (iniciativas voluntárias) se apresentam, com regras mais flexíveis, como a CCX (Chicago Climate Exchange – Bolsa do Clima de Chicago), onde os preços para a tonelada são mais baixos (em torno

de US\$ 0,90). Com a recente ratificação do Protocolo, a expectativa é que estes valores sofram acréscimos ao longo do tempo.

Segundo estimativas do Banco Mundial, os principais compradores de créditos entre janeiro de 2004 e abril de 2005 foram o Japão (21%), a Holanda (16%), o Reino Unido (12%) e o restante da União Européia (32%). Em termos de oferta de créditos (volume), considerando projetos de MDL e IC, a Índia lidera o ranking, com 31%. O Brasil possui 13% do “share”, o restante da Ásia (inclusive China) 14% e o restante da América Latina 22%. A participação da Índia e do restante da Ásia é expressiva por seus projetos de destruição do HFC<sub>23</sub>, gás cujo potencial de aquecimento global é 11.700 vezes o do CO<sub>2</sub>.

Os projetos com ênfase em melhoria de eficiência energética, biomassa, etc, muitas vezes prevêem atividades para um período de 7 de 21 anos, muito embora o primeiro período de compromisso do Protocolo seja de 2008 a 2012. Desta forma, é muito difícil se determinar qual seria o potencial de projetos do mercado de créditos de carbono. Como existe um alto grau de incerteza quanto às negociações para o segundo período, optou-se por fazer uma estimativa apenas dentro do primeiro período para o que seria o potencial de participação anual do Brasil e do agronegócio neste mercado, conforme **Tabela 16**.

**Tabela 16.** Estimativa do potencial de participação anual do agronegócio brasileiro no mercado de créditos de carbono para o primeiro período de compromisso do Protocolo de Quioto (2008-2012).

Emissão dos países desenvolvidos em 1990	13,7 bilhões de t de CO <sub>2</sub>
Redução comprometida = 5,2% do total =	714 milhões de t de CO <sub>2</sub> /ano
Preço hoje = US\$ 5,63/tonelada de CO <sub>2</sub>	Total = US\$ 4,0 bilhões/ano
Estimativa da Participação do MDL (40%)	<b>US\$ 1,6 bilhões/ano</b>
Expectativa do Brasil no mercado de MDL (25%)	US\$ 400 milhões/ano
Potencial do Agronegócio no MDL brasileiro (40%)	US\$ 160 milhões/ano

Fonte: Embrapa/MAPA

Existem, atualmente, 23 projetos de MDL oficialmente aprovados em todo o mundo, no âmbito da Convenção. Destes, apenas 2 são brasileiros, ambos de queima de gases em aterros sanitários, portanto, não vinculados ao agronegócio.

### 2.7.3 - Particularidades do MDL

Os projetos, para serem aprovados, devem atender ao pré-requisito da adicionalidade, o que pressupõe que o projeto não seja a alternativa econômica mais viável, ou seja, fuja do “business-as-usual”. Muitas vezes, os projetos que apresentam argumentos que demonstram que estes só se viabilizam caso recebam o aporte de recursos do MDL, têm sido preferidos.

Assim, além de uma redução líquida de emissões significativa, existem outras exigências para que o projeto seja considerado adicional, como uma classificação preliminar referente à data do início de suas atividades, identificação de alternativas consistentes com a legislação corrente e regulamentação local, análise de investimento, análise de barreiras, análise de práticas comuns e impacto do registro como MDL.

Sob a ótica do desenvolvimento sustentável, no caso do Brasil, a Resolução nº 1 da Comissão Interministerial de Mudança do Clima determina que os projetos a ela submetidos tragam substanciais benefícios ambientais e sociais, garantindo a geração de emprego e renda.

A metodologia a ser utilizada para desenvolvimento, monitoramento e verificação precisa estar previamente avaliada, aprovada e registrada pelo Comitê Executivo do MDL. Isto visa garantir que os projetos sejam desenvolvidos obedecendo tal metodologia, reconhecida previamente pelo Painel Metodológico da ONU.

Para tanto, o projeto deve mostrar que muda toda uma realidade, baseado em cenários de tendências caso este não se implante, o que também é chamado de “linha de base”. Uma das principais dificuldades existentes é a falta de pesquisas que subsidiem, tecnicamente, tais linhas de base, e que possibilitem a aprovação de metodologias, necessárias ao desenvolvimento dos projetos.

Outra grande limitação é o custo de transação dos projetos, cujo valor mínimo gira em torno de US\$ 150 mil. Na tentativa de viabilizar o acesso a proponentes de baixa renda, ou mesmo fomentar projetos de menor volume de RCE (Redução Certificada de Emissões), foi aprovada, no âmbito da Convenção, uma modalidade diferenciada para contemplar projetos de pequena escala, com exigências e metodologias simplificadas, no intuito de reduzir os custos de transação, de forma a incentivar o envolvimento de pequenos empresários, através de arranjos associativistas.

No Brasil, o MDIC, em parceria com a BM&F e subsidiado pela FGV criou o Mercado Brasileiro de Redução de Emissões. A idéia básica é a de organizar o mercado primário, por meio de um banco de projetos, com sistema de registro, armazenamento e classificação dos mesmos. Isto terá implicações interessantes, como a redução dos custos de transação, conferindo maior

visibilidade para os investidores, auxiliando inclusive na identificação destes no mercado por parte dos proponentes.

#### **2.7.4 - Oportunidades para a agroenergia**

Uma das grandes oportunidades para a agroenergia é a geração de energia a partir de resíduos ou co-produtos. Os projetos de co-geração a partir do bagaço da cana, por exemplo, geram créditos e estão sendo implementados. Por ter metodologia já aprovada, espera-se que um grande número de projetos sejam apresentados. Isto abre margem para outras oportunidades, como o aproveitamento de palha de arroz, resíduos da indústria madeireira, entre outros.

Apesar da limitação quanto ao mercado para seqüestro de carbono, as atividades florestais podem se beneficiar de créditos pela substituição de fontes de energia fóssil (carvão mineral) por fonte de energia renovável (carvão vegetal) em siderurgias. Outra possibilidade seria o uso dos resíduos de serrarias para geração de energia por biomassa, já que a eficiência do aproveitamento da madeira é de cerca de 50%.

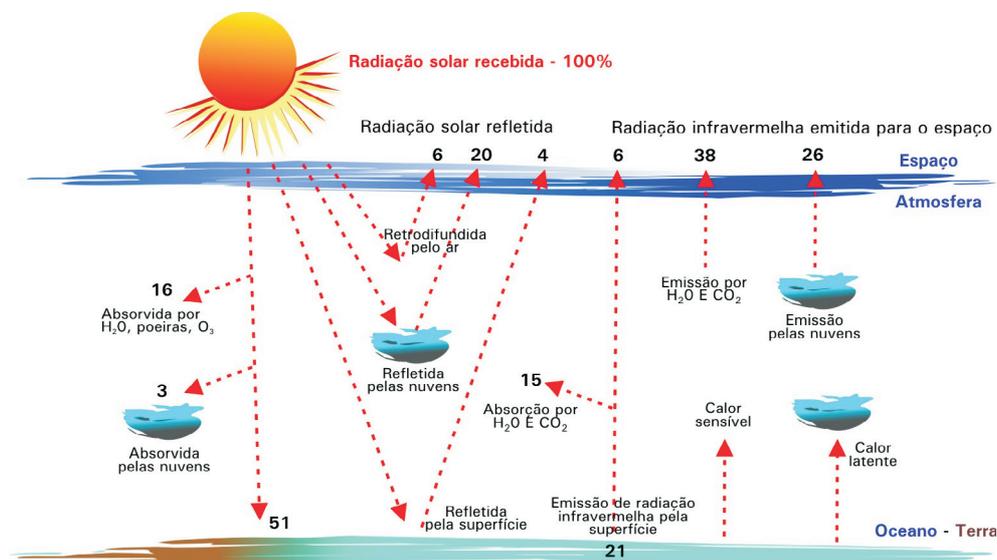
O manejo de dejetos animais, para aproveitamento do gás metano para geração de energia, é uma atividade com grande potencial, especialmente por já existir metodologia aprovada. Alguns projetos já estão sendo implementados, com destaque para o projeto de granja Becker(MG) e da Sadia, em análise pela Comissão Interministerial, que deverão servir como piloto, beneficiando diretamente os produtores rurais.

Por se apresentar como um programa de governo, que tem uma série de barreiras técnicas e de viabilidade econômica a serem transpostas, o biodiesel possui grande potencial, especialmente quando se pensa em substituição de fonte energética. Outro fator positivo são os benefícios sociais, amplamente contemplada neste programa.

Oportunidades indiretas, decorrentes das exigências do Protocolo de Quioto, devem ser também consideradas. A exemplo disso, o Japão, em um esforço para reduzir suas emissões, autorizou a mistura de 3% de álcool em sua gasolina, o que abre um mercado grande às exportações brasileiras de etanol.

#### **2.7.5 - Reduções de emissões de GEE**

A **Figura 19** apresenta, de forma esquemática, o efeito estufa natural, que pode ser acirrado com a emissão desenfreada de GEE.



**Figura 14.** Representação esquemática do efeito estufa.

Elaboração D. L. Gazzoni e D. Estevão.

O uso da biomassa para seqüestro de carbono é ponto pacífico, sendo que o IPCC estima que entre 60 e 87 bilhões de toneladas de carbono poderão ser estocadas em florestas, entre 1990 e 2050, equivalendo a 12-15% das emissões por combustíveis fósseis, no mesmo período. Para que a biomassa possa, efetivamente, atender as expectativas de mitigar os impactos dos combustíveis fósseis no ambiente, algumas condições necessitam ser preenchidas, como:

- Produção sustentável de matéria prima e uso dos recursos energéticos de forma a resultar em uma produção neutra de CO<sub>2</sub>;
- Seqüestro e fixação do carbono por longos períodos, inclusive após a vida útil do vegetal (ex. produção de móveis de madeira);
- substituição direta de combustíveis fósseis, como é o caso do etanol e dos biocombustíveis derivados de óleos vegetais.

É sempre importante ter em mente o conceito de gases de efeito estufa (GEE), do qual o CO<sub>2</sub> é apenas o paradigma do índice de medição de emissões. Outros gases, como o metano e o anidrido sulfuroso são extremamente perniciosos, enquanto poluidores atmosféricos, constituindo-se em uma das vantagens do uso de biomassa a emissão baixa ou nula destes gases.

Comparando as duas estratégias de redução do impacto das emissões de GEE, o uso energético da biomassa é mais vantajoso que o seqüestro e fixação, pois:

- a.** biocombustíveis e a biomassa energética em geral podem substituir, diretamente, os combustíveis fósseis;
- b.** há menos incerteza nas medições das contribuições da biomassa energética que no seqüestro de carbono;
- c.** o custo de investimento é menor, pois o seqüestro de carbono significa que, de alguma forma, a energia para a sociedade necessitará ser suprida;
- d.** a redução de emissões pela biomassa energética é definitiva, enquanto as florestas de seqüestro, quando utilizadas para fins não permanentes, devolvem o CO<sub>2</sub> à atmosfera;
- e.** os estudos disponíveis demonstram que, no longo prazo, o uso de biomassa energética é mais eficiente no uso da terra que as florestas para seqüestro de carbono (Kartha, 2001).

### **3. Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) e Transferência de Tecnologia (TT) em Agroenergia**

Este capítulo contempla a proposta de uma Agenda comum de PD & I e TT para as diferentes cadeias de agroenergia, objetivando atender aos quesitos de competitividade e sustentabilidade.

#### **3.1 - Objetivo principal**

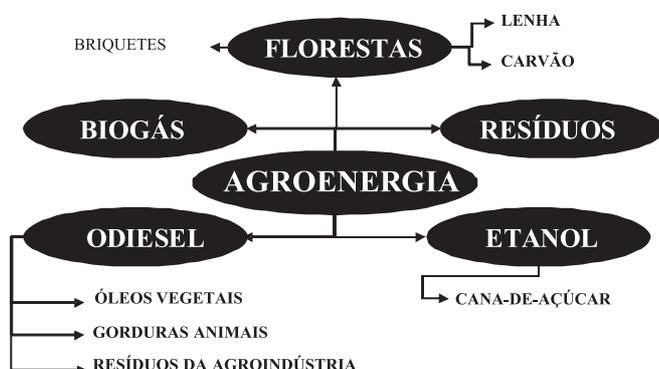
Desenvolver e transferir conhecimento e tecnologias que contribuam para a produção sustentável da agricultura de energia e o uso racional da energia renovável, visando a competitividade do agronegócio brasileiro e o suporte às políticas públicas.

#### **3.2 - Objetivos específicos**

- a. Apoio à mudança da matriz energética, com vistas à sua sustentabilidade;
- b. Propiciar condições para o aumento da participação de fontes de agroenergia na composição da matriz energética;
- c. 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;
- d. Suportar oportunidades de expansão do emprego no âmbito do agronegócio;
- e. Permitir a ampliação das oportunidades de renda, com distribuição mais equitativa entre os atores;
- f. Contribuir para a redução das emissões de gases de efeito estufa;
- g. Contribuir para a redução das importações de petróleo;
- h. Contribuir para o aumento das exportações de biocombustíveis.

### 3.3 - Matriz da produção de agroenergia

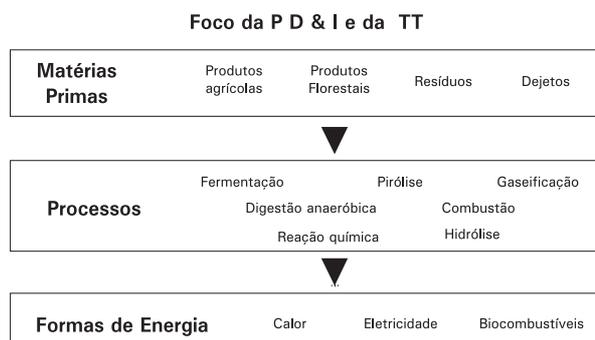
Para os efeitos do presente plano, considera-se a agroenergia concentrada em cinco grandes grupos: florestas, biogás, biodiesel, etanol e resíduos. Das florestas energéticas obtêm-se diferentes formas de obtenção de energia, como lenha, carvão, briquetes, finos e licor negro. O biogás é originário da digestão anaeróbica da matéria orgânica. O biodiesel pode ser obtido de óleos vegetais, gorduras animais ou resíduos da agroindústria. O etanol, embora possa ser obtido de outras fontes, é integralmente retirado da cana-de-açúcar. E os resíduos, tanto da produção agropecuária, quanto da agroindústria, bem como os dejetos desse processo, podem ser convertidos para diferentes formas secundárias de energia, como briquetes, gás, biodiesel, carvão, etc (Figura 20).



**Figura 20.** Matriz da Agroenergia.

Fonte: Elaboração D. L. Gazzoni

A PD & I focará no desenvolvimento de tecnologia de matéria prima e no desenvolvimento ou aprimoramento de processos (Figura 21). Em qualquer dos casos, a visão da forma final de agroenergia (calor, biocombustível ou eletricidade) deve estar clara, para assegurar a produtividade da matéria prima ou a competitividade dos processos.



**Figura 21.** Encadeamento das cadeias de produção de agroenergia.

### 3.4 - Diretrizes de PD & I e de TT

O desenvolvimento tecnológico e a transferência de tecnologia em agroenergia será regida por oito macro-diretrizes, consentâneas com as políticas públicas brasileiras, às quais se subordinam, aos anseios da sociedade e as demandas dos clientes:

**a. Sustentabilidade da matriz energética**, desenvolvendo tecnologias ambientalmente corretas, que permita a manutenção dos proprietários ou trabalhadores rurais no negócio, no longo prazo, com rentabilidade que garanta competitividade no mercado de energia; e que atenda os compromissos do país, assumidos em foros internacionais;

**b. Sustentabilidade e autonomia energética comunitária**, entendendo-se o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis que permitam às comunidades isoladas, aos agricultores individualmente, cooperativados ou associados, e aos assentamentos de reforma agrária dispor de sua própria energia, para atender às suas necessidades, independente da comercialização externa;

**c. Geração de emprego e renda**, sendo vetor da interiorização do desenvolvimento, da redução das disparidades regionais e da fixação das populações ao seu habitat, em especial pela agregação de valor na cadeia produtiva e integração de diferentes dimensões do agronegócio;

**d. Otimizar o aproveitamento de áreas antropizadas**, maximizando a sustentabilidade dos sistemas produtivos, desestimulando a expansão injustificada da fronteira agrícola ou o avanço rumo a sistemas sensíveis ou protegidos;

**e. Conquista e manutenção da liderança do biotrade**, o mercado internacional de bioenergia.

**f. Apoiar a formulação de políticas públicas** e subsidiar a posição brasileira nas negociações internacionais envolvendo a temática energética, ambiental e de mudanças climáticas globais;

**g. Esforço de escalada de sustentabilidade, competitividade e racionalidade energética** nas cadeias do agronegócio nacional e de maximização do aproveitamento de fatores de produção.

**h. Desenvolver soluções** que integrem a geração de agroenergia e a eliminação de **perigos sanitários** ao agronegócio.

### 3.5 - Estratégia e proposta programática

A estratégia prevê a integração de esforços, valorizando os talentos e as competências brasileiras, aproveitando as associações estratégicas com os cientistas internacionais e mantendo uma atuação focada no desenvolvimento das cadeias de agroenergia. Os principais aspectos a considerar são:

**a. Equipe técnica multidisciplinar** – A complexidade temática da agroenergia exige a constituição de redes de pesquisa complexas com diversidade disciplinar, englobando profissionais de Física, Química, Biologia, Biotecnologia, Engenharias (Agrônoma, Química, Ambiental, Elétrica, Eletrônica, Mecânica, Civil), Sociologia e Economia, entre outros;

**b. Gestão do Plano de PD & I e TT** – A gestão se dará a partir da organização dos atores, implementada por meio de um Consórcio. Os membros do Consórcio constituirão um Conselho Gestor, encarregado da institucionalização dos diferentes processos para garantir a consecução das metas estabelecidas. Cada organização de P&D, participante do consórcio, deverá organizar a sua estratégia interna, aderente aos compromissos assumidos no termo de adesão ao consórcio e em conformidade com as disposições desse Plano;

**c. Parcerias organizacionais** – Entende-se que alguns atores da PD & I, do agronegócio ou das cadeias de energia possuem importância transcendental para o sucesso da atividade, o que aponta para a necessidade de identificação desses atores, a fim de que constituam parcerias de longo prazo, com característica de entrosamento institucional e organizacional. Estas parcerias se concretizam em uma organização de pesquisa voltada para a agroenergia e os parceiros são entes privados ou públicos, com forte envolvimento na área de C & T, mesmo que o foco principal de seu negócio não seja a pesquisa e o desenvolvimento;

**d. Parcerias estratégicas** – Consideram-se parceiros estratégicos aqueles capacitados para auxiliar em atividades específicas de determinados programas ou projetos, contribuindo, pontualmente, para o desenvolvimento tecnológico. Tanto as parcerias organizacionais quanto as estratégicas organizar-se-ão em um consórcio para suportar as ações de PD & I em agroenergia;

**e. Mobilização de competências** – Para a consecução do programa de PD & I contido nesse plano será necessário organizar redes que

extrapolem os limites acadêmicos e que possam atuar como parceiros de pesquisas, contribuindo com sua competência gerencial, base industrial instalada, conhecimento de mercado, etc.

**f. Empreendedorismo** – A programação de PD & I deve levar em conta a sua contribuição para o desenvolvimento das cadeias produtivas nacionais, bem como retornar aos fundos de pesquisa recursos a título de royalties ou outra forma de remuneração do fator de produção tecnologia, como assistência técnica, consultoria ou outra forma prevista na Lei de Inovação;

**g. Treinamento** – Considerando o grande dinamismo da área, as redes de pesquisa em agroenergia serão, por um lado, fortes demandantes de treinamentos formais e informais, bem como atuarão como receptores de novos profissionais, para aprimoramento de sua formação, preparando-os para atuar não somente nas atividades de PD & I, porém com um forte enfoque no preparo de mão de obra especializada para atuar diretamente no setor produtivo;

**h. Fontes de financiamento** – O suporte financeiro às ações de PD&I será conferido por fontes orçamentárias ordinárias do Tesouro Nacional; pelo Fundo Nacional de Pesquisa em Agroenergia; pelo orçamento das parcerias constitutivas; por recursos captados por projetos; por recursos dos fundos setoriais ou fundos de suporte à pesquisa; por doações voluntárias; por recursos compulsórios que vierem a ser criados pela Lei; por recursos próprios, provenientes de venda de serviços, estudos, projetos, assistência técnica, royalties, taxas tecnológicas, rendimentos financeiros e outros; por recursos de instituições financeiras, reembolsáveis ou não; por transferências de organizações não governamentais; por recursos transferidos de instituições do exterior, à título de cooperação técnica.

As diretrizes programáticas incluem três grandes vertentes, sendo uma dedicada ao desenvolvimento de tecnologia agronômica, outra para desenvolvimento de tecnologia industrial e a terceira dedicada aos estudos de cunho sociológico, econômico, mercadológico, de gestão e de políticas públicas. A tecnologia agronômica compreende, especialmente, a cana-de-açúcar, as espécies oleaginosas e as florestas energéticas. A tecnologia industrial compreende o desenvolvimento de formas de energia, o uso não energético de produtos e co-produtos, os usos e os impactos dos biocombustíveis. Os demais estudos são de caráter transversal, capilarizados nas cadeias e distribuídos no tempo e no espaço.

### 3.6 - As dimensões da PD & I em agroenergia

O programa de PD& I do Plano Nacional de Agroenergia deve contemplar diferentes dimensões, para atender às políticas públicas setoriais, as expectativas da sociedade e as necessidades dos clientes.

Sob o aspecto **temporal**, o programa deve contemplar metas de curto, médio e longo prazo. No tocante à dimensão **geográfica** deve-se atentar para tecnologia adequada aos diferentes ecossistemas e ambientes. A interface **ambiental** das tecnologias a serem desenvolvidas devem atentar para os quesitos de proteção do ambiente e redução de danos. Do ponto de vista **social**, o programa de PD & I deve levar em consideração a necessidade de ampliar as oportunidades de emprego e renda, bem como de distribuição equitativa, atentando para a sustentabilidade dos sistemas, a qualidade de vida, mitigando a penosidade do trabalho e conferindo autonomia para trabalhadores rurais ou suas organizações. A dimensão **disciplinar** deve atentar para o desenvolvimento de tecnologia agrônômica que permita obter matéria prima adequada, o desenvolvimento de processos sustentáveis e em conformidade com as normas e regulamentos, bem como atentar, integradamente, para a cadeia produtiva, em especial para co-produtos, sub-produtos, dejetos e resíduos da produção agrícola ou agroindustrial.

Como moldura do desenvolvimento tecnológico, a programação de PD&I deve levar em conta as oportunidades do mercado de carbono, como parte integrante dos sistemas de produção. Igualmente, o processo deve ser permeado por estudos e desenvolvimento de cenários de fundo social, econômico e ambiental, que modulem as demandas tecnológicas. Em particular, o Brasil deve preparar-se para as negociações pós-Quioto, que resultará no novo esforço global para mitigação do aquecimento global. Seguramente, o Brasil não disporá da mesma condescendência dos demais países – como ocorreu no atual Protocolo de Quioto – em especial pela manutenção das emissões de CO<sub>2</sub> provenientes de queimadas na Amazônia e Cerrados. Para dispor de melhores condições na mesa de negociações, o Brasil deve apresentar-se com um mega-programa de energia limpa, de impacto mundial, que contrabalance o efeito negativo das queimadas e permita que o país imponha melhores termos de negociação.

Como derivada, ou corolário, do esforço em investimento em agroenergia, cabem ações pontuais no segmento dentro da porteira, do agronegócio. Nesse aspecto, duas considerações são importantes:

- a. O produtor rural e a agroindústria associada, isoladamente ou em forma associativa, deve perseguir a meta de autonomia energética, lastreada em fontes renováveis, mormente agroenergia;

b. As redes de PD&I em agroenergia deverão envidar esforços para rever, no médio prazo, a demanda energética dos sistemas de produção, perseguindo duas metas, sendo uma a redução quantitativa do input energético e a outra a substituição das fontes de energia dos sistemas de produção e processamento.

### 3.7 - Agenda de PD & I

Posta a forma de organização da PD & I setorial, claramente calcada na formação de redes complexas, de caráter multidisciplinar, multiinstitucional, ancorada na cooperação internacional, direcionada pelas políticas públicas setoriais e fortemente vinculada aos anseios da sociedade e demandas dos clientes, é possível derivar uma agenda de pesquisa, de caráter macro-estratégica, que considere as dimensões de tempo, a preocupação social e ambiental, a vinculação com os objetivos maiores do Brasil, as ligações com os acordos internacionais e as induções do mercado internacional do agronegócio e do biotrade em particular.

#### 3.7.1 - Ações transversais

Existem algumas demandas transversais, que perpassam todas as cadeias de agroenergia, como segue:

a. Elaboração de **estudos de caráter sócio econômico e estratégico**, como a formação e manutenção de bancos de dados, o desenvolvimento de cenários, os estudos prospectivos, as avaliações *ex-ante* e *ex-post*, a preparação de subsídios para políticas públicas na área energética e suas conexões com temas ambientais, econômicos, sociais e negociais.

b. Elaboração de **estudos de competitividade**, de entraves ao desempenho das cadeias, de nichos e oportunidades de mercado, de atração de investimentos, de investimento em logística, de estratégia e geopolítica, também compõe esta faceta da agenda;

c. Elaboração dos **balanços energéticos** dos ciclos de vida das cadeias produtivas do agronegócio brasileiro, objetivando substituir fontes de carbono fóssil por fontes provenientes da agroenergia, reduzindo, progressivamente, a demanda energética dos sistemas de produção;

d. Efetuar o **zoneamento agroecológico** de espécies vegetais importantes para a agricultura de energia;

e. Desenvolvimento de **redes cooperativas** que identifiquem as barreiras não tarifárias e que viabilizem sua solução com vista aos principais mercados, a partir da avaliação da conformidade com padrões internacionais ou não, de métodos e técnicas de mensuração em projetos de MDL;

f. Incorporação na cultura dos programas de desenvolvimento científico e tecnológico a visão do MDL, em programas de melhoramento genético de culturas de valor econômico, boas práticas agrícolas, impacto nos biomas, manejo nutricional de ruminantes e questões ligadas à redução de emissões de GEE nos sistemas de produção em toda a cadeia agropecuária, consolidando uma base de dados que permita análises preditivas no contexto do desenvolvimento sustentável, de forma coordenada com iniciativas territoriais, regionais e globais; isto se daria com a capacitação do corpo técnico-científico em temas ligados ao Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, fomentando novas redes e incrementando as existentes, tendo em vista que as vertentes envolvidas são extremamente novas, dinâmicas e multidisciplinares;

g. Promoção de ações de mapeamento, acompanhamento da carteira de projetos e elaboração de cenários de forma a orientar as ações em um conjunto crescente de temas ligados ao mercado de carbono, que não estejam adequadamente resolvidos, de forma que a C&T possa gerar e disponibilizar dados consistentes de maneira sistematizada para a constituição de linhas de bases para projetos de MDL, bem como elaborar e aperfeiçoar metodologias atreladas à projetos-piloto, em parceria com o setor privado, explorando as oportunidades de mercado.

### 3.7.2 - Atuação nas cadeias produtivas

Entretanto, para cada componente do complexo de Agroenergia, diferentes desafios são impostos a esta Agenda, atuando como indutores de prioridades de pesquisa, como seguem:

#### 3.7.2.1 - Etanol

a. Eliminar fatores restritivos à expressão do potencial produtivo da cultura da cana-de-açúcar;

- b. Incrementar a produtividade de cana, o teor de sacarose, o agregado energético e o rendimento industrial da cana-de-açúcar;
- c. Desenvolver tecnologias poupadoras de insumos e de eliminação ou mitigação de impacto ambiental;
- d. Desenvolver tecnologias de manejo da cultura e de integração de sistemas produtivos envolvendo a cana-de-açúcar;
- e. Desenvolver alternativas de aproveitamento integral da energia da planta de cana-de-açúcar, com melhoria dos processos atuais ou desenvolvimento de novos processos;
- f. Desenvolver novos produtos e processos, baseados na alcoolquímica e no aproveitamento da biomassa da cana-de-açúcar.

### **3.7.2.2 - Biodiesel**

- a. Propiciar o adensamento energético da matéria prima, tendo como referenciais 2.000kg/ha de óleo para o médio prazo e 5.000kg/ha no longo prazo;
- b. Aprimorar as atuais rotas de produção de biodiesel, com valorização do etanol como insumo, e desenvolvimento de novas rotas;
- c. Desenvolver tecnologias para racionalização do uso de energia na propriedade e substituição de fontes de carbono fóssil por fontes renováveis;
- d. Desenvolver processos competitivos e sustentáveis de produção de energia a partir de resíduos orgânicos das cadeias de processamento de produtos de origem animal;
- e. Desenvolver tecnologias de agregação de valor na cadeia, com valorização de co-produtos, resíduos e dejetos;
- f. Desenvolver tecnologias visando o aproveitamento da biomassa de vocação energética para outros usos na indústria de química fina e farmacêutica;
- g. Desenvolver tecnologias que permitam a autonomia e a sustentabilidade energética para agricultores, agro-indústria e comunidades isoladas;
- h. Integrar nos processos os conceitos de agroenergia e mercado de carbono;

- i. Desenvolver processos para a obtenção de inovações baseadas em biomassa de oleaginosas, inclusa a oleoquímica.

#### **3.7.2.3 - Florestas energéticas**

- a. Desenvolver tecnologias para aproveitamento integral da biomassa florestal para fins energéticos, diversificando a matriz de produtos energéticos obtidos de produtos florestais;
- b. Desenvolver tecnologias que promovam o adensamento energético de áreas reflorestadas;
- c. Desenvolver tecnologias para a substituição do carvão mineral, em seus diferentes usos;
- d. Desenvolver tecnologias de alcance social para inserção de comunidades de baixa renda na cadeia de florestas energéticas;
- e. Promover a integração dos conceitos de agroenergia e mercado de carbono;

#### **3.7.2.4 - Biogás**

- a. Desenvolver estudos e desenvolvimento de modelo de biodigestores;
- b. Efetuar a modelagem em sistemas de produção de biogás;
- c. Avaliar o uso do biofertilizante como adubo orgânico;
- d. Desenvolver equipamentos para o aproveitamento do biogás como fonte de calor;
- e. Desenvolver equipamentos para o transporte e distribuição do biofertilizante;
- f. Desenvolver equipamentos para geração de energia elétrica, movidos a biogás;
- g. Desenvolver sistemas de compressão e armazenamento do biogás;
- h. Desenvolver processos de purificação de biogás;

#### **3.7.2.5 - Aproveitamento de resíduos e dejetos**

- a. Desenvolver tecnologias para o aproveitamento energético de resíduos da produção agrícola, pecuária e florestal e da agroindústria;

- b. Desenvolver tecnologias para a utilização de compostos orgânicos resultantes da produção agropecuária, com risco sanitário, na produção de agroenergia;
- c. Desenvolver tecnologias para a utilização dos resíduos pós obtenção de energia para outras finalidades, como correção de acidez ou fertilidade do solo;
- d. Promover a integração dos conceitos de agroenergia e mercado de carbono;
- e. Interfacear com as redes de pesquisa para aproveitamento de esgotos urbanos para fins energéticos.

Esta agenda, que consolida os desafios tecnológicos maiores para o desenvolvimento do segmento de agroenergia no contexto do agronegócio brasileiro, desdobra-se em ações táticas, que formarão a agenda que induzirá a formação de redes e sub-redes, de caráter multiinstitucional e multidisciplinar, que se encarregarão da gestão e da operacionalização dos projetos de pesquisa. A agenda também serve de pano de fundo e de inspiração para as agências financiadoras e para os fundos setoriais de pesquisa, para a indução de editais específicos ou encomendas de projetos de pesquisa para solver entraves detectados no seio dos arranjos produtivos da agroenergia. Finalmente, a agenda também baliza o estamento institucional, servindo de mote para o desenvolvimento ou revisão dos planos estratégicos e dos planos diretores, de modo a que a confluência de objetivos lubrifique e impulse a formação das redes de pesquisa.

### **3.7.3 - Linhas de pesquisa**

Definidas as prioridades de cada cadeira produtiva, propõe-se uma seqüência de eventos de pesquisa, concentrados, porém não restritos, nas seguintes ações:

#### **3.7.3.1 - Etanol**

##### ***3.7.3.1.1 - Tecnologia agrônômica***

- a. Introdução de novas características por técnicas biotecnológicas (resistência a pragas, tolerância a seca, tolerância a acidez e salinidade do solo, maior eficiência no uso de nutrientes);

- b.** Desenvolvimento de estudos com o ciclo de vida e balanço de energia de sistemas de produção de cana-de-açúcar, objetivando reduzir o input energético dos sistemas e a substituição de fontes de carbono fóssil por fontes renováveis;
- c.** Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar na região de expansão;
- d.** Desenvolvimento de tecnologias para Incremento da produtividade e do teor de sacarose da cana-de-açúcar;
- e.** Desenvolvimento de tecnologias para fixação simbiótica de nitrogênio;
- f.** Desenvolvimento de tecnologias para utilização de fito-hormônios na cultura da cana-de-açúcar;
- g.** Desenvolvimento de técnicas de rotação, consorciação e renovação de canaviais;
- h.** Desenvolvimento de técnicas de nutrição vegetal de cana-de-açúcar;
- i.** Aproveitamento agrícola do vinhoto da fermentação do caldo de cana-de-açúcar;
- j.** Desenvolvimento de tecnologias de sanidade vegetal para a cana-de-açúcar;
- k.** Desenvolvimento de sistemas de manejo da cultura da cana-de-açúcar;
- l.** Desenvolvimento de sistemas de manejo de solos em áreas de canavial;
- m.** Desenvolvimento de tecnologias de Irrigação e manejo de água na cultura da cana-de-açúcar;

#### ***3.7.3.1.2 - Tecnologia industrial***

- a.** Tecnologias para aproveitamento energético de folhas verdes e ponteiros da cana-de-açúcar;
- b.** Aumento do rendimento industrial de álcool;
- c.** Melhoria de processos com ganhos de racionalização de uso de água e outros insumos;

- d. Melhoria dos processos de co-geração de energia;
- e. Desenvolvimento de novos produtos e processos, baseados na alcoolquímica e no aproveitamento da biomassa da cana-de-açúcar;
- f. Aprimoramento de motores e turbinas para maximização do rendimento energético com o uso do álcool carburante;

### **3.7.3.2 - Biodiesel**

#### **3.7.3.2.1 - Tecnologia agrônômica**

- a. Prospecção de novas espécies oleaginosas, de maior densidade energética, de ampla adaptação edafoclimática;
- b. Formação, caracterização e manutenção de bancos de germoplasma de novas espécies oleaginosas e ampliação dos atuais bancos;
- c. Zoneamento agroecológico das oleaginosas convencionais e potenciais;
- d. Desenvolvimento de cultivares, variedades e híbridos, de oleaginosas convencionais e potenciais;
- e. Desenvolvimento de tecnologias de nutrição vegetal de plantas oleaginosas;
- f. Desenvolvimento de tecnologias de sanidade vegetal de plantas oleaginosas;
- g. Desenvolvimento de sistemas de manejo de culturas de plantas oleaginosas;
- h. Desenvolvimento de sistemas de colheita e processamento, objetivando a racionalização das atividades de extração de óleo e aproveitamento de co-produtos e resíduos;
- i. Introdução de novas características por técnicas biotecnológicas (resistência a pragas, tolerância a seca, tolerância a acidez e salinidade do solo, maior eficiência no uso de nutrientes);
- j. Desenvolver estudos com o ciclo de vida e balanço de energia de sistemas de produção de oleaginosas, objetivando reduzir o input energético dos sistemas e a substituição de fontes de carbono fóssil por fontes renováveis;

### **3.7.3.2.2 - Tecnologia industrial**

- a.** Melhoria de processos de extração de óleo, em especial para plantas de pequeno e médio porte;
- b.** Desenvolvimento e aprimoramento de rotas tecnológicas de produção de biodiesel;
- c.** Desenvolver estudos de catalisadores e reagentes dos processos industriais;
- d.** Promoção da melhoria da eficiência dos processos de produção de biodiesel;
- e.** Desenvolver processos para aproveitamento de flotantes da indústria de processamento de produtos de origem animal;;
- f.** Desenvolver processos para transformação de resíduos orgânicos, com risco sanitário, em fontes energéticas;
- g.** Desenvolver processos para aproveitamento de sebo da indústria de processamento de produtos de origem animal
- h.** Promoção da melhoria de processos para aprimorar a qualidade e aumentar o tempo de armazenamento de biodiesel;
- i.** Avaliação de impacto do biodiesel em motores e sistemas conexos;
- j.** Promoção da melhoria de motores e sistemas conexos para uso com biodiesel;
- k.** Realização de estudos de emissões de motores operando com biodiesel;
- l.** Desenvolvimento de tecnologias para aproveitamento de tortas na alimentação humana ou animal;
- m.** Desenvolvimento de novos produtos derivados do glicerol;
- n.** Desenvolvimento de processos para aproveitamento da biomassa de oleaginosas na indústria de química fina e farmacêutica;
- o.** Desenvolvimento de novos produtos baseados na oleoquímica;
- p.** Integração de diferentes cadeias de agroenergia, como etanol/biodiesel, florestas/biodiesel, biogás/biodiesel, aproveitamento de resíduos/biodiesel.

### 3.7.3.3 - Florestas energéticas

#### 3.7.3.3.1 - *Tecnologia silvícola*

- a. Estabelecimento da dinâmica dos sistemas de produção de energia de biomassa;
- b. Estabelecimento de parâmetros silviculturais (espaçamento, adubação, rotação, etc.) que maximizem a produção da biomassa florestal de forma sustentável;
- c. Definição de sistemas de usos múltiplos adaptados a pequenos produtores florestais;
- d. Desenvolvimento de tecnologias para implantação e manejo de florestas energéticas em áreas marginais para a agricultura e em áreas degradadas por mau uso agrícola;
- e. Desenvolvimento de novas práticas de manejo e esquemas de colheita específico para geração de biomassa para energia;
- f. Identificação e seleção de espécies florestais alternativas ao eucalipto com adequado poder calorífico, para a produção de biomassa florestal em diferentes regiões brasileiras, incluindo espécies de bambu;
- g. Desenvolvimento de arranjos agroflorestais adaptados à pequena propriedade rural;
- h. Identificação de alternativas de produção de biomassa florestal proveniente de atividades não madeireiras;
- i. Melhoria das técnicas de colheita, transporte e armazenamento de biomassa;
- j. Desenvolvimento de modelos de planejamento integrado, incluindo as diversas fontes de energia, tecnologias para uso eficiente, meio ambiente, etc;
- k. Desenvolvimento de modelos e ferramentas de análise da viabilidade técnico-econômica e do potencial de mercado das fontes alternativas;
- l. Uso prático da tecnologia de sistema de informação geográfica ao planejamento do uso de energia de biomassa florestal.

### **3.7.3.3.2 - Tecnologia industrial**

- a.** Desenvolvimento de estudos da gaseificação de biomassa;
- b.** Desenvolvimento de processos mais eficientes para uso de madeira como energético no setor residencial;
- c.** Desenvolvimento de tecnologias para a recuperação dos produtos gasosos condensáveis na carbonização da madeira;
- d.** Viabilização do uso de combustíveis complementares para tecnologias já comerciais (co-geração, queima direta no setor de papel e celulose);
- e.** Desenvolvimento de tecnologias para resolver problemas de baixa eficiência de processos de geração de energia a partir de biomassa florestal;
- f.** Estabelecimento de protocolos, certificação e padrões técnicos para tecnologias de suprimento e uso de energia a partir da biomassa florestal;
- g.** Melhorar a eficiência dos processos de geração de energia de biomassa florestal (lenha, carvão, resíduos da exploração; resíduos das indústrias de transformação) para geração de energia para setores industriais de pequena e média escala;
- h.** Desenvolvimento de estudos sobre qualidade do carvão vegetal para uso em altos fornos dando ênfase aos estudos sobre finos de carvão;
- i.** Desenvolvimento de tecnologias para a recuperação e pré-processamento de resíduos oriundos de atividades do setor de base florestal e da industrialização de dendê;
- j.** Desenvolvimento de tecnologias relacionadas a gaseificação e conversão lignocelulósica à etanol;
- k.** Desenvolvimento de processos de pirólise de biomassa para produção de bio-óleo;
- l.** Desenvolvimento de tecnologias limpas e eficientes de combustão a carvão, tais como leito fluidizado, leito fluidizado pressurizado e gaseificação;
- m.** Geração de tecnologias de combustão avançada e mista;

### 3.7.3.4 - Biogás

- a. Desenvolvimento e avaliação da cinética de digestão anaeróbia nos diferentes modelos de biodigestores existentes;
- b. Desenvolvimento de novos modelos biodigestores com isolamento térmico, agitação e aquecimento da biomassa, para aumentar a produção de biogás e melhorar a eficiência de remoção da matéria orgânica;
- c. Avaliação do uso de biodigestores como unidade de tratamento dos resíduos da produção de suínos e aves, eliminando perigos sanitários;
- d. Desenvolvimento e avaliação de sistemas complementares para o tratamento final dos resíduos líquidos do biodigestor;
- e. Avaliação das características quantitativa e qualitativa do biogás em função do efeito da sazonalidade climática e dos sistemas de produção de animais;
- f. Avaliação e desenvolvimento de modelos matemáticos para estimar a geração de biogás e a avaliação das características quantitativa e qualitativa do biogás em função do efeito da sazonalidade climática;
- g. Avaliação do uso do biofertilizante, como adubo orgânico, em substituição aos adubos químicos em sistemas de plantio de grãos e pastagens;
- h. Avaliação dos riscos ambientais, em águas superficiais e profundas, com o uso intensivo do biofertilizante orgânico, em sistemas de plantio de grãos e pastagens;
- i. Desenvolvimento de equipamentos para o uso do biogás, como fonte de calor para o aquecimento do ambiente interno das instalações para a criação de suínos e aves, em substituição ao GLP e a Lenha;
- j. Desenvolvimento de equipamentos para o uso do biogás como fonte de calor na secagem de grãos, em substituição ao GLP e a Lenha;
- k. Desenvolvimento de equipamentos para a compressão e transporte do biogás a baixa pressão;
- l. Desenvolvimento de máquinas e equipamentos para o transporte e distribuição do biofertilizante, tendo como fonte de energia o biogás;

- m.** Desenvolvimento e adaptação de motores e geradores, para a produção de energia elétrica, em sistemas de produção de animais, tendo como combustível o biogás;
- n.** Desenvolvimento de geradores de energia elétrica através do uso de células a combustível, com membrana de troca iônica, tendo como fonte o biogás;
- o.** Desenvolvimento de sistemas de armazenamento para o biogás a baixa pressão, para o uso nas propriedades produtoras de suínos e aves;
- p.** Desenvolvimento de sistemas de tratamento e purificação do biogás, com a finalidade de reduzir seu poder de corrosão, diminuir sua umidade e aumentar a relação de metano para aumentar sua capacidade calorífica.

#### **3.7.3.5 - Aproveitamento de resíduos e dejetos**

- a.** Desenvolver tecnologias para o aproveitamento energético de resíduos da produção agrícola;
- b.** Desenvolver tecnologias para o aproveitamento energético de dejetos da produção, pecuária e florestal e da agroindústria;
- c.** Desenvolver tecnologias para o aproveitamento energético de resíduos da produção florestal;
- d.** Desenvolver tecnologias para o aproveitamento energético de resíduos da agroindústria;
- e.** Desenvolver tecnologias para a eliminação de compostos orgânicos resultantes da produção agropecuária, com risco sanitário, utilizando-os na produção de agroenergia;
- f.** Desenvolver tecnologias para adensamento energético e outras formas de aproveitamento de serrados, lascas, maravalhas e outros resíduos da transformação madeireira
- g.** Desenvolver tecnologias para a utilização dos resíduos pós obtenção de energia para outras finalidades, como correção de acidez ou fertilidade do solo;
- h.** Promover a integração dos conceitos de agroenergia e mercado de carbono;
- i.** Interfacear com as redes de pesquisa para aproveitamento de esgotos urbanos para fins energéticos.

## 4. Referências bibliográficas

- Abou Nohra, J.; Barrington, S.; Frigon, J.C.; Guiot, S.R. In storage psychrophilic anaerobic digestion of swine slurry. **Resources Conservation and Recycling**, 38, 23-37p. 2003,
- Abreu, P.G.; Abreu, V.M.N. **Conforto Térmico para Aves**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2004. Comunicado Técnico, 365, 5p.
- Al Seadi, T.; MølleR, H.B. Separation of Slurry – A potential option fo the Animal Production sector. **European Biogas Workshop**. University of Southern Denmark: Esbjerg, Denmark, 2003.
- Andreae M.O. *Biomass burning: Its history, use, and distribution and its impacts on the environmental quality and global change*, in: J.S. Levine (ed) *Global Biomass Burning: Atmospheric, Climatic, and Biosphere Implications*, Cambridge, MA, MIT Press, pp. 3-21. 1991.
- Assad, E. D., Pinto, H. S., Zullo J. J. e Ávila, A. M. H. - Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, v.39, n.11, p.1057-1064, nov. 2004.
- Axaopoulos P. E Panagakis P. Energy end economic analysis of biogas heated livestock buildings. **Biomass and Bioenergy**, 24. 239-248, 2003.
- Axaopoulos, P.; Panagakis, P.; Tsavdaris, A. Georgakakis, D. Simulation and experimental performance of a solar-heated anaerobic digester. **Solar Energy**. v. 70, n. 2, p. 155-164, 2001.
- Baêta, F. C. e Souza, C. F. **Ambiência em edificações rurais – conforto animal**. Viçosa - Minas Gerais: Editora UFV - Imprensa Universitária, 1997, 246 p.
- Batzias, F.A; Sidiras, E.K.; Spyrou, E.K. Evaluating livestock manures for biogas production: a GIS based method. **Renewable Energy** 30, 1161-1176p. 2005.
- Benincasa M., Ortolani A. F. e Lucas Junior J. **Biodigestores convencionais?** Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, UNESP, Jaboticabal-SP. 2ª ed., 25p. 1991.
- BIOMASS ENERGY INSTITUTE INC. **Biogas production from animal manure**. Manitoba: 1978. 21 p.
- Brasil. Ministério de Minas e Energia. **Balanco energético nacional**. Disponível em: <[http://ftp.mme.gov.br/Pub/Balanco/BEN/Portugues/Benp99 .pdf](http://ftp.mme.gov.br/Pub/Balanco/BEN/Portugues/Benp99.pdf)> Acesso em: 21 out. 2004.
- CCE- Centro para a Conservação de Energia. **Guia Técnico de Biogás**. AGEEN – Agência para a Energia, Amadora, Portugal. 117 p. 2000.
- Chaves, R.; Cavalcanti, I. Atmospheric circulation features associated with rainfall variability over southern northeast Brazil. **Monthly Weather Review** 129(10):2614-20. 2001.
- Chernicharo C.A.L. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: biodigestores anaeróbios**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG, 1997. v. 5, 246p.
- Coelho, S. T., Mecanismos para implementação da co-geração de eletricidade a partir de biomassa. Um modelo para o estado de São Paulo, tese de doutorado, PIPGE, USP, São Paulo, Brasil, 1999.
- CRUZ, V.M.F.; SOUSA, P. Analysis of methodologies estimation of animal heat and moisture production. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO Y DEL CARIBE DE INGENIERIA AGRIA, Costa Rica, 2004. **Anais.....Costa Rica**.

- Curtis, S.E. **Environmental management in animal agriculture**. Ames, Iowa: Iowa State University Press. 1983.
- Daubdoub, M. 2005. [http://www.dabdoub-labs.com.br/Sintese\\_projeto.htm#Reducao\\_de\\_Emissoes\\_Toxicas](http://www.dabdoub-labs.com.br/Sintese_projeto.htm#Reducao_de_Emissoes_Toxicas)
- Demirci, G.G.; Demirer, G.N. Effect of initial COD concentration, nutrient addition, temperature and microbial acclimation on anaerobic treatability of broiler and cattle manure. **Bioresource Technology**, 93:109-117p. 2004.
- Dohanyos M., Kosova B, Zabranska J. e GraU P. Production and utilization of VFA's in various types of anaerobic reactors. **Water Sciences Technology**, 1985;17:191-205.
- Energiahp. **Biodigestores e o Biogás**. Disponível Internet via url: [www.energiahp.hpg.ig.com.br/](http://www.energiahp.hpg.ig.com.br/) . Arquivo capturado em 06 de fevereiro, 2003.
- Fialho, E.T. Influência da temperatura sobre a utilização de proteína e energia em suínos em crescimento e terminação.. **In: Simpósio Latino Americano de Nutrição de Suínos**, São Paulo-SP, 1994. Anais.....São Paulo, CBNA, p. 63-83.
- Galesne, A.; Fensterseifer, J.; Lamb, R. **Decisões de Investimento da Empresa**. São Paulo: Editora Atlas, 1999
- Haven, R.P.J.M.; Gregersen, K.H. Biogas plants in Denmark: successes and setbacks. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 1-18p. 2005.
- Holanda, A. **Cadernos de Altos Estudos - biodiesel e inclusão social**. Câmara dos Deputados: Brasília, 2004. 189p.
- Hoogwijk, M., den Broek, R., Berndes, G., Faaij, A. (2001). *A Review of Assessments on the Future of Global Contribution of Biomass Energy*, in 1st World Conference on Biomass Energy and Industry, Sevilla, James & James, London (in press);
- IEA (International Energy Agency).- *World Energy Outlook*. Published by IEA, Paris, 2004, 500 p. 2004.
- KashyaP, D.R.; Dadhich, K.S.; Sharma, S.K. Biomethanation under psychrophilic conditions: a review. **Bioresource Tecnology** 87:147-153p. 2003.
- Kellerher, B.P.; Leahy, J.J.; Henihan, A M.; O'dwyer, T.F. Sutton, D.; Leahy, M.J. Advances in poultry litter disposal technology: a review. **Bioresource Tecnology**, 83:27-36p. 2002.
- Kunz, A.,Higarashi, M.M.,Oliveira, P.A.V. de, Mattei, R.M.,Miguel, W.C. Utilização de biogestor abastecido com dejetos de suínos em uma pequena propriedade rural. **In: SIMPOSIO GAUCHO DE Educação AMBIENTAL, 3., 2004, Erechim, RS**. [Anais...] Erechim: URI, 2004. 1CDROM.
- Kunz, A.,Perdomo, C.C.,Oliveira, P.A.V. de,. Biodigestores: avanços e retrocessos. **Suinocultura Industrial**, v.26, n.4, p.14-16, 2004.
- La Farge, B. de. **Le biogaz: procédés de fermentation méthanique**. Paris: Masson, 1995. 237p.
- Larson, E.D., Kartha, S. *Expanding roles for modernised biomass energy*, Energy for Sustainable Development (4) (3): 15-25. 2000.
- Le Dividich, J.; Noblet, J.; Herpin, P.;Van Milgen, J.; Quiniou, N. **Thermoregulation**. Progress in Pig Science/ Thrumpton, Nottingham: Nottingham University Press. 1998, p. 229 – 263.

- Lucas Junior, J. **Algumas considerações sobre o uso do estrume de suínos como substrato para três sistemas de biodigestores anaeróbios**. 1994. 113f. Tese (Livre-Docência) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.
- Lucas Junior, J. **Estudo comparativo de biodigestores modelo indiano e chinês**. 1987. 114f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.
- Macedo, I. C. - Estado da arte e tendênciatecnológicas para energia. CT-ENERG – CGEE - Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. Relatório. 90p. 2002.
- Magbanua Jr, B.S.; Adams, T.T.; Johnston, P. Anaerobic codigestion of hog and poultry waste. **Bioresource Technology** 76:165-168p. 2001.
- Martinez, J.; Guiziou, F.; Peu, P.; Gueutier, V. Influence of treatment techniques for pig slurry on methane emissions during subsequent storage. **Biosystems Engineering** 85(3):347-354p. 2003.
- Massé D. I. e Masse L. The effect of temperature on slaughterhouse wastewater treatment in anaerobic sequencing batch reactors. **Bioresource Technology** 76, 91-98, 2001.
- Massé D. I., Masse L. e Croteau F. The effect of temperature fluctuations on psychrophilic anaerobic sequencing batch reactors treating swine manure. **Bioresource Technology** 89, 57-62, 2003.
- Møller, H.B.; Sommer, S.G.; Ahring, B.K. Methane productivity of manure, straw and solid fractions of manure. **Biomass and Bioenergy** 26:485-495p. 2004.
- Murphy, J.D.; McKEogh, E. The benefits of integrated treatment of wastes for the production of energy. **Energy** 1-17p. 2005.
- Mussa, M. - A Global Growth Rebound: How Strong for How Long? (Institute for International Economics, September 9, 2003), [www.iie.com/publications/papers/mussa0903.pdf](http://www.iie.com/publications/papers/mussa0903.pdf). (acessado em 13/6/2005)
- Nascimento E. F. e Lucas Junior J. Biodigestão anaeróbia do estrume de suínos: produção de biogás e redução de sólidos em cinco tempos de retenção hidráulica. **Energia na Agricultura**. v. 10, n. 14, p. 21-31, 1995.
- National Academy of Sciences. **Methane generation from human, animal and agricultura wastes**. Washington, 1977. 131 p.
- Oddone, D. C., *Cogeração: uma alternativa para produção de eletricidade*, tese de mestrado, PIPGE, USP, São Paulo, Brasil, 2001
- Oliveira, P. A. V. de. (Coord.) **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos**. Concórdia: CNPSA-EMBRAPA, 1993. 188p. (EMBRAPA-CNPSA.. Documentos, 27).
- Oliveira, P. A. V. Tecnologia para o manejo de resíduos na produção de suínos: manual de boas praticas. **Programa Nacional de Meio Ambiente-PNMA II**, Embrapa Suínos e Aves, Concórdia, SC, 2004. 109 p.
- Oliveira, P.A.V. **Comparaison des systèmes d'élevage des porcs sur litière de sciure ou caillebotis intégral**. Thèse de Docteur, N° :99-24, D-32, I' ENSA de Rennes, France, 272 p., 1999.
- Oliveira, P.A.V. de, Higarashi, M.M., Nunes, M.L.A., Efeito estufa: Emissão de gases, na Suinocultura, que provocam o efeito estufa. **Suinocultura Industrial**, v.25, n.7, p.16-20, 2003.

Oliveira, P.A.V. de, Otsubo, C.S. Sistema simples para produção de biogás com o uso de resíduos de suínos e aves. **Gerenciamento Ambiental**, v.4, n.19, p.00-00, 2002.

Oliveira, P.A.V. de, Potencial de produção e utilização de biogás na avicultura comercial. In: ENCONTRO DE AVICULTORES DO ESTADO DE SAO PAULO, 27.; **JORNADA TÉCNICA**, 24., 2001, Bastos, SP. **Anais... Bastos** : SINDICATO RURAL DE BASTOS, 2001. p.16-28.

Oliveira, P.A.V. de; Perdomo, C.C.; Bellaver, C. Utilização do biogás na tostagem do soja integral. Concórdia : EMBRAPA-CNPSA, 1985. 3p. (**EMBRAPA-CNPSA. Comunicado Técnico**, 94).

Oliveira, P.A.V. Influencia da temperatura na produção de biogás. In: **REUNIAO SOBRE A INFLUENCIA DA TEMPERATURA NA BIODIGESTAO ANAEROBIA**, 1., 1983, Santa Maria. **Anais... Santa Maria** : MA/EMBRATER/UFSM/CNPq/FAO/OLADE/EMATER-RS/Rede Biogás, 1983. p.31-38.

Oliveira, P.A.V. Modelo matemático para estimar a evaporação d'água contida nos dejetos, em sistemas de criação de suínos sobre cama de maravalha e piso ripado, nas fases de crescimento e terminação. [Mathematical model for estimating the water evaporation ...]. **Journal of the Brazilian Society of Agricultural Engineering**, v.23, n.3, p.398-626, set/dez 2003.

Oliveira, P.A.V. Modelo matemático para estimar a evaporação d'água contida nos dejetos, em sistemas de criação de suínos sobre cama de maravalha e piso ripado, nas fases de crescimento e terminação. [Mathematical model for estimating the water evaporation ...]. **Journal of the Brazilian Society of Agricultural Engineering**, v.23, n.3, p.398-626, set/dez 2003.

Oliveira, P.A.V.; Higarashi, M.M.; Matei, R.M.; Mendes, G.L. **Uso dos resíduos de sistema de crescimento e terminação de suínos para a produção de biogás**. In: Congresso Brasileiro De Veterinários Especialistas em Suínos, 12., 2005, Recife, PE. **Anais... Concórdia: Embrapa Suínos e Aves**, 2005. (No prelo).

Oliveira, P.A.V.; Robin, P. ; Kermarrec, C.; Souloumiac, D.; Dourmad, J.Y. **Comparaison des productions de chaleur en engraissement de porcs sur litière de sciure ou sur caillebotis intégral**. Ann. Zootech. Elsevier/INRA (48) 117-129, 1999.

OPEC (Organization of the Petroleum Exporting Countries) 2005 – Statistical Bulletin - [http://www.opec.org/library/Annual Statistical Bulletin/asb2003.htm](http://www.opec.org/library/Annual%20Statistical%20Bulletin/asb2003.htm) (acessado em 15/5/2005).

Parkin G.F. e Owen W.F. Fundamentals of anaerobic digestion of wastewater sludges. **J Environ Eng ASCE**;112(5):867–920. 1986.

Perdomo, C.C. **Análise de diversos tipos de construções para suínos, utilizadas no Sul do Brasil**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Faculdade de Agronomia. Porto Alegre. 1984. Tese de Mestrado.

Porter, A. - Is the world's oil running out fast? BBC News, UK Edition (Monday, 7 June, 2004, 07:41 GMT) <http://news.bbc.co.uk/1/hi/business/3777413.stm>

Rezende, A.P.; Prado, N.J.S.; Santos, E.P. A energia renovável e o meio ambiente. In: SIMPÓSIO ENERGIA, AUTOMAÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO, CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas. **Trabalhos publicados**. Poços de Caldas: [s.n.], 1998. p.1-17.

Robin, P.,Souloumiac, D.,Oliveira, P.A.V. de, **Misting systems for poultry - dimension and applications**. In: SIMPOSIO INTERNACIONAL SOBRE AMBIENCIA E SISTEMAS DE PRODUÇÃO AVICOLA, 1998, Concórdia, SC. **Anais... Concórdia** : EMBRAPA-CNPSA, 1998. p.84-95.

- Rosillo-Calle, F. - Overview of Biomass Energy, in Landolf-Bornstein Handbook, Vol. 3, Chapter 5: Biomass Energy, Springer-Verlag. (2001).
- Sanchez, E.; Borja, R.; Travieso, L.; Martin, A.; Colmenarejo, M.F. Effect of organic loading rate on the stability, operational parameters and performance of a secondary upflow anaerobic sludge bed reactor treating piggery waste. **Bioresource Technology**, 96, 2005, 335-344p.
- Santos, T.M.B. dos. **Balço energético e adequação do uso de biodigestores em galpões de frangos de corte**. 2001. 179f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da UNESP, Jaboticabal.
- Scherer, E.E.; Aita, C.; Baldissera, I.T. **Avaliação da qualidade do esterco líquido de suínos da região Oeste Catarinense para fins de utilização como fertilizante**. Florianópolis: EPAGRI, 1996, 46 p. (EPAGRI. Boletim Técnico, 79).
- Silva F. M., Lucas JR. J. e Benincasa, M. Adaptação e desempenho de um aquecedor de água a biogás. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE INGENIERIA AGRICOLA, 1994, Chillan-Chille. **Trabalhos...**
- Silva, R.G. Trocas térmicas em Aves. **Ambiência na Produção de Aves em Clima Quente**, vol1. Ed. Iran José Oliveira da Silva – Piracicaba – SP, 2001, p88 - 124.
- Smil, V., (1999). *Crop Residues: Agriculture's Largest Harvest*, BioScience 49 (4): 299-308;
- Souloumiac, D., Etude des microclimat réalisables dans des enceintes énergétiquement autonomes soumises à des flux de chaleur d'origine métabolique. **Thèse de Doctorat**, I.N.A. , Paris-Grignon, 185 p. 1995.
- Sousa, P. **Avaliação do índice de conforto térmico para matrizes suínas em gestação segundo as características do ambiente interno**. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas. 2002. Tese de Doutorado.
- Souza C. F. **Biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos: obtenção de dados e aplicação no desenvolvimento de um modelo dinâmico de simulação da produção de biogás**. 2001. 140 p. Tese (Doutorado em Zootecnia - Produção Animal) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2001.
- Souza C. F., Lucas Junior J. e Ferreira W. P. M. Biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos sob efeito de três temperaturas e dois níveis de agitação do substrato - considerações sobre a partida. In: **XXXI - CONBEA**, 2002, Engenharia Agrícola para o desenvolvimento sustentável: Água, Energia e Meio ambiente. CD-ROM. Salvador - Bahia.
- Unger, P.W. Sunflower. In: STEWART, B. A. & NIELSEN, D.R. (Ed.) Irrigation of agricultural crops, Madison: American Society of Agronomy. p.775-794, (Agronomy, 30). 1990.
- Van Lier J. B., SanZ Martin J. L. e Letinga G. Effect of temperature on anaerobic thermophilic conversion of volatile fatty acids by and granular sludge. **Water Research**, 30:199-207. 1996.
- Visser A., Gao Y. e Letinga G. Effects of short-term temperature increase on the mesophilic anaerobic breakdown of sulfate containing synthetic wastewater. **Water Research**, 27:541-5501. 1993.
- Walter, A. C. S., *Viabilidade e perspectivas da co-geração e geração termelétrica no setor sucro-alcooleiro*, tese de doutorado, Unicamp, Campinas, 1994.
- Williams, J. - WTRG Economics <http://www.wtrg.com/prices.htm> (acessado em 15/6/2005).

Woods, J., Hall, D.O., (1994). *Bioenergy for Development: Technical and Environmental Dimensions*, FAO Environment and Energy Paper 13. FAO, Rome;

World Bank, Global Economic Prospects 2004: Realizing the Development Promise of the Doha Agenda (Washington, DC, September 2003), Appendix 1, "Regional Economic Prospects," p. 239, web site [www.worldbank.org/prospects/gep2004/full.pdf](http://www.worldbank.org/prospects/gep2004/full.pdf).

Wyllen, G. J. V, Sonntag, R. E. **Fundamentos da Termodinâmica Clássica**. Ed. Edgard Blucher. 1976.

Yadvika, Santosh, Sreekrishnan, T.R.; Kohli, S.; Rana, V. Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques: a review. **Bioresource Technology** 95:1-10p. 2004.

Zago, S. **Potencialidade de produção de energia através do biogás integrada à melhoria ambiental em propriedades rurais com criação intensiva de animais, na região do meio oeste catarinense**. 2003. 103f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Regional de Blumenau, Centro de Ciências Tecnológicas, Blumenau.

## 5. Glossário

Yotta - (Y) $10^{24}$

Zetta - (Z) $10^{21}$

Exa - (E) $10^{18}$

Peta - (P) $10^{15}$

Terá - (T) $10^{12}$

Giga - (G) $10^9$

Mega - (M) $10^6$

Kilo - (k) $10^3$

Hecto - (h) $10^2$

Deka - (d) $10^1$

Tep ou toe - Tonelada equivalente de petróleo

OPEP - Organização dos Países Exportadores de Petróleo

IEA - International Energy Agency



*Impressão e acabamento*  
**Embrapa Informação Tecnológica**