

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

# Plano Nacional de Agroenergia

2006 – 2011

2ª edição revisada

*Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento  
Secretaria de Produção e Agroenergia*

# Plano Nacional de Agroenergia 2006–2011

**2ª edição revisada**

*Embrapa Informação Tecnológica,  
Brasília, DF  
2006*

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

**Secretaria de Produção e Agroenergia**

Esplanada dos Ministérios, Bloco D, 7º andar

CEP 70043-900 Brasília, DF

daa@agricultura.gov.br

www.agricultura.gov.br

**Embrapa Informação Tecnológica**

Coordenação Geral

*Fernando do Amaral Pereira*

Coordenação editorial

*Lillian Alvares*

*Lucilene M. de Andrade*

Copy desk, revisão de texto e tratamento editorial

*Corina Barra Soares*

Normalização bibliográfica

*Simara Gonçalves Carvalho*

*Celina Tomaz de Carvalho*

Projeto gráfico, editoração eletrônica e capa

*Carlos Eduardo Felice Barbeiro*

**1ª edição**

1ª impressão (2005): 1.000 exemplares

**2ª edição**

1ª impressão (2006): 1.000 exemplares

**Elaboração do conteúdo**

Coordenadores

*Antônio Jorge de Oliveira* (Embrapa/SGE)

*José Ramalho* (Mapa/AGE)

Equipe Técnica

*André Cau dos Santos* (Embrapa/SGE)

*Ângelo Bressan Filho* (Mapa/SPAE)

*Décio Luiz Gazzoni* (Embrapa Soja)

*Elísio Contini* (Mapa/AGE)

*Evandro Chartuni Mantovani* (Embrapa/SGE)

*Frederique Rosa e Abreu* (Mapa/SPAE)

*José Nilton de Souza Vieira* (Mapa/SPAE)

*Luiz Jésus D'Ávila Magalhães* (Embrapa/SGE)

Colaboradores

*Airton Kunz* (Embrapa Suínos e Aves)

*Alexandre Betinardi Strapasson* (Mapa/SPAE)

*Cláudio Bellaver* (Embrapa Suínos e Aves)

*Honorino Roque Rodigheri* (Embrapa Florestas)

*Moacir José Sales Medrado* (Embrapa Florestas)

*Paulo Armando Victoria de Oliveira* (Embrapa Suínos e Aves)

*Sérgio Gaiad* (Embrapa Florestas)

**Todos os direitos reservados.**

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Embrapa Informação Tecnológica.

---

Plano Nacional de Agroenergia 2006-2011 / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Secretaria de Produção e Agroenergia. 2. ed. rev. - Brasília, DF : Embrapa Informação Tecnológica, 2006.

110 p.

Coordenadores: Antônio Jorge de Oliveira e José Ramalho.

ISBN 85-7383-357-2

1. Agricultura. 2. Biocombustível. 3. Bioenergia. 4. Política ambiental. 5. Políticas públicas.  
I. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Produção e Agroenergia.

CDD 333.79

---

© Embrapa 2006

# Apresentação

O Plano Nacional de Agroenergia, em sua segunda edição, reúne ações estratégicas do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, pautadas na sua missão de “promover o desenvolvimento sustentável e a competitividade do agronegócio em benefício da sociedade brasileira”, e também as diretrizes gerais de governo, particularmente as constantes do documento Diretrizes de Política de Agroenergia.

O Brasil assumiu a liderança mundial na geração e na implantação de uma moderna tecnologia de agricultura tropical e possui pujante agroindústria. Nela se destaca a cadeia produtiva do etanol, reconhecida como a mais eficiente do mundo, a qual é conduzida por classe empresarial dinâmica, acostumada a inovar e a assumir riscos.

Uma série de vantagens qualificam o Brasil a liderar a agricultura de energia e o mercado da biocombustíveis em escala mundial, com a possibilidade de dedicar novas terras a essa atividade, sem, com isso, ampliar a área desmatada e sem reduzir a área utilizada na produção de alimentos, mantendo os impactos ambientais circunscritos aos socialmente aceitos. Além disso, sabe-se que, em muitas áreas do País, é possível fazer múltiplos cultivos de sequeiro em um ano, capacidade essa que pode ser ampliada recorrendo-se à irrigação.

A importância da agroenergia para a matriz brasileira de combustíveis exige uma definição de objetivos estratégicos nacionais de médio e longo prazos, que levem a um pacto entre a sociedade e o Estado, para que juntos promovam os seguintes benefícios: a redução do uso de combustíveis fósseis; a ampliação da produção e do consumo de biocombustíveis; a proteção ao meio ambiente; o desfrute desse mercado internacional; e, por fim, a contribuição para a inclusão social.

O investimento em pesquisa é a base para o desenvolvimento de tecnologias de produção agrícola, permitindo a identificação de plantas mais aptas, sistemas de produção mais eficientes e regiões com elevado potencial de produção. Novas tecnologias industriais representam a essência da transformação de produtos agrícolas em biocombustíveis.

Este Plano Nacional de Agroenergia estabelece, ao mesmo tempo, um marco e um rumo para as ações públicas e privadas de geração de conhecimento e tecnologias que contribuam para a produção sustentável da agricultura de energia e para o uso racional dessa energia renovável. Tem por meta prioritária tornar competitivo o agronegócio brasileiro e dar suporte às políticas públicas voltadas à inclusão social, à regionalização do desenvolvimento e à sustentabilidade ambiental.

A participação de todos os segmentos vinculados a essa cadeia da agroenergia é condição para enfrentar tamanho desafio. Para tal, contamos com o trabalho dos servidores deste Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, dos produtores rurais e suas lideranças, além de professores, pesquisadores e da sociedade em geral, num esforço conjunto, cujo maior propósito é a autonomia e o desenvolvimento do País.

*Luís Carlos Guedes Pinto*

Ministro da Agricultura, Pecuária e Abastecimento



# Sumário

<b>Resumo-Executivo .....</b>	<b>7</b>
<b>Fundamentos .....</b>	<b>11</b>
<b>Programa de Pesquisa em Agroenergia .....</b>	<b>15</b>
<b>Parcerias Institucionais para a Agroenergia .....</b>	<b>30</b>
<b>Criação da Embrapa Agroenergia .....</b>	<b>32</b>
<b>Promoção do Mercado Internacional de Biocombustíveis .....</b>	<b>34</b>
<b>Outras Ações de Governo .....</b>	<b>37</b>
<b>Anexo 1 – Panorama Energético Atual e Perspectivas .....</b>	<b>41</b>
<b>Anexo 2 – As Cadeias Produtivas de Agroenergia .....</b>	<b>61</b>
<b>Referências .....</b>	<b>105</b>
<b>Literatura Recomendada .....</b>	<b>107</b>



# Resumo-Executivo

***O Plano Nacional de Agroenergia visa organizar e desenvolver proposta de pesquisa, desenvolvimento, inovação e transferência de tecnologia para garantir sustentabilidade e competitividade às cadeias de agroenergia. Estabelece arranjos institucionais para estruturar a pesquisa, o consórcio de agroenergia e a criação da Unidade Embrapa Agroenergia. Indica ações de governo no mercado internacional de biocombustíveis e em outras esferas.***

A estratégia prevista está vinculada à política global do governo federal, de acordo com o documento *Diretrizes da Política de Agroenergia*.

A demanda de energia no mundo sinaliza aumento de 1,7% ao ano, de 2000 a 2030, quando alcançará o consumo de 15,3 bilhões tep (toneladas equivalentes de petróleo) por ano, de acordo com o cenário traçado pelo Instituto Internacional de Economia (MUSSA, 2003). Se a matriz energética mundial não for alterada, os combustíveis fósseis responderão por 90% desse aumento. No entanto, as reservas mundiais comprovadas de petróleo somam 1,137 trilhão de barris, 78% dos quais no subsolo dos países da Opep, volume que permite suprir a demanda mundial por cerca de 40 anos, mantido o atual nível de consumo. É evidente que tanto as reservas quanto o consumo incrementarão, mas se prevê que as reservas crescerão menos ao longo desse período.

A viabilidade econômica da bioenergia passa, necessariamente, pela avaliação de seu custo em relação ao preço do petróleo. Atualmente (2006), o nivelamento entre o preço do álcool e o da gasolina (sem tributação) ocorre quando a cotação do barril de petróleo oscila entre US\$ 30,00 e US\$ 35,00. Por ser tecnologia ainda imatura, estima-se que a relação de paridade só se dê com o barril a US\$ 60,00 para o caso do biodiesel, porém com tendência de queda acentuada nos próximos anos. As condições econômicas estão postas para que o agronegócio brasileiro incorpore o biodiesel como um de seus componentes de maior importância, somando-se ao etanol e às demais formas de agroenergia. As pressões sociais (emprego, renda, fluxos migratórios) e ambientais (mudanças climáticas, poluição) reforçam e consolidam essa postura, além de antecipar cronogramas.

O Brasil tem uma série de vantagens que o qualificam a liderar a agricultura de energia e o mercado da bioenergia – o biomercado – em escala mundial. A primeira é a possibilidade de dedicar novas terras à agricultura de energia, sem necessidade de reduzir a área utilizada na agricultura de alimentos, e com impactos ambientais circunscritos ao socialmente aceito. Além disso, em muitas áreas do País, é possível



fazer múltiplos cultivos sem irrigação, em um ano. Com irrigação, essa possibilidade amplia-se muito.

Por situar-se, predominantemente, nas faixas tropical e subtropical, o Brasil recebe durante todo o ano intensa radiação solar, que é base da produção de bioenergia. Além disso, o País tem ampla diversidade de clima e exuberância de biodiversidade, além de possuir um quarto das reservas de água doce.

O Brasil assumiu, com sucesso, a liderança mundial na geração e na implantação de moderna tecnologia de agricultura tropical e possui pujante agroindústria. Destaca-se a cadeia produtiva do etanol, reconhecida como a mais eficiente do mundo, conduzida por classe empresarial dinâmica, acostumada a inovar e a assumir riscos.

Finalmente, o mercado consumidor tem tamanho suficiente para permitir ganhos de escala que reforçam a competitividade do negócio da bioenergia em sua escalada rumo ao biomercado mundial.

A curto prazo, uma das forças propulsoras da demanda por agroenergia será a pressão ambiental pela substituição de combustíveis fósseis. A concentração de gás carbônico na atmosfera aumentou 31% nos últimos 250 anos. A queima de combustíveis fósseis e a produção de cimento são responsáveis por 75% da emissão desse gás.

O Plano Nacional de Agroenergia, lastreado nos fatos e nas premissas expostos, visa a:

***Estabelecer marco e rumo para as ações públicas e privadas de geração de conhecimento e de tecnologias que contribuam para a produção sustentável da agricultura de energia e para o uso racional dessa energia renovável. Tem por meta tornar competitivo o agronegócio brasileiro e dar suporte a determinadas políticas públicas, como a inclusão social, a regionalização do desenvolvimento e a sustentabilidade ambiental.***

O alcance desse propósito geral implica atingir os seguintes objetivos específicos, de acordo com as políticas públicas brasileiras, de atender aos anseios da sociedade e às demandas dos clientes:

- Assegurar o aumento da participação de energias renováveis no Balanço Energético Nacional (BEN).
- Garantir a interiorização e a regionalização do desenvolvimento, baseados na expansão da agricultura de energia e na agregação de valor nas cadeias produtivas a ela ligadas.
- Criar oportunidades de expansão de emprego e de geração de renda no âmbito do agronegócio, com mais participação dos pequenos produtores.

- Contribuir para o cumprimento do compromisso brasileiro no Protocolo de Quioto e possibilitar o aproveitamento das oportunidades que o acordo favorece para a captação de recursos de crédito de carbono.
- Induzir a criação do mercado internacional de biocombustíveis, garantindo a liderança setorial do Brasil.
- Otimizar o aproveitamento de áreas resultantes da ação humana sobre a vegetação natural (áreas antropizadas), maximizando a sustentabilidade dos sistemas produtivos, desestimulando a expansão injustificada da fronteira agrícola e o avanço rumo a sistemas sensíveis ou protegidos. Desenvolver soluções que integrem a geração de agroenergia à eliminação de perigos sanitários ao agronegócio.

Esses objetivos enquadram-se nas diretrizes que norteiam a agenda de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I):

***Sustentabilidade da matriz energética, geração de emprego e renda, aproveitamento racional de áreas antropizadas, liderança do País no biomercado, autonomia energética comunitária, suporte a políticas públicas, racionalidade energética nas cadeias do agronegócio e eliminação de perigos sanitários.***

O alcance desses objetivos requer trabalho de equipes técnicas multidisciplinares, organizadas em forma de redes científicas, parcerias organizacionais e estratégicas, mobilização de competências, empreendedorismo, treinamento e garantia de fontes de financiamento.

Sob o aspecto tempo, o programa de PD&I abrangerá metas de curto, médio e longo prazos. Quanto à dimensão geográfica, deve-se atentar para a tecnologia adequada aos diferentes ecossistemas e ambientes. A questão ambiental das tecnologias a serem desenvolvidas deve observar os quesitos de proteção do ambiente.

Do ponto de vista social, o programa considera a necessidade de ampliar as oportunidades de emprego e renda, atentando para a sustentabilidade dos sistemas e a qualidade de vida. A dimensão disciplinar deve cuidar do desenvolvimento de tecnologia agrônoma que permita obter matéria-prima adequada, processos produtivos sustentáveis primários e agroindustriais em conformidade com as normas e os regulamentos. Também considerará a cadeia produtiva em geral, dando atenção especial a co-produtos, subprodutos, dejetos e resíduos da produção agrícola ou agroindustrial.

O programa de PD&I se desdobrará em quatro grandes áreas baseadas nas principais cadeias produtivas agroenergéticas: o etanol e a co-geração de energia,

provenientes da cana-de-açúcar, o biodiesel de fontes animais e vegetais, a biomassa florestal e os resíduos e dejetos agropecuários e da agroindústria.

Em cada uma dessas áreas, serão priorizados os seguintes temas:

- Zoneamento agroecológico de espécies importantes para a agricultura de energia em áreas tradicionais e em áreas de expansão da fronteira, para orientar investimentos públicos e privados e detectar impactos ambientais.
- Melhoramento genético, pela vias tradicional e biotecnológica, que permita selecionar espécies vegetais para a produção de biocombustíveis e a melhoria significativa da produtividade das atuais espécies.
- Estudos socioeconômicos e estratégicos em desenvolvimento de cenários, estratégia e geopolítica, e subsídios para políticas públicas na área energética e suas conexões com temas ambientais, econômicos, sociais e negociais.
- Estudos de competitividade em sistemas e custos de produção, nichos e oportunidades de mercado, logística de transporte e armazenagem, entraves ao desempenho das cadeias, barreiras não-tarifárias, atração de investimentos, estratégia e geopolítica.
- Balanços energéticos dos ciclos de vida das cadeias produtivas do agronegócio brasileiro, visando substituir fontes de carbono fóssil por fontes provenientes da agroenergia, reduzindo, progressivamente, a demanda energética dos sistemas de produção.
- Temas ligados ao Protocolo de Quioto, à redução da emissão de gases de efeito estufa, ao mecanismo de desenvolvimento limpo e aos mercados de crédito de carbono e sua relação com programas de melhoramento genético, boas práticas agrícolas, impacto nos biomas, manejo nutricional de ruminantes no contexto do desenvolvimento sustentável, tudo isso de forma coordenada com iniciativas territoriais, regionais e globais.

Para cada uma das áreas da agricultura de energia, o Plano propõe, ainda, prioridades estratégicas que deverão ser objeto de análise mais detalhada por parte das instituições e dos técnicos envolvidos na pesquisa, no desenvolvimento e na inovação tecnológica em cada uma das vertentes da agroenergia.

# Fundamentos

O governo federal editou as *Diretrizes de Política de Agroenergia*, elaboradas por equipe interministerial e aprovadas pelo senhor presidente da República. A proposta é de que a gestão da política de agroenergia seja realizada por um Conselho Gestor Interministerial, subordinando-se às seguintes diretrizes gerais:

**Desenvolvimento da agroenergia.** Pela expansão do setor de etanol, implantação da cadeia produtiva do biodiesel, aproveitamento de resíduos e expansão de florestas energéticas cultivadas, com abrangência nacional, objetivando a eficiência e a produtividade e privilegiando regiões menos desenvolvidas.

**Agroenergia e produção de alimentos.** A expansão da agroenergia não afetará a produção de alimentos para o consumo interno, principalmente da cesta básica. Pelo contrário, co-produtos do biodiesel, como torta de soja e de girassol, tendem a complementar a oferta de produtos para a alimentação humana e a animal.

**Desenvolvimento tecnológico.** Pesquisa e desenvolvimento de tecnologias agropecuárias e industriais adequadas às cadeias produtivas da agroenergia, que proporcionem maior competitividade, agregação de valor aos produtos e redução de impactos ambientais. Concomitantemente, deverá contribuir para a inserção econômica e social, inclusive com o desenvolvimento de tecnologias apropriadas ao aproveitamento da biomassa energética em pequena escala.

**Autonomia energética comunitária.** A idéia é propiciar às comunidades isoladas, aos agricultores individualmente, cooperativados ou associados, e aos assentamentos de reforma agrária, meios para gerar sua própria energia, em especial nas regiões remotas do território nacional.

**Geração de emprego e renda.** A política de agroenergia deve constituir um vetor da interiorização do desenvolvimento, da inclusão social, da redução das disparidades regionais e da fixação das populações no seu habitat, em especial pela agregação de valor à cadeia produtiva e pela integração às diferentes dimensões do agronegócio.

**Otimização do aproveitamento de áreas antropizadas.** As culturas energéticas devem ser produzidas respeitando a sustentabilidade dos sistemas produtivos e desestimulando a expansão injustificada da fronteira agrícola ou o avanço rumo a sistemas sensíveis ou protegidos, como a Floresta Amazônica, a região do Pantanal, entre outras. Poderá, ainda, contribuir para a recuperação de áreas degradadas.

**Otimização das vocações regionais.** Incentivo à instalação de projetos de agroenergia em regiões com oferta abundante de solo, radiação solar e mão-de-obra, propiciando vantagens para o trabalho e para o capital, dos pontos de vista privado e social, considerando-se as culturas agrícolas com maior potencialidade.

**Liderança no comércio internacional de biocombustíveis.** O Brasil reúne vantagens comparativas que lhe permitem ambicionar a liderança do mercado internacional de biocombustíveis e implementar ações de promoção dos produtos energéticos derivados da agroenergia. A ampliação das exportações, além da geração de divisas, consolidará o setor e impulsionará o desenvolvimento do País.

**Aderência à política ambiental.** Os programas de agroenergia deverão estar aderentes à política ambiental brasileira e em perfeita integração com as disposições do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) do Protocolo de Quioto, aumentando a utilização de fontes renováveis, com menor emissão de gases de efeito estufa.

O posicionamento do governo federal quanto ao suprimento futuro de energia de fontes renováveis, como agroenergia, transcende as administrações públicas, tornando-se uma questão de Estado, pela amplitude e pelas conseqüências que traz para o desenvolvimento do País. O suprimento de energia a preços elevados compromete o processo de desenvolvimento econômico, a geração de empregos, a renda e o bem-estar dos cidadãos brasileiros.

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 utilizada no transporte. É possível repetir o mesmo processo com outras biomassas.

Existem vários desafios, entre os quais estão o desenvolvimento de tecnologias de produção agrícola, com definição de plantas mais aptas, e sistemas de produção eficientes e a definição de regiões com potencial para a produção. Há necessidade de novas tecnologias industriais, que transformem os produtos agrícolas em bioenergia.

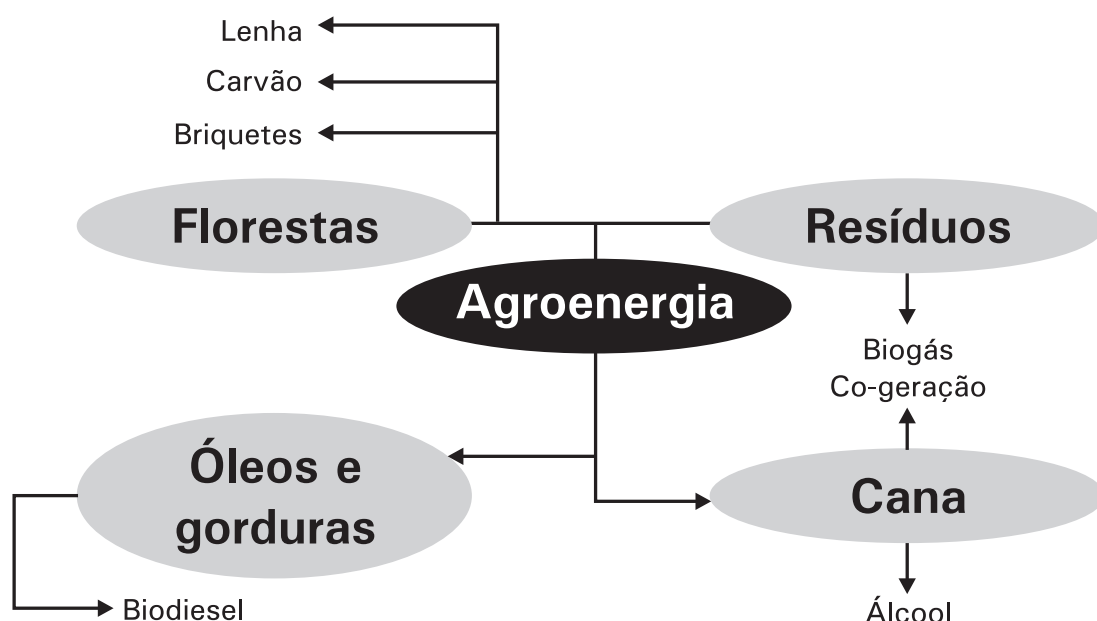
A produção de agroenergia, em larga escala, além da redução de custos em relação ao petróleo, apresenta vantagens ambientais, e gera renda e emprego no setor rural. Isso é, promove o desenvolvimento sustentável do interior do Brasil, em especial das regiões remotas.

Sendo a agricultura alternativa viável para enfrentar os desafios da produção da agroenergia, passa a ser responsabilidade do Mapa desenvolver uma programação que atenda às necessidades do País por suprimento de bioenergia.

O esforço governamental atende aos anseios da sociedade, às demandas dos seus clientes e às políticas públicas da área energética, com implicações estratégicas em outras áreas, como a política, a social, a ambiental, a comercial, a agropecuária, a industrial e a de abastecimento.

Para os efeitos desse plano, considera-se que a agroenergia é composta por quatro grandes grupos: etanol e co-geração de energia provenientes da cana-de-açúcar;

biodiesel de fontes lipídicas (animais e vegetais); biomassa florestal e resíduos; e dejetos agropecuários e da agroindústria. Das florestas energéticas obtêm-se diferentes formas de energia, como lenha, carvão, briquetes, finos (fragmentos de carvão com diâmetro pequeno) 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, apresenta competitividade quase imbatível quando resultante da cana-de-açúcar. E os resíduos, tanto da produção agropecuária quanto da agroindústria, bem como os dejetos desse processo, podem ser convertidos em diferentes formas secundárias de energia, como briquetes, biogás, biodiesel, etc. (Fig. 1).

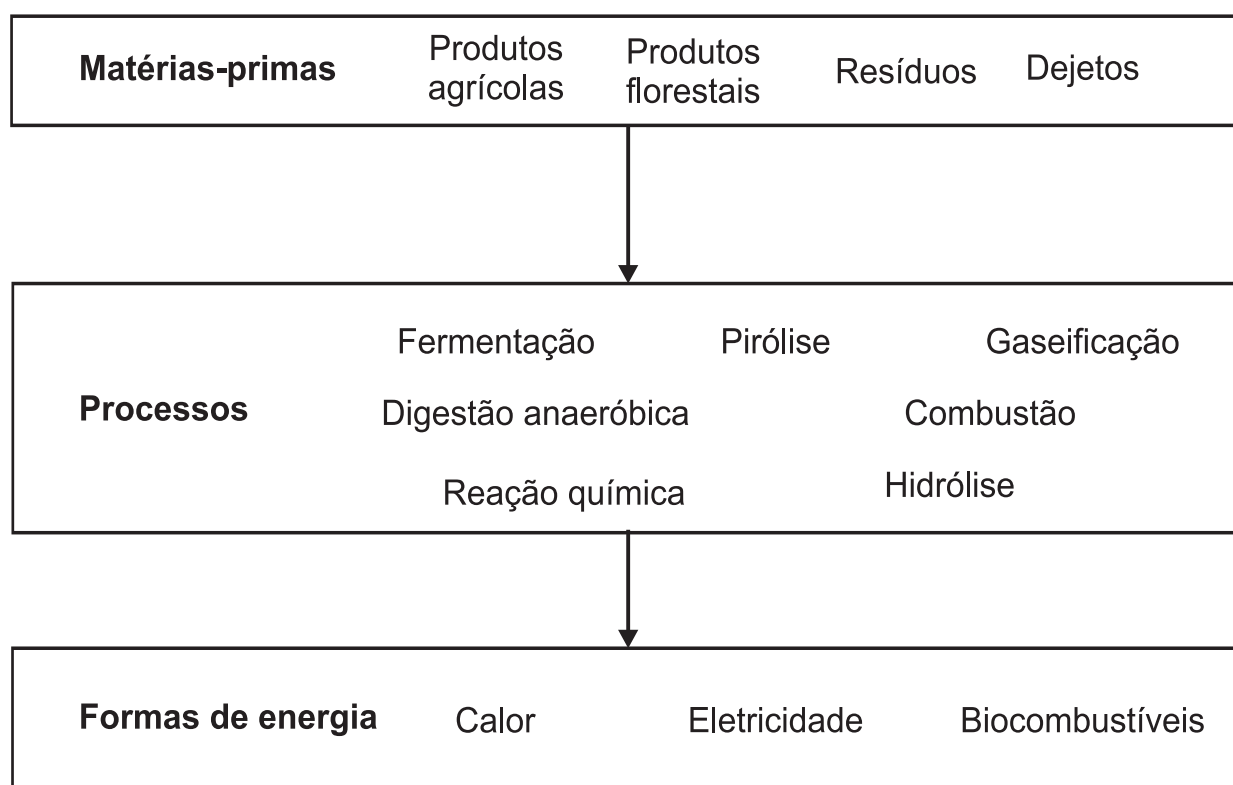


**Fig. 1.** Matriz da agroenergia.

A PD&I focará o desenvolvimento de tecnologia de matéria-prima e o desenvolvimento ou o aprimoramento de processos (Fig. 2). Em qualquer dos casos, a visão da forma final de agroenergia (calor, biocombustível ou eletricidade) deve estar claramente definida para assegurar a produtividade da matéria-prima ou a competitividade dos processos.

Esse Plano orienta ações estratégicas do governo federal, vinculada à sua política global, consubstanciada no documento *Diretrizes de Política de Agroenergia*. Ele busca direcionar, primariamente, com a coordenação direta do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), os esforços que várias organizações de ciência, tecnologia e inovação brasileiras vêm fazendo e que podem ser aumentadas para proporcionar, manter ou aumentar a competitividade e a sustentabilidade das cadeias produtivas ligadas à agroenergia.

## Foco da PD&I e da TT



**Fig. 2.** Encadeamento da produção de agroenergia.

Maior dinamismo será dado com a criação da Embrapa Agroenergia e com o incremento da parceria público/privada com a organização de um consórcio. Com a participação do Mapa e a coordenação de outras instâncias do governo federal, e ações na área do mercado internacional, estão também recomendadas outras ações.

Os dois anexos – *Panorama Energético Atual e Perspectivas* e *As cadeias Produtivas da Agroenergia* – foram essenciais na definição das Diretrizes de Política de Agroenergia, na concepção e no desenho deste Plano Nacional de Agroenergia.



# Programa de Pesquisa em Agroenergia

Este item 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.

## Objetivos

### Objetivo principal

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

### Objetivos específicos

- Apoiar a mudança da matriz energética, com vista em sua sustentabilidade.
- Propiciar condições para o aumento da participação de fontes de agroenergia na composição da matriz energética.
- Gerar condições para permitir a interiorização e a regionalização do desenvolvimento, fundadas na expansão da agricultura de energia e na agregação de valor à cadeia produtiva.
- Criar oportunidades de expansão do emprego no âmbito do agronegócio.
- Permitir a ampliação das oportunidades de renda, com distribuição mais eqüitativa entre os atores.
- Contribuir para reduzir as emissões de gases de efeito estufa.
- Colaborar para a redução das importações de petróleo.
- Incrementar as exportações de biocombustíveis.

### Diretrizes de PD&I e de TT

O desenvolvimento tecnológico e a transferência de tecnologia em agroenergia serão regidos por oito macrodiretrizes, consentâneas com as políticas públicas



brasileiras (às quais se subordinam), os anseios da sociedade e as demandas dos clientes, quais sejam:

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

**b) Sustentabilidade e autonomia energética comunitária**, entendidas como o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis que permitam às comunidades isoladas, aos agricultores individualmente, aos cooperados ou associados, e aos assentamentos de reforma agrária dispor de sua própria energia para atender às suas necessidades, independentemente 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 no seu habitat, em especial pela agregação de valor à cadeia produtiva e de integração de diferentes dimensões do agronegócio.

**d) Aprimoramento do aproveitamento de áreas antropizadas**, maximizando a sustentabilidade dos sistemas produtivos, desestimulando a expansão injustificada da fronteira agrícola ou o avanço sobre sistemas sensíveis ou protegidos.

**e) Conquista e manutenção da liderança do biomercado internacional de bioenergia.**

**f) Apoio à formulação de políticas públicas brasileiras** e subsídios à posição brasileira, nas negociações internacionais envolvendo a temática energética, a ambiental e a de mudanças climáticas globais.

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

**h) Eliminação de perigos sanitários ao agronegócio**, por meio da formulação de soluções que integrem a geração de agroenergia.

## **Estratégia e proposta programática**

A estratégia do programa preconiza a:

***Integração de esforços, a valorização dos talentos e das competências brasileiras, o aproveitamento das associações estratégicas com os cientistas internacionais e a manutenção da atuação focada no desenvolvimento das cadeias de agroenergia.***

Principais aspectos a considerar:

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

**Gestão do Plano de PD&I e TT.** A gestão se dará pela organização dos atores, implementada por meio de parcerias institucionais, que executarão o Plano Nacional de Agroenergia, parcerias estas corporificadas por organização formal.

**Parcerias organizacionais.** Identificação dos atores da PD&I, do agronegócio ou das cadeias de energia imprescindíveis ao sucesso da atividade, a fim de constituir, por intermédio deles, parcerias de longo prazo, com características de entrosamento institucional e organizacional. Essas parcerias se concretizam em organização de pesquisa voltada à agroenergia. Os parceiros são entes privados ou públicos, reconhecidamente envolvidos com a área de C&T, mesmo que o foco principal de seu negócio não seja a pesquisa e o desenvolvimento.

**Parcerias estratégicas.** Consideram-se parceiros estratégicos aqueles capacitados a auxiliar em atividades específicas de determinados programas ou projetos, contribuindo, pontualmente, para o desenvolvimento tecnológico. Tanto as parcerias organizacionais quanto as estratégicas se articularão para sustentar as ações de PD&I em agroenergia.

**Mobilização de competências.** Para o êxito do programa de PD&I contido neste plano, será necessário organizar redes que extrapolem os limites acadêmicos e que possam atuar como parceiros de pesquisas, contribuindo com competência gerencial, base industrial instalada, conhecimento de mercado, etc.

**Empreendedorismo.** A programação de PD&I deve considerar sua contribuição para o desenvolvimento das cadeias produtivas nacionais, bem como permitir o retorno de recursos aos fundos de pesquisa a título de *royalties*, ou sob outra expressão de remuneração do fator de produção tecnologia, assistência técnica, consultoria ou outra forma prevista na Lei de Inovação.

**Treinamento.** As redes de pesquisa em agroenergia demandarão treinamentos formais e informais, em virtude do grande dinamismo da área. Também atuarão como receptores de novos profissionais, para aprimoramento de sua formação, preparando-os para atuarem nas atividades de PD&I, com forte enfoque no preparo de mão-de-obra especializada diretamente para o setor produtivo.

**Fontes de financiamento.** O suporte financeiro às ações de PD&I virá de fontes variadas, a saber: fontes orçamentárias ordinárias do Tesouro Nacional; do

Fundo Nacional de Pesquisa em Agroenergia; do orçamento das parcerias constitutivas; dos recursos captados por projetos; dos recursos dos fundos setoriais ou fundos de suporte à pesquisa. de doações voluntárias; de recursos compulsórios que vierem a ser criados pela lei; de recursos próprios, provenientes da 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, a título de cooperação técnica.

As diretrizes programáticas abrangem três grandes vertentes: uma dedicada ao desenvolvimento de tecnologia agronômica; outra, para o 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 comporta 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.

## **As dimensões da PD&I em Agroenergia**

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

Sob o aspecto temporal, o programa abrangerá metas de curto, médio e longo prazo.

No tocante à dimensão geográfica, atentar-se-á para a tecnologia adequada aos diferentes ecossistemas e ambientes.

Sob o aspecto ambiental, as tecnologias a serem desenvolvidas atenderão aos quesitos de proteção do ambiente e de redução de danos.

Sob a ótica social, o programa de PD&I considerará a necessidade de ampliar as oportunidades de emprego e renda e sua distribuição eqüitativa, atentando para a sustentabilidade dos sistemas e a qualidade de vida, mitigando o aspecto penoso do trabalho e proporcionando autonomia para trabalhadores rurais e suas organizações.

A dimensão disciplinar se voltará ao desenvolvimento de tecnologia agronômica que permita obter matéria-prima adequada, ao desenvolvimento de processos sustentáveis e à conformidade com as normas e regulamentos, além de integrar-se à

cadeia produtiva, em especial a co-produtos, subprodutos, dejetos e resíduos da produção agrícola ou agroindustrial.

Como moldura do desenvolvimento tecnológico, a programação de PD&I considerará as oportunidades do mercado de carbono como integrantes dos sistemas de produção. O processo será permeado por estudos e pelo desenvolvimento de cenários de fundo social, econômico e ambiental, que modulem as demandas tecnológicas.

O Brasil deve preparar-se para as negociações pós-Quito, que resultarão do novo esforço global para a redução do aquecimento global. Seguramente, não receberemos a mesma condescendência dos demais países – como ocorreu no atual Protocolo de Quito –, sobretudo pela manutenção das emissões de CO<sub>2</sub> decorrentes de queimadas na Amazônia e no Cerrado.

Para dispor de melhores condições nas negociações, o Brasil deverá se apresentar com um megaprograma de energia limpa, de impacto mundial, que contrabalance o efeito negativo das queimadas e nos permita melhores condições de negociação.

Cabem ações pontuais no segmento do agronegócio, em esforço de investimento em agroenergia. Duas considerações merecem atenção:

a) O produtor rural e a agroindústria associada – isolados ou associativamente – buscarão a autonomia energética, lastreada em fontes renováveis, mormente a agroenergia.

b) As redes de PD&I em agroenergia envidarão esforços para rever, a médio prazo, a demanda energética dos sistemas de produção, buscando duas metas: a redução quantitativa do fator energético e a substituição das fontes de energia dos sistemas de produção e processamento.

## **Agenda de PD&I**

É factível uma agenda de pesquisa macroestratégica 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 biomercado em particular.

Daí a importância da organização de uma Agenda PD&I setorial que seja claramente baseada em redes complexas de caráter multidisciplinar, multiinstitucional, ancorada na cooperação internacional, direcionada pelas políticas públicas setoriais e fortemente vinculada aos anseios da sociedade e às demandas dos clientes.

## **Ações transversais**

Existem demandas que abrangem todas as cadeias de agroenergia, a saber:

- Elaborar estudos de caráter socioeconômico e estratégico, como formação e manutenção de bancos de dados, desenvolvimento de cenários, estudos prospectivos, avaliações ex-ante e ex-post, preparação de subsídios para políticas públicas na área energética e suas conexões com temas ambientais, econômicos, sociais e negociais.
- Realizar 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.
- Avaliar 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 por parte dos sistemas de produção.
- Efetuar o zoneamento agroecológico de espécies vegetais importantes para a agricultura de energia.
- Desenvolver redes cooperativas que identifiquem as barreiras não-tarifárias e que viabilizem sua solução visando aos principais mercados, a partir da avaliação da conformidade com padrões internacionais, ou não, de métodos e técnicas de mensuração em projetos de MDL.
- Incorporar, aos programas de desenvolvimento científico e tecnológico, novos modelos de estudo, como: mecanismos de desenvolvimento limpo (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 gases de efeito estufa GEE nos sistemas de produção em toda a cadeia agropecuária, consolidando uma base de dados que permita análises do futuro no contexto do desenvolvimento sustentável, de forma coordenada com iniciativas territoriais, regionais e globais. Para tanto, é necessário capacitar um corpo técnico-científico sobre a temática do mecanismo de desenvolvimento limpo, além de fomentar novas redes e incrementar as existentes, considerando que as vertentes envolvidas são muito novas, dinâmicas e multidisciplinares.
- Mapear e acompanhar as carteiras de projetos e explorar temas, ainda carentes de solução, sobre o mercado de carbono. Dessa forma, a C&T poderá 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 a projetos-piloto, em parceria com o setor privado, para explorar as oportunidades de mercado.

## **Atuação nas cadeias produtivas**

Para cada componente do complexo de agroenergia, diferentes desafios são impostos à agenda, atuando como indutores de prioridades de pesquisa:

### **Etanol**

- Eliminar fatores restritivos à expressão do potencial produtivo da cultura da cana-de-açúcar.
- Incrementar a produtividade, o teor de sacarose, o agregado energético e o rendimento industrial da cana-de-açúcar.
- Desenvolver tecnologias poupadoras de insumos e de eliminação ou mitigação de impacto ambiental.
- Desenvolver tecnologias de manejo da cultura e de integração de sistemas produtivos da cana-de-açúcar.
- Desenvolver alternativas de aproveitamento integral da energia da usina de cana-de-açúcar, com melhoria dos processos atuais e/ou desenvolvimento de novos.
- Desenvolver novos produtos e processos baseados na alcoolquímica e no aproveitamento da biomassa da cana-de-açúcar.

### **Biodiesel**

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

- Integrar aos processos os conceitos de agroenergia e mercado de carbono.
- Desenvolver processos para a obtenção de inovações baseadas em biomassa de oleaginosas, incluída a oleoquímica.

### **Florestas energéticas**

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

### **Biogás**

- Desenvolver estudos e modelos de biodigestores.
- Efetuar a modelagem em sistemas de produção de biogás.
- Avaliar o uso de biofertilizante como adubo orgânico.
- Desenvolver equipamentos para o aproveitamento de biogás como fonte de calor.
- Desenvolver equipamentos para transporte e distribuição de biofertilizante.
- Aprimorar equipamentos movidos a biogás para a geração de energia elétrica.
- Desenvolver sistemas de compressão e armazenamento de biogás.
- Desenvolver processos de purificação de biogás.

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

- Desenvolver tecnologias para o aproveitamento energético de resíduos das produções agrícola, pecuária e florestal e da agroindústria.
- Desenvolver tecnologias para a utilização de compostos orgânicos resultantes da produção agropecuária, com risco sanitário, na produção de agroenergia.



- Desenvolver tecnologias para a utilização dos resíduos por obtenção de energia para outras finalidades, como correção de acidez do solo.
- Interficiar com as redes de pesquisa para aproveitamento de esgotos urbanos para fins energéticos.

Finalmente, é mister enfrentar novos desafios tecnológicos para o desenvolvimento da agroenergia no contexto do agronegócio brasileiro.

Desdobrar-se em ações táticas que formarão a agenda indutora da formação de redes e sub-redes multiinstitucionais e multidisciplinares, que se encarregarão da gestão e da operacionalização dos projetos de pesquisa.

A agenda também servirá de base 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 nos arranjos produtivos da agroenergia.

Ademais, balizará a atuação institucional, servindo para o desenvolvimento ou a revisão dos planos estratégicos e de planos diretores, de modo que a confluência de objetivos impulse a formação das redes de pesquisa.

## **Linhas de pesquisa**

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

### **Etanol**

#### ***Tecnologia agronômica***

- Introduzir novas características por técnicas biotecnológicas (resistência a pragas, tolerância à seca, tolerância à acidez e à salinidade do solo, maior eficiência no uso de nutrientes).
- Desenvolver estudos com o ciclo de vida e balanço de energia de sistemas de produção de cana-de-açúcar, objetivando reduzir o aspecto energético dos sistemas e substituir fontes de carbono fóssil por fontes renováveis.
- Promover o zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar na região de expansão.
- Desenvolver tecnologias para incremento da produtividade e do teor de sacarose da cana-de-açúcar.
- Desenvolver tecnologias para fixação simbiótica de nitrogênio.



- Desenvolver tecnologias para uso de fito-hormônios na cultura da cana-de-açúcar.
- Desenvolver técnicas de rotação, consorciação e renovação de canaviais.
- Desenvolver técnicas de nutrição vegetal de cana-de-açúcar.
- Aproveitar, na agricultura, o vinhoto da fermentação do caldo de cana-de-açúcar.
- Gerar tecnologias de sanidade vegetal para a cana-de-açúcar.
- Desenvolver sistemas de manejo da cultura da cana-de-açúcar.
- Desenvolver sistemas de manejo de solos em áreas de canavial.
- Aprimorar tecnologias de irrigação e manejo de água na cultura da cana-de-açúcar.

### ***Tecnologia industrial***

- Desenvolver tecnologias para aproveitamento energético de folhas verdes e ponteiros da cana-de-açúcar.
- Aumentar o rendimento industrial do álcool.
- Melhorar os processos com ganhos de racionalização de uso de água e outros insumos.
- Melhorar os processos de co-geração de energia.
- Desenvolver novos produtos e processos, baseados na alcoolquímica e no aproveitamento da biomassa da cana-de-açúcar.
- Aprimorar motores e turbinas para maximização do rendimento energético, com o uso do álcool carburante.

### **Biodiesel**

#### ***Tecnologia agrônômica***

- Prospectar novas espécies oleaginosas, de maior densidade energética, de ampla adaptação edafoclimática.
- Formar, caracterizar e manter bancos de germoplasma de novas espécies oleaginosas e ampliar os atuais bancos.
- Promover o zoneamento agroecológico das oleaginosas convencionais e das potenciais.

- Desenvolver cultivares, variedades e híbridos de oleaginosas convencionais e potenciais.
- Disponibilizar tecnologias de nutrição vegetal de plantas oleaginosas.
- Gerar tecnologias de sanidade vegetal de plantas oleaginosas.
- Desenvolver sistemas de manejo de culturas de plantas oleaginosas.
- Desenvolver sistemas de colheita e processamento, objetivando a racionalização das atividades de extração de óleo e o aproveitamento de co-produtos e resíduos.
- Introduzir novas características por técnicas biotecnológicas (resistência a pragas, tolerância à seca, tolerância à acidez e à salinidade do solo e maior eficiência no uso de nutrientes).
- Desenvolver estudos sobre o ciclo de vida e o balanço de energia de sistemas de produção de oleaginosas, com o propósito de reduzir o consumo de energia dos sistemas e substituir fontes de carbono fóssil por fontes renováveis.

### ***Tecnologia industrial***

- Melhorar os processos de extração de óleo, em especial de plantas de pequeno e médio portes.
- Desenvolver e aprimorar rotas tecnológicas de produção de biodiesel.
- Desenvolver estudos de catalisadores e reagentes dos processos industriais.
- Melhorar a eficiência dos processos de produção de biodiesel.
- Desenvolver processos para aproveitamento de flotantes da indústria de processamento de produtos de origem animal.
- Desenvolver processos para transformação de resíduos orgânicos, com risco sanitário, em fontes energéticas.
- Melhorar processos para aproveitamento de sebo da indústria de processamento de produtos de origem animal.
- Aumentar a qualidade e o tempo de armazenamento de biodiesel.
- Avaliar o impacto do biodiesel sobre motores e sistemas conexos.
- Aperfeiçoar motores e sistemas conexos para uso com biodiesel.
- Realizar estudos de emissões de motores que utilizam biodiesel.
- Desenvolver tecnologias para aproveitamento de tortas na alimentação humana ou animal.

- Desenvolver novos produtos derivados do glicerol.
- Disponibilizar processos para aproveitamento da biomassa de oleaginosas nas indústrias de química fina e farmacêutica.
- Desenvolver novos produtos baseados na oleoquímica.
- Integrar as cadeias de agroenergia, como etanol/biodiesel, florestas/biodiesel, biogás/biodiesel, aproveitamento de resíduos/biodiesel.

## **Florestas energéticas**

### ***Tecnologia silvícola***

- Estabelecer a dinâmica dos sistemas de produção de energia de biomassa.
- Estabelecer parâmetros silviculturais (espaçamento, adubação, rotação, etc.) que maximizem a produção da biomassa florestal de forma sustentável.
- Definir sistemas de usos múltiplos adaptados a pequenos produtores florestais.
- Desenvolver tecnologias para implantação e manejo de florestas energéticas em áreas marginais para a agricultura e em áreas degradadas por mau uso agrícola.
- Desenvolver novas práticas de manejo e esquemas de colheita específica para geração de biomassa para energia.
- Identificar e selecionar espécies florestais como alternativas ao eucalipto, com adequado poder calorífico, para a produção de biomassa florestal em várias regiões brasileiras, incluindo espécies de bambu.
- Desenvolver arranjos agroflorestais adaptados à pequena propriedade rural.
- Identificar alternativas de produção de biomassa florestal proveniente de atividades não-madeireiras.
- Melhorar as técnicas de colheita, transporte e armazenamento de biomassa.
- Desenvolver modelos de planejamento integrado, incluindo as diversas fontes de energia, tecnologias para uso eficiente, meio ambiente, etc.
- Desenvolver modelos e ferramentas de análise da viabilidade técnico-econômica e do potencial de mercado das fontes alternativas.
- Estimular o uso da tecnologia de sistema de informação geográfica no planejamento do uso de energia de biomassa florestal.

## ***Tecnologia industrial***

- Desenvolver estudos de gaseificação de biomassa.
- Desenvolver processos mais eficientes para uso de madeira como energético no setor residencial.
- Gerar tecnologias para a recuperação dos produtos gasosos condensáveis na carbonização da madeira.
- Viabilizar o uso de combustíveis complementares para tecnologias já comerciais (co-geração, queima direta no setor de papel e celulose).
- Desenvolver tecnologias para resolver problemas de baixa eficiência de processos de geração de energia a partir de biomassa florestal.
- Estabelecer protocolos, certificação e padrões técnicos para tecnologias de suprimento e uso de energia a partir da biomassa florestal.
- Melhorar a eficiência dos processos de geração de energia de biomassa florestal (lenha, carvão, resíduos da exploração e resíduos das indústrias de transformação) para geração de energia para setores industriais em pequena e média escalas.
- Desenvolver estudos sobre qualidade do carvão vegetal para uso em altos fornos, dando ênfase aos estudos sobre finos de carvão.
- Gerar tecnologias para a recuperação e pré-processamento de resíduos oriundos de atividades do setor de base florestal e da industrialização de dendê.
- Desenvolver tecnologias relacionadas à gaseificação e à conversão lignocelulósica a etanol.
- Desenvolver processos de pirólise de biomassa para produção de bioóleo.
- Desenvolver tecnologias limpas e eficientes de combustão a carvão, como leito fluidizado, leito fluidizado pressurizado e gaseificação.
- Gerar tecnologias de combustão avançada e mista.

## **Biogás**

- Desenvolver e avaliar a cinética de digestão anaeróbia nos diferentes modelos de biodigestores existentes.
- Oferecer novos modelos biodigestores com isolamento térmico, agitação e aquecimento de biomassa, para aumentar a produção de biogás e melhorar a eficiência de remoção da matéria orgânica.

- Avaliar o uso de biodigestores como unidade de tratamento dos resíduos da produção de suínos e aves, eliminando perigos sanitários.
- Desenvolver e avaliar sistemas complementares para tratamento final dos resíduos líquidos do biodigestor.
- Avaliar características quantitativas e qualitativas de biogás em função do efeito da sazonalidade climática e dos sistemas de produção de animais.
- Avaliar e desenvolver modelos matemáticos para estimar a geração de biogás e a avaliação das características quantitativas e qualitativas de biogás em função do efeito da sazonalidade climática.
- Avaliar o uso de biofertilizante, como adubo orgânico, em substituição aos adubos químicos em sistemas de plantio de grãos e pastagens.
- Avaliar os riscos ambientais em águas superficiais e profundas, com uso intensivo de biofertilizante orgânico em sistemas de plantio de grãos e pastagens.
- Desenvolver equipamentos para uso de biogás como fonte de calor para aquecimento do ambiente interno das instalações para criação de suínos e aves, em substituição a GLP e lenha.
- Desenvolver equipamentos para uso de biogás como fonte de calor na secagem de grãos, em substituição a GLP e lenha.
- Desenvolver equipamentos para comprimir e transportar biogás a baixa pressão.
- Desenvolver máquinas e equipamentos tendo como fonte de energia o biogás, para transporte e distribuição de biofertilizante.
- Desenvolver e adaptar motores e geradores, tendo como combustível o biogás, para produzir energia elétrica em sistemas de produção de animais.
- Desenvolver geradores de energia elétrica pelo uso de células a combustível, tendo como combustível o biogás, com membrana de troca iônica.
- Desenvolver sistemas de armazenamento para biogás a baixa pressão, para uso nas propriedades produtoras de suínos e aves.
- Gerar novos sistemas de tratamento e purificação de biogás, para reduzir o poder de corrosão, diminuir a umidade e aumentar a relação de metano para aumentar a capacidade calorífica.

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

- Gerar tecnologias para aproveitamento energético de resíduos da produção agrícola.

- Desenvolver tecnologias para aproveitamento energético de dejetos da produção, da pecuária e florestal e da agroindústria.
- Desenvolver tecnologias para aproveitamento energético de resíduos da produção florestal.
- Oferecer tecnologias para aproveitamento energético de resíduos da agroindústria.
- Desenvolver tecnologias para eliminação de compostos orgânicos resultantes da produção agropecuária, com risco sanitário, utilizando-os na produção de agroenergia.
- Desenvolver tecnologias para adensamento energético e outras formas de aproveitamento de serrados, lascas, maravalhas e outros resíduos da transformação madeireira.
- Desenvolver tecnologias para utilização de resíduos após a obtenção de energia para outras finalidades, como correção de acidez ou aumento da fertilidade do solo.
- Promover a integração dos conceitos de agroenergia e mercado de carbono.
- Interagir com as redes de pesquisa para aproveitamento de esgotos urbanos com fins energéticos.

# Parcerias Institucionais para a Agroenergia

No Brasil, em cada uma das grandes áreas da agroenergia, existem instituições e empresas que oferecem ou que demandam novas tecnologias, seja na produção das matérias-primas, seja nos processos industriais de transformação, seja ainda nas atividades ligadas ao comércio, à distribuição e ao abastecimento dos produtos finais nos mercados interno e externo.

O sucesso de um Programa Nacional de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) em Agroenergia depende da articulação das entidades e das empresas ofertantes e demandantes, cujas atividades estão hoje dispersas, e de organizar uma programação técnica conjunta, multidisciplinar e multiinstitucional, que aponte e preencha as lacunas programáticas, com o objetivo de viabilizar e manter a competitividade das fontes de energia derivadas da biomassa.

A proposta do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa) é reunir e articular essas empresas e instituições na forma de um consórcio, cujo objetivo central será o de elaborar e executar o Programa Nacional de PD&I em Agroenergia, contemplando as especificidades regionais. Outros aspectos de caráter comercial e de investimentos podem constar da programação do consórcio.

A parceria institucional é vista como um grande acordo entre as entidades fundadoras, sejam elas operativas, sejam patrocinadoras.

A articulação entre as partes e o relacionamento do consórcio com o conjunto, incluindo com os participantes potenciais, será alcançada por meio de organização formal, que corporifique e institucionalize o próprio arranjo institucional, fato que será previsto no acordo de sua constituição, a ser firmado pelas entidades pioneiras desse esforço.

Essa organização cumprirá, institucionalmente, os objetivos e as operações previstas para o consórcio, que poderá receber adesão de outras entidades e será supervisionado por um Conselho de Administração formado por representantes das entidades participantes.

A parceria institucional, em sua organização formal, será dirigida por técnicos contratados ou cedidos pelas entidades participantes, mas terá autonomia administrativa e financeira em relação a elas. Atuará por meio de centros operativos, em várias localidades do País, em parceria com entidades participantes ou com terceiros, do país ou do exterior, e com a Embrapa Agroenergia, a ser constituída.

### **Objetivos das Parcerias Institucionais:**

- a) Congregar órgãos governamentais, instituições privadas, empresas, bancos, entidades de cooperação, universidades e instituições de pesquisa e desenvolvimento relacionadas com agroenergia.
- b) Constituir referência institucional e núcleo operativo de rede de intercâmbio de informações e experiências em comércio, investimentos e pesquisa e desenvolvimento em agroenergia, no Brasil e no mundo.
- c) Implementar, com as entidades participantes e com as contratadas, do País e do exterior, o Programa Nacional de Agroenergia, em especial as ações de pesquisa.
- d) Apoiar, com estudos e pesquisas, investimentos produtivos, comerciais ou de logística direcionadas à produção, à agroindustrialização e à comercialização de produtos e processos agroenergéticos no Brasil.

Poderão integrar o Consórcio instituições públicas e privadas de pesquisa, universidades, entidades e associações representativas do setor de energia e agroenergia, empresas privadas ligadas ao setor e instituições financeiras e promotoras do desenvolvimento da agroenergia, entre outras.

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, por meio da Embrapa, será o responsável pela operacionalização do Consórcio, negociando a adesão de uma ampla gama de organizações. A Embrapa será também a responsável pela gestão do Consórcio na fase de sua formação.



# Criação da Embrapa Agroenergia

***O Plano Nacional de Agroenergia visa a organizar e desenvolver proposta de pesquisa, desenvolvimento, inovação e transferência de tecnologia para garantir sustentabilidade e competitividade às cadeias de agroenergia. Estabelece arranjos institucionais para estruturar a pesquisa, como a criação da unidade Embrapa Agroenergia.***

A execução do Plano de Agroenergia pressupõe uma equipe técnica multidisciplinar organizada em forma de redes científicas, parcerias organizacionais e estratégicas, a que se somam 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 tem que contemplar metas de curto, médio e longo prazos. No tocante à dimensão geográfica, atentar-se-á para tecnologia adequada aos diferentes ecossistemas e ambientes. A interface ambiental das tecnologias a serem desenvolvidas estará em consonância com os quesitos de proteção ou redução de danos ambientais. Do ponto de vista social, o programa levará em consideração a necessidade de ampliar as oportunidades de emprego e renda e melhorar a sua distribuição. Na dimensão disciplinar, o programa cuidará da cadeia produtiva integrada, buscando desenvolver a tecnologia agronômica, a dos processos de transformação e de comercialização, bem como para os co-produtos, subprodutos, dejetos e resíduos agrícolas ou agroindustriais, em conformidade com as normas e os regulamentos.

Nas condições atuais da economia, do agronegócio brasileiro e do “estado da arte” do conhecimento e das possibilidades de produção de energia provenientes de fontes renováveis de biomassa, é imprescindível que se fortaleça e se consolide o componente de pesquisa, desenvolvimento e inovação do Plano Nacional de Agroenergia, para examinar e viabilizar as alternativas que se abrem com a implementação desse Plano.

O Programa Nacional de Agroenergia deve ter necessariamente uma dimensão nacional, levando em conta o avanço já alcançado em algumas regiões (Centro-Sul) e com alguns produtos (cana-de-açúcar e soja, por exemplo) do agronegócio brasileiro, mas tendo presente também o desafio que representa a insuficiência de conhecimento ou a necessidade de inovações que viabilizem técnica e economicamente o aproveitamento, em forma sustentável, de outras fontes e formas de energia.

Como a agroenergia é um assunto cujo tratamento exige a transversalidade das políticas, das ações e dos recursos, é necessário que o Mapa tenha um braço técnico capacitado, legalmente constituído, para articular e interagir com outros

ministérios e entidades correlatas, bem como com instituições das esferas, internacional, estadual e municipal.

Essas características do Programa Nacional de Agroenergia conferem à Embrapa um papel proeminente, como uma instituição que mantém redes de pesquisa em todo o território nacional, e também por intermédio do Laboratório no Exterior (Labex), além de programas de cooperação com vários países desenvolvidos e em desenvolvimento.

***Dessa forma, a Embrapa criará uma unidade descentralizada de pesquisa, voltada para temas e assuntos da agroenergia que sejam o elo central, em âmbito nacional, do Sistema de Pesquisa em Agroenergia, componente fundamental do Plano Nacional de Agroenergia. Na execução desse Plano, a Embrapa se integrará a redes multiinstitucionais e multidisciplinares de PD&I, bem como conduzirá as próprias atividades de pesquisa, desenvolvimento e inovação ligadas aos temas em questão.***

O papel central dessa Unidade consistirá em:

- a) Coordenar as ações de pesquisa em agroenergia.
- b) Representar um órgão de aglutinação de conhecimentos e competência específica, hoje espalhada em diversas Unidades da Empresa.
- c) Captar especialistas com competência ainda não incorporada ou internalizada no perfil técnico-científico da Empresa, mas necessárias para apoiar o Plano Nacional de Agroenergia.
- d) Ser vista como centro de referência na Embrapa, a partir do qual a Empresa se integrará a redes e consórcios multiinstitucionais que se formarem para a PD&I no assunto.

# Promoção do Mercado Internacional de Biocombustíveis

O mercado interno de biocombustíveis está consolidado para o etanol. O etanol é utilizado em mistura com a gasolina em até 25% de álcool anídrico. O etanol hidratado é consumido puro ou com qualquer percentual de mistura com a gasolina, nos carros com motor bicombustível. O nível da demanda depende da relação de preço com a gasolina. Quanto ao biodiesel, o mercado está em processo de formação.

A dimensão do mercado brasileiro garante o sucesso das iniciativas no tocante à energia oriunda da biomassa. O mercado externo está em formação. Vários países têm programas internos de produção e uso de biocombustível, principalmente em mistura com os combustíveis fósseis. As exportações brasileiras de álcool são evidência de que o mercado internacional de biocombustíveis está engatinhando: a quase totalidade de nossa produção não é utilizada como combustível.

É importante para o Brasil organizar, dinamizar e liderar o mercado externo de biocombustível, conforme disposto nas *Diretrizes de Política de Agroenergia* do governo federal, que diz:

*“Liderança no comércio internacional de biocombustíveis.*

*O Brasil reúne vantagens comparativas que lhe permitem liderar o mercado internacional de biocombustíveis e promover ações de promoção dos produtos energéticos derivados da agroenergia.*

*A ampliação das exportações, além de gerar divisas, consolidará o setor e impulsionará o desenvolvimento do País.”*

Para levar avante, com sucesso, um ambicioso programa de alianças externas, é crucial reunir a competência governamental à do setor privado para que, juntos, lutem com o mesmo afinho e os mesmos objetivos.

É possível afirmar que existem circunstâncias favoráveis para a criação de um mercado internacional de biocombustíveis, começando pela expansão do mercado do álcool e direcionando sua utilização como combustível, pelas seguintes razões:

- a) Elevação do preço do petróleo e incertezas do seu mercado.
- b) Crescente preocupação mundial a respeito do meio ambiente, particularmente depois da entrada em vigor do Protocolo de Quioto.
- c) Em face da elevação do preço do petróleo e da redução sistemática das reservas desse produto, os países têm enfatizado a diminuição da dependência desse combustível em suas matrizes energéticas.

O governo brasileiro tem defendido, em negociações internacionais, a ampliação de novas fontes renováveis nas matrizes energéticas dos países, de modo que os futuros impactos no meio ambiente sejam minorados.

Em 2002, na Conferência Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável, na África do Sul, a proposta da delegação brasileira foi de que “em 2010, a participação de fontes renováveis seja de 10% nas matrizes energéticas dos países”.

Vários eventos internacionais de cunho ambientalista estão acontecendo com frequência nos últimos anos. Seus reflexos indicam as fontes renováveis de energia como a solução para o problema da grande dependência de combustíveis fósseis das matrizes energéticas dos países.

Este é o momento de o Brasil, em parceria com organizações internacionais e países parceiros, promover eventos internacionais, que discorram sobre soluções ao problema ambiental e a dependência de combustíveis fósseis, cooperando até mesmo com a participação de outros países.

A conquista da liderança do mercado internacional passa, necessariamente, por importantes negociações. Em especial com os países grandes consumidores – muitas vezes igualmente produtores –, com os produtores em potencial e com alguns que têm possibilidade de produção, necessitando de assessoria técnica, econômica e financeira. Nesse panorama e com interesse crescente pelos biocombustíveis, demonstrado recentemente pelo livro publicado pela Agência Internacional de Energia (AIE), da OCDE, e pelo Seminário de Paris<sup>1</sup>, recomendam-se as ações que seguem, de forma articulada, dentro do governo e com o setor privado:

a) Organizar uma programação de visitas aos projetos de biocombustíveis do Brasil de representantes de governos e da iniciativa privada de países com potencial de produção ou de consumo.

b) Organizar e promover fóruns de países produtores de biocombustíveis.

c) Organizar e promover assessoria técnica, econômica e financeira a países em desenvolvimento, produtores de álcool, verificando a viabilidade de *joint-venture* e de exportação de bens de capital.

d) Organizar e promover, em parceria com a AIE/OCDE e o Banco Mundial, seminários (à semelhança do Seminário de Paris) em países selecionados, como: EUA, Bélgica-UE e Japão.

e) Manter o mundo informado sobre os avanços no programa de biodiesel.

---

<sup>1</sup> Seminário sobre Biocombustíveis, organizado em parceria com a OCDE, em junho de 2005.

f) Iniciar as negociações para a criação da Organização Internacional dos Produtores e Consumidores de Biocombustíveis (OIPCBio).

Essas ações visam consolidar o caminho do mercado internacional de biocombustíveis, eliminando, previamente, possíveis barreiras tarifárias e não-tarifárias, criando fóruns para a solução de problemas eventualmente surgidos no processo das transações entre os países e, ao mesmo tempo, fornecendo ao Brasil as condições de liderar a evolução desse mercado.

## Outras Ações de Governo

Sob a coordenação do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), diversas ações governamentais serão executadas em cumprimento às recomendações desse Plano Nacional de Agroenergia. Algumas são de responsabilidade de outros ministérios e contarão com a participação do Mapa.

O Mapa, em decorrência de sua maior interação com um dos elos básicos da cadeia produtiva da cana-de-açúcar e das oleaginosas – a produção primária –, pode e deve ser o catalisador de esforços para equacionar e superar gargalos cruciais.

As políticas e os investimentos governamentais que afetam ou estimulam os biocombustíveis – destaque para a expansão da produção doméstica de etanol e biodiesel visando à exportação em larga escala – precisam ser adequadamente avaliados e conduzidos pelas várias instituições e órgãos governamentais.

Por envolver novos negócios e tecnologias, 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 conduzam às melhores alternativas estratégicas para o País.

São imprescindíveis investimentos em infra-estrutura e logística de transporte e armazenagem para aumentar a atratividade de projetos fora das áreas tradicionais. Entre eles, a conclusão dos investimentos no Corredor Norte–Sul, que permitirá a consolidação da agroindústria sucro-alcooleira no Maranhão, no Piauí e em Tocantins, e mais os investimentos no Nordeste e no Centro-Oeste, na produção de oleaginosas para o biodiesel.

Por conta do caráter estratégico dos produtos – como substitutos ou complementos do produto de origem fóssil, com efeito ambiental positivo – e das perspectivas de comércio internacional, pode-se buscar e contar com aportes de recursos da banca internacional. Mais do que isso, as ações do governo e do setor privado serão decisivas para atrair investimentos externos, inclusive em infra-estrutura.

A oferta de linhas de crédito adequadas ao perfil dos investimentos e às necessidades de capital de giro também deve funcionar como indutor de mais investimentos privados, e até mesmo inversões estrangeiras diretas nos vários elos da cadeia produtiva e comercial do etanol.

São importantes, nessa fase de implantação, incentivos regionais e de governos estaduais, diretamente interessados, trabalhando em harmonia com as diretrizes do governo federal.

Um dos primeiros passos da ação governamental será a ação integrada da Embrapa, do Inmet e de outros parceiros na elaboração do plano estratégico de expansão da lavoura canavieira e das lavouras de oleaginosas, contemplando, além dos aspectos agronômicos e agro-climáticos, também o socioambiental e de logística.

Uma das diretrizes do plano será promover a desconcentração regional da produção e estancar o processo de verticalização, como verificados com a cana-de-açúcar em São Paulo, onde mais de 70% do suprimento das unidades industriais são de cana própria, o que exclui da cadeia produtiva pequenos e médios fornecedores.

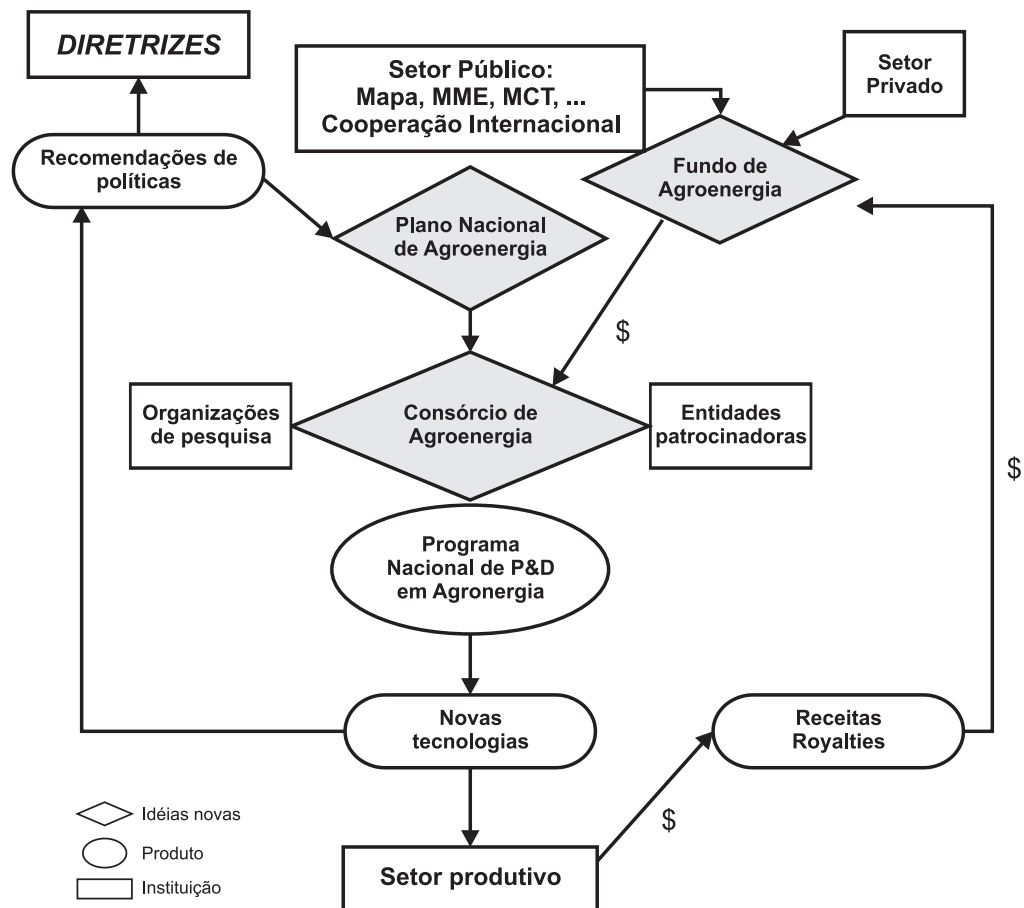
Também é necessário estabelecer canais de negociações internacionais para abrir o acesso a mercados promissores e aumentar a liquidez nos mercados de álcool, reforçando, por exemplo, o mercado de futuros para o produto. Isso só poderá ser equacionado com a entrada de novos atores no processo, desconcentrando a oferta e reduzindo os riscos sistêmicos para eventuais importadores.

As ações na busca da liderança do comércio internacional de biocombustível deverão ser coordenadas pelos Ministérios das Relações Exteriores e do Desenvolvimento, Indústria e Comércio, com a participação dos Ministérios de Minas e Energia, da Ciência e Tecnologia e da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa).

O setor privado é parceiro importante na discussão das estratégias a serem adotadas, bem com na sua execução.

Na inclusão social, o Mapa – em parceria com o Ministério de Desenvolvimento Agrário – desenvolverá ações para o desenvolvimento de tecnologia e sua aplicação em comunidades isoladas, com dificuldade de acesso à energia.

A Fig. 3 sintetiza as vinculações que determinarão as ações a serem realizadas para o sucesso do Plano Nacional de Agroenergia.



**Fig. 3.** Ações e atores do Plano Nacional de Agroenergia.





## **Anexo 1**

# Panorama Energético Atual e Perspectivas

A demanda projetada de energia no mundo aumentará 1,7% ao ano, de 2000 a 2030, quando alcançará 15,3 bilhões tep por ano, de acordo com o cenário-base traçado pelo Instituto Internacional de Economia (MUSSA, 2003). Os combustíveis fósseis responderão por 90% do aumento projetado na demanda mundial, até 2030, se não ocorrerem alterações na matriz energética mundial.

Observa-se o esgotamento progressivo das reservas mundiais de petróleo, pois elas crescem a taxa inferior ao crescimento do consumo. A British Petroleum, em seu estudo *Revisão, Estatística de Energia Mundial de 2004*, afirma que 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.

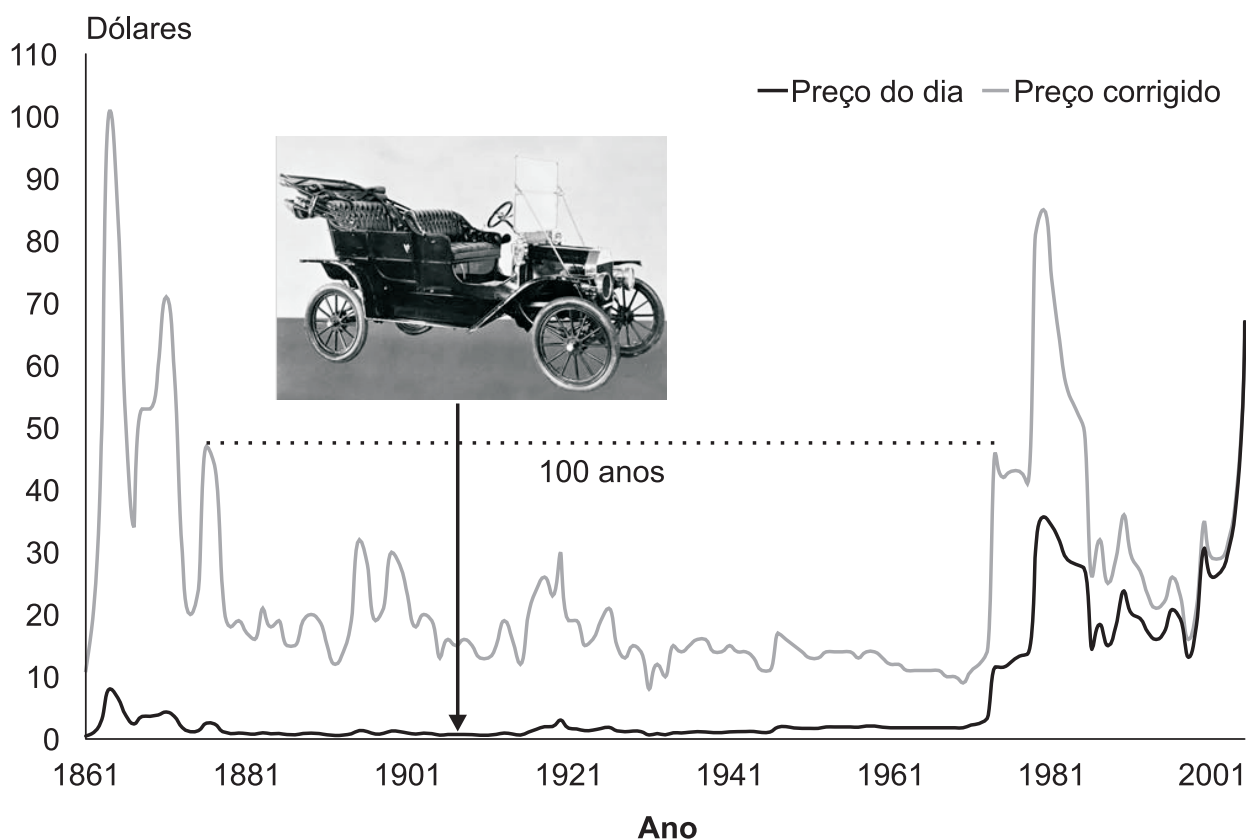
A matriz energética mundial é fortemente inclinada para as fontes de carbono fóssil, com participação total de 80%, sendo 36% de petróleo, 23% de carvão e 21% de gás natural (Tabela 1). O Brasil se destaca entre as economias industrializadas pela elevada participação das fontes renováveis em sua matriz energética. Isso se explica por alguns privilégios da natureza, como uma bacia hidrográfica com vários rios de planalto, fundamental à produção de eletricidade (14%), e o fato de ser o maior país tropical do mundo, diferencial positivo para a produção de energia de biomassa (23%).

O período de cem anos de petróleo barato (cotação entre US\$ 10,00 e US\$ 20,00 por barril), que vigorou até 1970, está definitivamente superado (Fig. 1).

Por questões conjunturais, eventualmente o preço do petróleo *spot* poderá oscilar para abaixo de US\$ 60,00/barril, porém a tendência de médio prazo é de valores crescentes. É perfeitamente lógico, no momento, delinear cenários com o piso da cotação em US\$ 100,00/barril a partir do início da próxima década.

**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
Hidrelétrica	2,2	14,0
Biomassa moderna	1,7	23,0
Outras renováveis	0,5	0,1



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

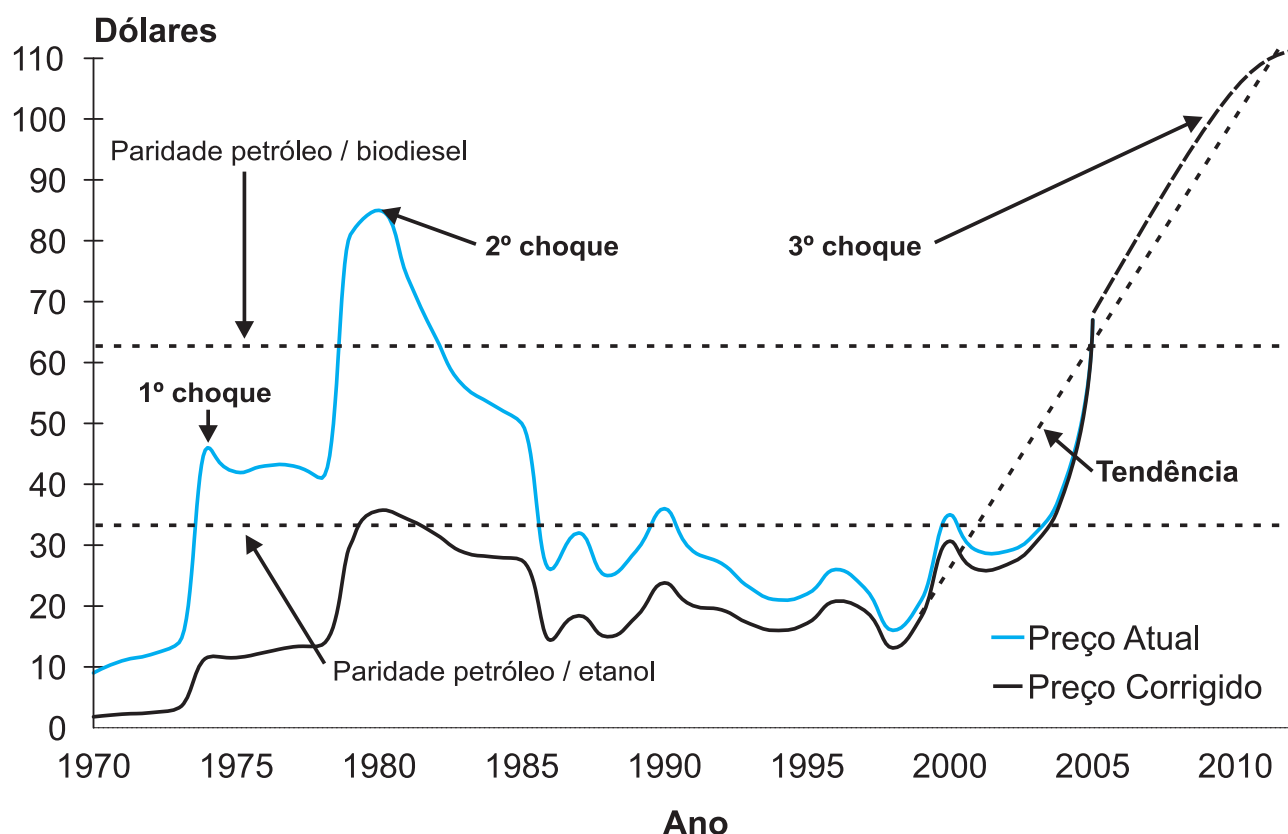
Fonte: Elaboração D. Gazzoni, com dados primários da DEA/USA.

Nas condições atuais de tecnologia e preços, a paridade entre o preço do álcool e da gasolina (tributação exclusiva) oscila entre US\$ 30,00 e US\$ 35,00. Por ser tecnologia ainda imatura, a mesma relação é estimada em torno de US\$ 60,00 para biocombustíveis derivados de óleo vegetal (Fig. 2). Entretanto, de forma similar ao ocorrido com o etanol combustível, que registrou queda superior a 60% em seu custo de produção, ao longo das últimas três décadas do século 20, o custo de produção de biodiesel deverá decrescer em virtude dos avanços tecnológicos, dos ganhos de escala e do aprendizado de gestão dos fatores de produção e de ordenamento do mercado.

Como a maioria dos cenários traçados para o preço internacional do petróleo prevê a continuidade da escalada de preços, consolidam-se mundialmente – e também no cenário nacional – as perspectivas para o programa do etanol combustível, criando-se condições para que um programa de biodiesel seja alavancado.

O mundo está cada vez mais temeroso dos impactos negativos dos combustíveis fósseis sobre o clima, por conta, principalmente, dos fenômenos recentes na Europa, nos EUA e na Ásia (climas mais rigorosos, secas, cheias, furacões, maremotos) e da percepção de autoridades e cientistas de que os extremos climáticos tornaram-se mais frequentes e mais severos. Essas alterações intensificam a incidência de pragas agrícolas, com sérias conseqüências econômicas, sociais e ambientais, e alteram o cenário fitossanitário, deixando exposta a vulnerabilidade da agropecuária a essas mudanças e à necessidade de serem desenvolvidas estratégias de longo prazo.

A experiência brasileira também indica que é possível gerar de 10 a 20 vezes mais empregos na agricultura de energia do que na alternativa fóssil, com a vantagem de que os empregos seriam gerados no Brasil. O incentivo à agricultura de energia permite enfrentar os desafios da produção de energia sustentável, da proteção ambiental e da geração de emprego e renda.



**Fig. 2.** Preço internacional do barril de petróleo – eventos.

Fonte: Elaboração D. Gazzoni, com dados primários da DEA/USA.

Além da temática ambiental, a questão sanitária possui conexão com a temática da agroenergia. O desenvolvimento de tecnologias para o tratamento e a utilização dos resíduos é grande desafio para regiões com alta concentração de suínos e aves, que se debatem entre a pressão pelo aumento da produtividade e a pressão da opinião pública contra a destruição do meio ambiente e a favor das regras do mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL).

Além do exposto, as reais possibilidades de participação de cada fonte de energia na evolução da matriz energética levarão em conta as projeções, em médio prazo, de seus aspectos positivos e negativos mais salientes (Tabela 2).

Entende-se que, de um lado, as condições técnicas e econômicas estão apresentadas para a viabilização da agroenergia; e, de outro, as pressões sociais (emprego, renda, fluxos migratórios) e ambientais (mudanças climáticas, poluição) reforçam e consolidam essa postura, além de antecipar cronogramas.

**Tabela 2.** Composição da matriz energética.

<b>Combustível</b>	<b>Aspectos positivos</b>	<b>Aspectos negativos</b>
Carvão	<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>• Necessidade de 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>
Petróleo	<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>
Gás	<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>• Infra-estrutura cara, própria e não-flexível</li><li>• Volatilidade de preços</li><li>• Jazidas concentradas geograficamente</li><li>• Produto cartelizado e mercado manipulável</li></ul>

Continua...

## Continuação da Tabela 2.

Combustível	Aspectos positivos	Aspectos negativos
Nuclear	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ausência de emissões de gases de efeito estufa</li><li>• Pouca limitação de recurso</li><li>• Alta densidade energética</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Baixa aceitação pela sociedade</li><li>• Sem solução para eliminação dos resíduos</li><li>• Operação arriscada e perigosa</li><li>• Muito intensivo em capital</li></ul>
Renováveis	<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 ao das demais fontes em uso</li></ul>

## Demanda de petróleo

Cientistas estimaram que, antes do início da sua exploração, as reservas mundiais de petróleo alcançariam pouco mais de 2,2 trilhões de barris no final do século 19. Hoje, tais reservas comprovadas somam apenas 1,137 trilhão de barris, 78% dos quais no subsolo dos países do cartel da Organização dos Países Exportadores de Petróleo – Opep (ORGANIZATION OF THE PETROLEUM EXPORTING COUNTRIES, 2005), o que permitiria suprir a demanda mundial por mais 40 anos, mantido o nível atual de consumo.

É evidente que tanto as reservas quanto o consumo se incrementarão nesse período. Projetando-se os números dos últimos 50 anos, porém, estima-se que a demanda crescerá entre 1,5% e 1,9% ao ano, o que a colocaria em cerca de 120 milhões de barris/dia em 2025, enquanto as reservas cresceriam a taxas mais tímidas. Em especial, verifica-se que, nos últimos 15 anos, houve incorporação líquida de apenas 13% nas reservas comprovadas, ou seja, acréscimo de 0,8% ao ano, em média. Abstraindo-se alterações drásticas na matriz energética mundial, o ocaso da era do petróleo está previsto para meados deste século 21.

Esse cenário de crescente escassez agrava-se pela forte dependência mundial de petróleo e de gás provenientes de determinada região – o Oriente Médio –, controlados pelo cartel dos países exportadores (Opep), que domina 78% das reservas mundiais. Tais fatos, aliados à finitude das reservas e à concentração da matriz energética mundial em petróleo, carvão e gás impõem a busca de alternativas, rumo a uma transição segura para ambiente de oferta energética sustentável.

Enquanto, no primeiro e no segundo choques de petróleo dos anos 70, a razão estrutural preponderante para o aumento de preços foi a diminuição voluntária da oferta (como forma de elevar os preços), o salto ocorrido neste século está ligado à expansão da demanda. Sob o ponto de vista estratégico, a expansão da demanda é muito mais preocupante do que a contração da oferta, pois, enquanto a contração da oferta pode ser negociada, a expansão da demanda é comprovação factual e de mais difícil solução, apontando para a necessidade de mudança radical nos hábitos de consumo de energia ou na alteração drástica da matriz energética mundial.

Entre 2002 e 2004, o consumo diário de petróleo no mundo expandiu-se de 78 milhões para 82 milhões de barris. A China respondeu por 36% desse aumento e os EUA por 24%. No caso da China, suas altas taxas de crescimento econômico fizeram o país passar da condição de exportador para a de importador, volatilizando o balanço mundial, mesmo fenômeno ocorrido com o Reino Unido (MUSSA, 2003). A Índia é um país energeticamente vulnerável e seu crescimento ocorrerá à custa de maior pressão sobre a demanda atual de combustíveis fósseis. O mesmo pode-se dizer do Japão, da Coreia do Sul e de outros países do Sudeste Asiático, com grande potencial de crescimento econômico muito dependente da importação de petróleo.

Em 2004, o consumo de energia dos países ricos alcançou 4,5 t, equivalente de petróleo – tep/pessoa/dia para agrupamento estimado em um bilhão de cidadãos. Já nos países emergentes, o consumo situa-se em 0,75 tep/pessoa/dia, porém, num 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 provocam forte pressão de consumo energético, sentida com maior intensidade nos países emergentes. É neles que continuará a ocorrer o maior crescimento demográfico no século 21, pressionando, conseqüentemente, 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% (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2004). Portanto, qualquer tentativa de inclusão social promoverá pressão adicional sobre o consumo de energia.

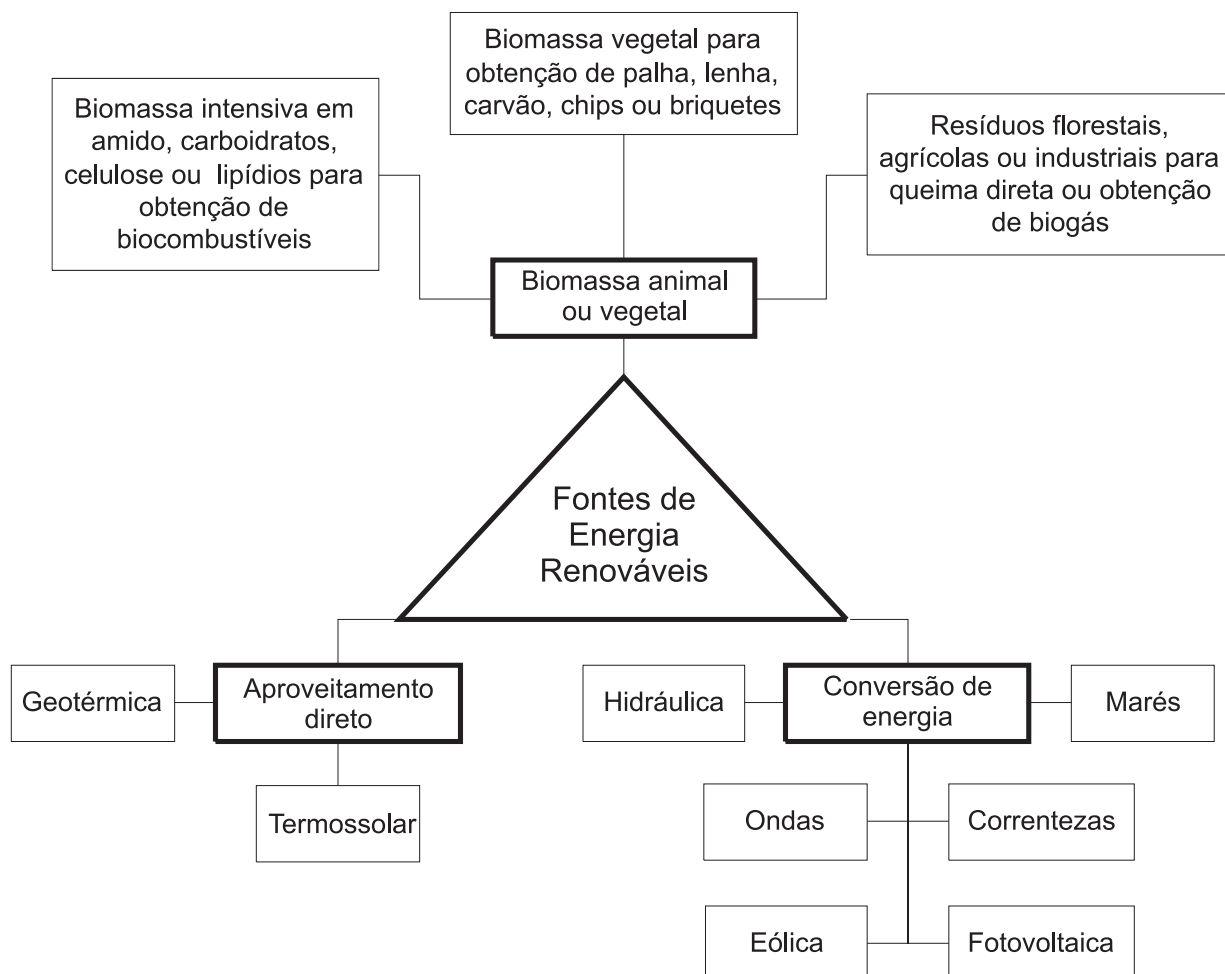
## **Energias renováveis**

Além da agroenergia – bioenergia produzida a partir de produtos agropecuários e florestais –, as fontes renováveis incluem hidrelétrica, eólica, solar, geotérmica e energia dos oceanos (Fig. 3).

O cenário de referência do World Energy Outlook (WEO 2000) projeta que a demanda por energia renovável crescerá 2,3% ao ano nas duas próximas décadas, portanto, acima do crescimento médio da demanda geral de energia. A demanda por energias renováveis, exceto a hidrelétrica, crescerá em torno de 2,8% ao ano.



Entretanto, essa projeção não prevê externalidades no mercado, nem intervenções originadas de políticas públicas ou de pressões sociais.



**Fig. 3.** Fontes de energia renováveis.

Fonte: Elaboração D. L. Gazzoni

A biomassa – composta por cerca de 220 bilhões de toneladas de matéria seca anual – parece ser a maior e mais sustentável fonte de energia renovável pronta para uso. Alguns cientistas, como Hall e Rao (1999), estimam que ela possa produzir aproximadamente 4.500 EJ<sup>2</sup> de energia, enquanto outros autores apontam para uma capacidade energética sustentável de cerca de 3.000 EJ. Nos países em desenvolvimento, a agroenergia continuará a ser importante fonte na matriz energética.

As fontes renováveis têm potencial técnico para atender a grande parte do acréscimo da demanda de energia do mundo, independentemente da sua finalidade (eletricidade, aquecimento ou transporte). No entanto, a viabilidade econômica, a sustentabilidade de cada fonte e a disponibilidade de recursos renováveis para a geração

<sup>2</sup> (E = 10<sup>18</sup>) e J é Joule, unidade de medida de energia.

dessa energia são variáveis de uma região para outra. As regiões tropicais recebem forte incidência de radiação solar, enquanto as áreas planas, em especial as costeiras, têm maior potencial eólico. A energia geotérmica é mais abundante nas regiões com atividade vulcânica intensa. O lixo está disponível em qualquer lugar e tanto seu volume quanto sua concentração aumentam com a urbanização. A principal discrepância, entretanto, ocorre na biomassa, em que poucos países, entre eles o Brasil, têm condições de ampliar a área de agricultura energética sem competir com outros usos da terra, como para alimentação, lazer, moradia, vias de transporte, reservas de proteção ambiental, etc.

## **Energia renovável na matriz energética**

A matriz energética brasileira é uma das mais limpas. Estimativas da International Energy Agency (IEA) indicam que 35,9% da energia fornecida no Brasil é de origem renovável, enquanto, no mundo em geral, esse valor é de 13,5%. Nos Estados Unidos, é de apenas 4,3%, e na Inglaterra, de 1,1% (Tabela 3).

Apesar do elevado potencial técnico, no regime de preços atuais de energia, é baixo o potencial econômico das fontes renováveis. No entanto, é previsível que o custo da energia obtida de fontes renováveis se tornará mais competitivo nos próximos 20 anos, resultado do investimento tecnológico e dos ganhos de escala. Além disso, as externalidades de mercado, a diversificação de fontes, os riscos de suprimento e a necessidade de reduzir as emissões de gases de efeito estufa interferirão positivamente nesse aspecto.

A disputa pelo espaço produtivo representará empecilho à redução dos preços de energia renovável. O custo de transporte e a portabilidade das fontes energéticas também pesarão contra as fontes de bioenergia, prevendo-se a necessidade de grandes investimentos em logística e infra-estrutura. O cenário de referência da WEO 2000 prevê investimentos em energia renovável da ordem de US\$ 90 bilhões apenas nos países da OECD, representando 10% do investimento global em energia nesses países. Entretanto, no cenário de energias alternativas da WEO, esse investimento atinge US\$ 228 bilhões, 23% do investimento total da capacidade de expansão de oferta de energia da Organização de Cooperação Econômica e Desenvolvimento (OECD).

## **A agricultura de energia do Brasil**

A agricultura de energia provém de quatro fontes de biomassa: as derivadas de cultivos ricos em carboidratos ou amiláceos, que geram o etanol; as derivadas de lipídios vegetais e animais, que geram o biodiesel; a madeira, que pode gerar o metanol, briquetes ou carvão vegetal; e os resíduos e dejetos da agropecuária e da agroindústria,

**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
<b>Mundo</b>	<b>10.038,3</b>	<b>1.351,9</b>	<b>13,5</b>

que podem gerar calor e energia elétrica. Em todas elas o Brasil tem vantagens comparativas na produção e pode criar vantagens competitivas para ser líder mundial no biomercado e no mercado internacional de energia renovável.

A primeira vantagem comparativa do Brasil vem da possibilidade de incorporar novas áreas à agricultura de energia sem competir com a agricultura de alimentos e com impactos ambientais limitados ao socialmente aceito (Fig. 4). Assim, a área de expansão dos Cerrados, a integração pecuária-lavoura, as pastagens degradadas, as áreas de reflorestamento e as atualmente marginalizadas – como o Semi-Árido Nordeste – somam cerca de 200 milhões de hectares.

A extensão de sua ocorrência dependerá da demanda final e de investimentos em pesquisa, infra-estrutura, etc.

A segunda vantagem comparativa decorre da possibilidade de múltiplos cultivos no ano, segundo o modelo de “janelas produtivas”. São períodos com riscos razoáveis para a cultura principal, porém aceitáveis para culturas menos exigentes de recursos hídricos – como mamona ou girassol –, o que viabiliza a agricultura de energia com custos fixos parcialmente amortizados. Os sistemas de safra e safrinha, de cultivo de inverno e de duplo cultivo de verão já são adotados na produção de grãos no País.

A terceira vantagem advém da extensão e da localização geográfica do Brasil, cuja maior parte situa-se nas faixas tropical e subtropical. Por isso, o nosso território recebe, durante o ano, intensa radiação solar (fonte da bioenergia), além de que dispõe de grande diversidade de clima (que reduz o risco de desabastecimento por perdas de colheita). Também possui exuberante biodiversidade, o que permite várias opções associadas à agricultura de energia, selecionando-se as mais convenientes. Essa possibilidade é bastante restrita na Europa, que está na dependência de poucas espécies, como a colza e a beterraba, e nos Estados Unidos, com o milho e a soja.

Entre os cultivos com potencial agroenergético em exploração atualmente destacam-se: soja, girassol, dendê, mamona e canola. Entretanto, a lista de plantas

potenciais é superior a cem, das quais pelo menos dez apresentam boa potencialidade para domesticação e futura exploração comercial.

**Fig. 4.** Área de expansão da agricultura de energia.

Fonte: Elaboração D. L. Gazzoni.



Finalmente, o Brasil detém um quarto das reservas de água doce na superfície e no subsolo, o que lhe permite o cultivo irrigado em larga escala.

Quanto às vantagens competitivas, detemos a liderança na geração e na implantação de moderna tecnologia de agricultura tropical, acumulando valioso estoque de conhecimento e vasta experiência em pesquisa, desenvolvimento, inovação e gestão de ciência e tecnologia. Além disso, temos capacidade material, humana e institucional instaladas, o que permite antever que continuaremos a nos situar na fronteira da tecnologia para a agricultura de energia, como somos na agricultura de alimentos.

O Brasil também acumulou enorme experiência técnica e empresarial no desenvolvimento de pujante agroindústria, em que se destaca a de produção de etanol, reconhecida como a mais eficiente do mundo em termos de tecnologia de processo e de gestão.

Paralelamente, o mercado doméstico de agroenergia é suficientemente grande para permitir ganhos de escala na produção e na absorção tecnológica, que o capacita a se tornar competitivo em escala internacional.

O País tem condições para se tornar o principal receptor de recursos provenientes do mercado de carbono, cujos contornos já estão visíveis e serão rapidamente adotados em razão da entrada em vigor do Protocolo de Quioto.

O sinergismo entre as vantagens comparativas naturais (solo, água, mão-de-obra e radiação solar intensa e abundante) e as vantagens competitivas acumuladas tornam o nosso país privilegiado para investimentos internos e externos na produção e no uso da agroenergia e na implantação de infra-estrutura e logística adequadas para o armazenamento e o escoamento da produção (comunicações, tancagem, ferrovias e hidrovias e instalações portuárias).

## O fator ambiental

A acumulação de gás carbônico na atmosfera – principal responsável pelo aquecimento anormal da crosta terrestre – tem aumentado acentuadamente, levantando, entre os cientistas, o temor de que os efeitos do aquecimento global possam manifestar-se mais rapidamente do que o esperado. Os níveis de CO<sub>2</sub> aumentaram mais de 2 ppm nos biênios 2001/2002 e 2002/2003, enquanto, nos anos anteriores, havia sido de 1,5 ppm, taxa que já era considerada muito elevada.

As grandes variações na concentração de CO<sub>2</sub> 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, como recentemente o El Niño não esteve ativo, esse fenômeno não pode ser responsabilizado pelo aumento da concentração de CO<sub>2</sub>.

A literatura registra diversos fenômenos que estão sendo diretamente relacionados ao acirramento do efeito estufa decorrente da queima de combustíveis fósseis<sup>3</sup>. Outros acadêmicos americanos tentam demonstrar que as florestas e os oceanos, que funcionam como sumidouros ou depósitos de gás carbônico, retirando o seu excesso da atmosfera, estão perdendo essa capacidade por saturação do sistema, o que pode ser uma das causas do aumento anormal nas concentrações de CO<sub>2</sub>.

Teme-se, por isso, o acirramento do efeito estufa, com alterações catastróficas decorrentes do aquecimento global – como elevação do nível do mar, secas e tempestades mais freqüentes – que poderiam se antecipar.

No Brasil, são poucos os estudos relacionados aos efeitos das mudanças climáticas globais sobre a agropecuária. Entre esses efeitos, as alterações do clima acarretam modificações na incidência de doenças de plantas, que podem representar sérias conseqüências econômicas, sociais e ambientais. O cenário fitossanitário atual seria significativamente alterado, obrigando, desde já, o desenvolvimento de estudos que diminuam a vulnerabilidade da agropecuária a essas mudanças e a busca de estratégias adaptativas de longo prazo.

---

<sup>3</sup> Pesquisadores americanos informam que os incêndios florestais que assolaram o Hemisfério Norte nos últimos anos podem haver contribuído para tornar mais intenso o efeito estufa.

A Embrapa, por lhe ser afeta a sustentabilidade do agronegócio brasileiro, vem demonstrando preocupação com o tema, incentivando a formação de redes e a execução de pesquisas para acompanhar esse fenômeno. Também aponta soluções<sup>4</sup>, visando evitar o aparecimento ou o ressurgimento de doenças no reino vegetal. O incentivo à agroenergia é uma das maneiras mais adequadas de enfrentar o desafio.

## Transição da matriz energética

Apesar de a mudança dos componentes da matriz energética mundial ser indiscutível a longo prazo, existem diversos condicionantes tecnológicos, políticos, culturais, econômicos, sociais, comerciais ou ambientais que podem apressar ou retardar as mudanças consideradas inexoráveis, a saber:

- O aumento do preço dos combustíveis fósseis é crucial para apressar a transição e, paradoxalmente, 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, com a notável exceção do etanol, derivado da cana-de-açúcar.

- O declínio da oferta de petróleo afetará o conjunto das cadeias produtivas que dele dependem e induzirá sua substituição por fontes provenientes da biomassa, processo cuja velocidade depende do volume do investimento em Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I).

- Os custos de obtenção de energia são fortemente ligados às condições locais, o que gera diferenciais competitivos entre regiões, países e continentes, dos quais somente alguns são superáveis.

- A transição dependerá do apoio decisivo e continuado dos respectivos governos, especialmente no início do processo. Esse apoio poderá ser reduzido paulatinamente, à medida que as metas forem sendo atingidas e o processo consolidado. O poder regulador e de intervenção do governo pode alterar o quadro, por meio de diversos instrumentos de políticas, de sua capacidade de compra e de seu poder normativo e de adequação dos recursos tecnológicos.

- O apoio intenso, garantido e continuado aos programas de PD&I constituir-se-á na pedra angular para acelerar a mudança. As inovações, ao aumentarem a eficiência da transformação energética, resultarão em benefícios ambientais e econômicos, contribuindo para viabilizar técnica e economicamente as fontes renováveis de energia e induzir ganhos de escala e redução de custos a longo prazo.

- Acordos internacionais, como o Protocolo de Quioto, ou intrabloco, como a Diretiva para Obtenção de Eletricidade de Fontes Renováveis, do Parlamento Europeu, são poderosos indutores da transição.

---

<sup>4</sup> Veja-se, por exemplo, o livro *Mudanças climáticas globais e doenças de plantas*, de autoria da pesquisadora Raquel Ghini, da Embrapa Meio Ambiente.



- A co-geração de energia será um diferencial importante para a viabilização econômica das fontes agroenergéticas. A técnica já é utilizada na produção de etanol e pode ser estendida a outras fontes, incluindo a utilização energética de dejetos.

- 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 a mudança.

- A crescente preocupação com as mudanças climáticas globais convergirá para políticas globais de redução da poluição e para o reconhecimento da importância da energia de biomassa.

- A crescente demanda por energia e a evolução recente do uso de biomassa energética serão impulsionadas pelos países em desenvolvimento, que demandarão 5 TW de energia nova nos próximos 40 anos, sendo inadmissível imaginar que essa energia possa ser proveniente de fontes fósseis, em razão de seu alto impacto ambiental, do seu custo financeiro crescente e do esgotamento das reservas.

- Os custos ambientais serão paulatinamente incorporados ao preço dos combustíveis fósseis graças a tributos punitivos (taxa de poluição), tornando-os progressivamente mais caros, fator agravado com o aumento natural de preços, decorrente do esgotamento das reservas.

- Crescem, exponencialmente, os investimentos públicos e privados no desenvolvimento de inovações que viabilizem as fontes renováveis e sustentáveis de energia, com ênfase ao aproveitamento da biomassa.

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

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

A Tabela 4 relaciona o custo de geração de eletricidade por país da Europa Ocidental, para diversas fontes, e demonstra que a bioenergia começa a competir com o carvão e o gás.

A Fig. 5 mostra a produção de energia renovável em 1997, em diversas regiões e países do mundo, e traça estimativa para 2020.

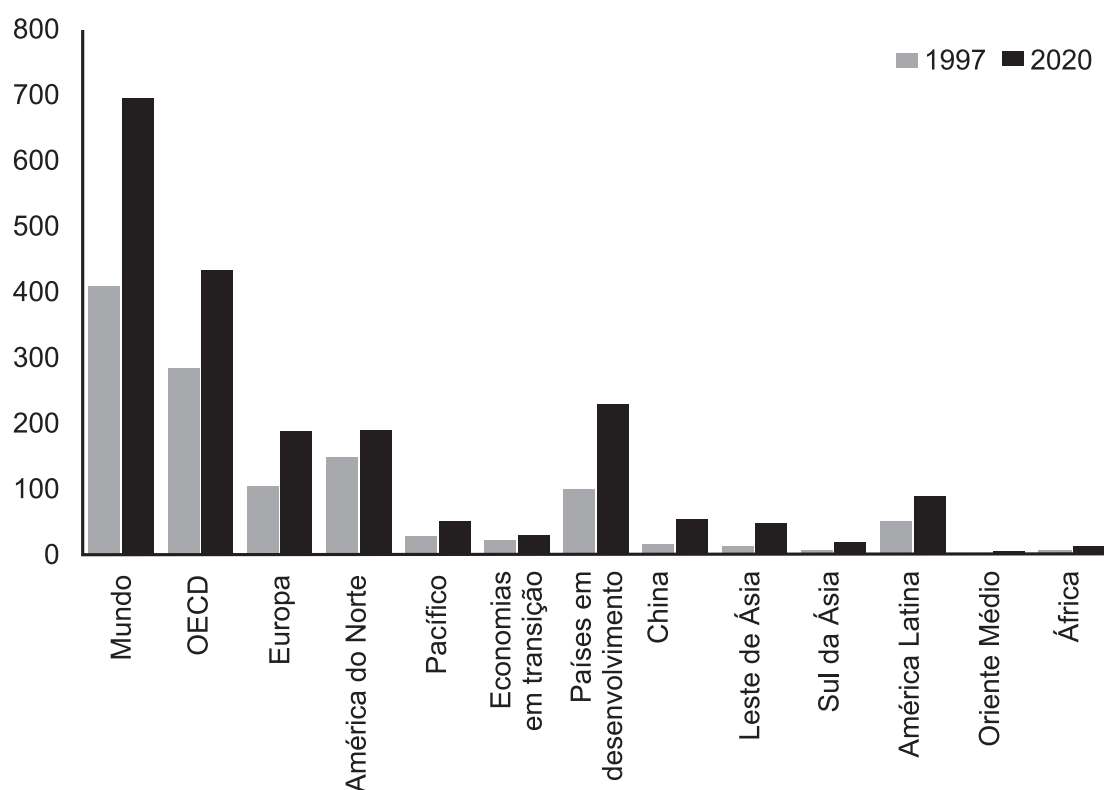
A Tabela 5, a seguir, apresenta o potencial de uso de bioenergia, de acordo com levantamento de 1990 projetado para 2020, em dois diferentes cenários.

A Fig. 6 mostra o expressivo crescimento da produção de biodiesel no mundo, com dois importantes momentos de inflexão da curva, a partir de 1994 e 2000.

**Tabela 4.** Custo de geração de eletricidade na Europa, por diversas fontes primárias (Eurocents/kWh – preços de 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.



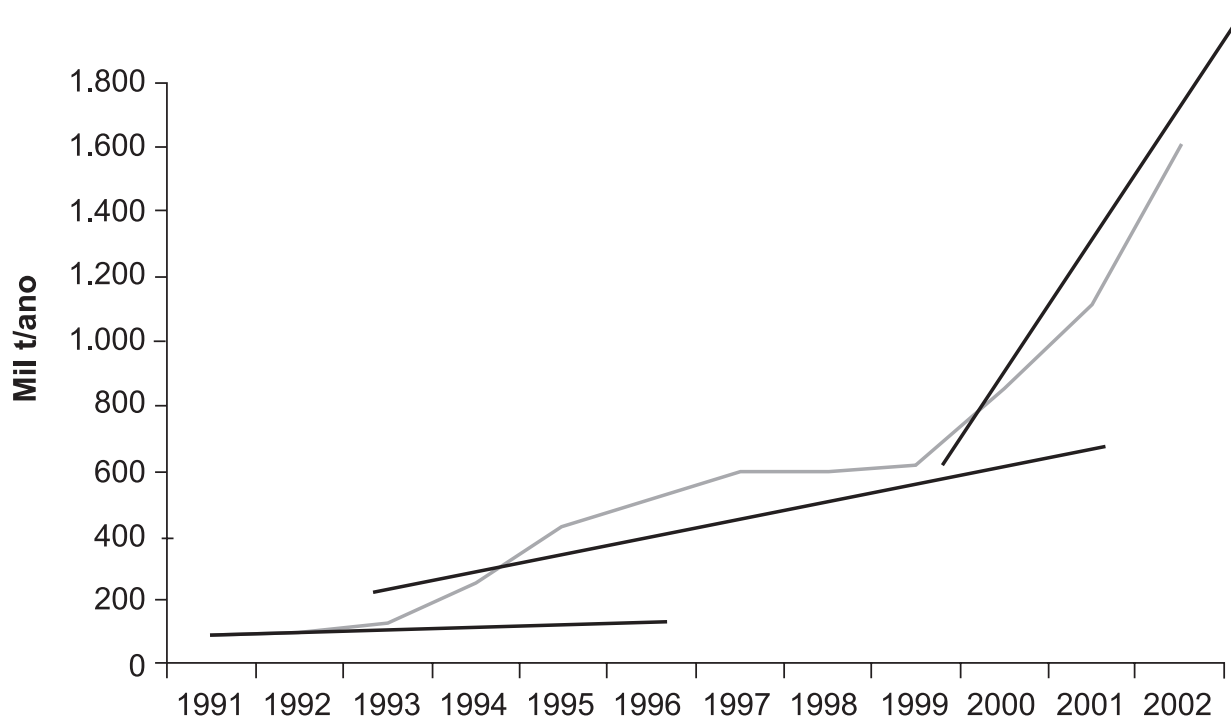
**Fig. 5.** Oferta de energia renovável por região (Mtep).



**Tabela 5.** Estimativa do potencial de uso de bioenergia (Mtep<sup>1</sup>).

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

<sup>1</sup> M = mega (10<sup>6</sup>); tep = tonelada equivalente de petróleo.



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

## Cenários de oferta e demanda de energia

O Relatório Especial sobre os Cenários de Emissões do Painel para a Mudança Climática (IPCC) estima que o maior potencial em energia renovável, a médio prazo (2025), seja proveniente do desenvolvimento de biomassa moderna (70 a 140 EJ), seguido pela energia solar (16-22 EJ) e a eólica (7-10 EJ). O conceito de biomassa moderna incorpora tanto a madeira, sob a forma de briquetes, como o carvão e o licor negro. A longo prazo, a contribuição de energias renováveis é estimada em 1.300 EJ/ano, metade do que será obtido diretamente da energia solar (2.600 EJ/ano).

Enquanto a principal limitação ao aproveitamento da energia solar é a de uma tecnologia que viabilize economicamente sua obtenção e sua estocagem, no caso da agricultura de energia, acredita-se que haverá limite máximo à sua expansão, em virtude da competição pela produção de alimentos. Nesse 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 tenham sido viabilizadas.

O International Institute for Applied Systems Analysis e o World Council Energy elaboraram conjunto de cenários para o século 21 (Tabela 6). Suas projeções concluíram que somente os cenários com substituição das fontes fósseis de energia pela energia renovável (cenários A3, C1 e C2) podem promover o desenvolvimento sustentável, com baixo impacto ambiental (local e global) e distribuição mais eqüitativa de recursos e riqueza. Ao contrário, a projeção da situação e das tendências atuais, ainda que com avanços tecnológicos e crescimento econômico moderado (cenário B), não levaria à sustentabilidade.

De acordo com o cenário básico de projeção do Departamento de Energia dos EUA, a demanda total de energia no período 1996 a 2020 deve crescer 78%, e as demandas de energia elétrica 92%, o que exigirá investimentos da ordem de US\$ 400 bilhões a 600 bilhões/ano entre 1990 e 2020. Esse investimento será feito num conjunto de tecnologias fósseis, renováveis e nucleares muito diversificado.

**Tabela 6.** Premissas dos cenários de projeção 2000–2030.

		Cenários		
		A	B	C
Variantes		Grande desenvolvimento tecnológico e crescimento econômico, no mundo	Avanços tecnológicos e crescimento econômico mais moderados e desiguais nos países menos desenvolvidos	Restrições ecológicas, conservação e uso eficiente de energia e grande avanço tecnológico e econômico
	1	Abundância de petróleo e gás natural		Mais dependente de novos e mais seguros reatores nucleares
	2	Com atuais reservas de óleo e gás (e aumento do uso de carvão)		Mais dependente de energia renovável
	3	Com domínio de energia nuclear e renovável, eliminando os fósseis Até 2100		

Tal cenário considera que 80% da oferta de energia atual é de origem fóssil, e esta predominará até 2020. Concluem, ainda, que apenas 9% da demanda total de energia e 12% da demanda de energia elétrica até 2020 ocorrerão nos EUA, e que a maior parte do incremento da demanda virá de países em desenvolvimento. A produção de petróleo deverá crescer de 72 para 116 milhões de 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 por combustíveis limpos, de diversas fontes renováveis, em especial de biomassa, ou, no limite, do gás natural.

Das fontes fósseis de energia, o gás natural é a mais promissora, por ter maior capacidade de expansão e ser a mais “limpa”. No entanto, apresenta distribuição espacial não-homogênea, demandando grandes investimentos em infra-estrutura, acordos internacionais complexos e inovações tecnológicas na distribuição. Além disso, o gás natural é particularmente afetado por disputas políticas, pois depende de gasodutos de alto custo fixo, que não podem ser utilizados para outras finalidades, o que torna os clientes reféns de decisões políticas arbitrárias e do descumprimento de contratos por parte de dirigentes e autoridades.

O uso de energia nuclear continuará a ser limitado pelas implicações de segurança e baixa aceitação por parte da opinião pública, o que indica que tecnologias mais seguras continuarão a ser buscadas.

As energias renováveis deverão suprir fração crescente da demanda, inicialmente fora dos EUA, como os mercados fotovoltaico e eólico. O seu crescimento mundial, incluindo a energia de biomassa, será fortalecido por considerações ambientais e de segurança no suprimento.

Em geral, o crescimento econômico e a proteção ao meio ambiente serão os principais motivadores das mudanças e os balizadores do crescimento do setor energético. Caso a sociedade mundial decida manter a concentração de carbono na atmosfera nas atuais 550 ppm, grande parte da energia futura não conterá carbono fóssil, e o uso de combustíveis fósseis, quando utilizado, será explorado com a maior eficiência possível.

Nas próximas décadas, a biomassa deverá ser base da energia renovável e insumo para a indústria química. Especialistas acreditam que ela movimentará o maior volume de recursos das transações agrícolas internacionais, a partir de 2050.

Em certos casos, o crescimento da agricultura de energia impulsionará, também, o aumento da produção de alimentos. Por exemplo: a expansão de cultivos (soja e girassol) para fins energéticos significará, necessariamente, o aumento da oferta da torta ou farelo, matéria-prima da indústria de rações ou alimentos.

A portabilidade, a capacidade de estocagem e a densidade energética são atributos importantes para consolidar e ampliar a participação de uma fonte de energia na matriz energética. O etanol e o biodiesel, por exemplo, possuem portabilidade, o que lhes permite serem transportados e estocados para além-mar, ao contrário da energia elétrica, que possui limitações de transmissão. O biodiesel possui as mesmas características do álcool, mas tem maior densidade energética, o que reduz seu custo

relativo de transporte e de estocagem, medido pela energia potencial por unidade de volume ou peso.

## Projeções para o Brasil

A oferta interna de energia no Brasil<sup>5</sup> (OIB) em 1999 foi de 183 Mtep<sup>6</sup>. Estima-se que alcançará 617 Mtep em 2020 (Tabela 7), que corresponde ao crescimento de 4,4% ao ano no período 2000 a 2020.

No final de 1999, as reservas medidas de petróleo correspondiam a 20 anos da produção, indicando o esgotamento na década de 20 deste século. Das reservas comprovadas de petróleo, 88% estão no mar, a grandes profundidades, o mesmo ocorrendo com 65% das reservas provadas de gás natural.

**Tabela 7.** Projeções da OIB em valores equivalentes térmicos.

Ano	2000	2005	2010	2020
Mtep	260	300	396	617

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

Nesse cenário, prevê-se perda de importância do petróleo e da energia derivada da cana-de-açúcar e aumento relevante da participação do gás natural na matriz energética brasileira de 2020 (Tabela 8).

**Tabela 8.** Evolução da OIB por fonte energética.

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

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

<sup>5</sup> A OIB considera a produção doméstica, a importação, a exportação, a variação em estoque e a energia não-aproveitada.

<sup>6</sup> Computando a energia elétrica pelo seu equivalente calórico: 1 kWh = 860 kcal.

Entretanto, a previsão de redução dos custos da energia derivada da biomassa (Tabela 9) pode alterar esse quadro, o que dependerá fundamentalmente da evolução e dos resultados da pesquisa, do desenvolvimento e da inovação tecnológica nas diversas vertentes da agroenergia.

**Tabela 9.** Evolução do custo da biomassa (em US\$/GJ).

Ano	2000	2005	2010	2020
Custo	2,4	1,8	1,4	1,2

---

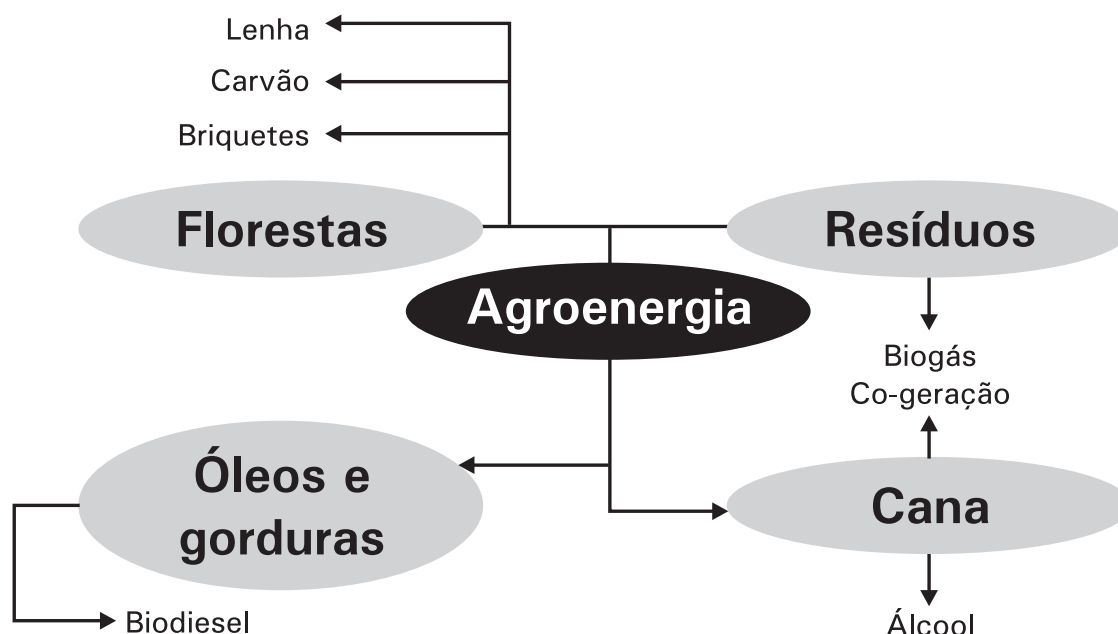
Fonte: CGEE - Estado da arte e tendências tecnológicas para energia.

## **Anexo 2**

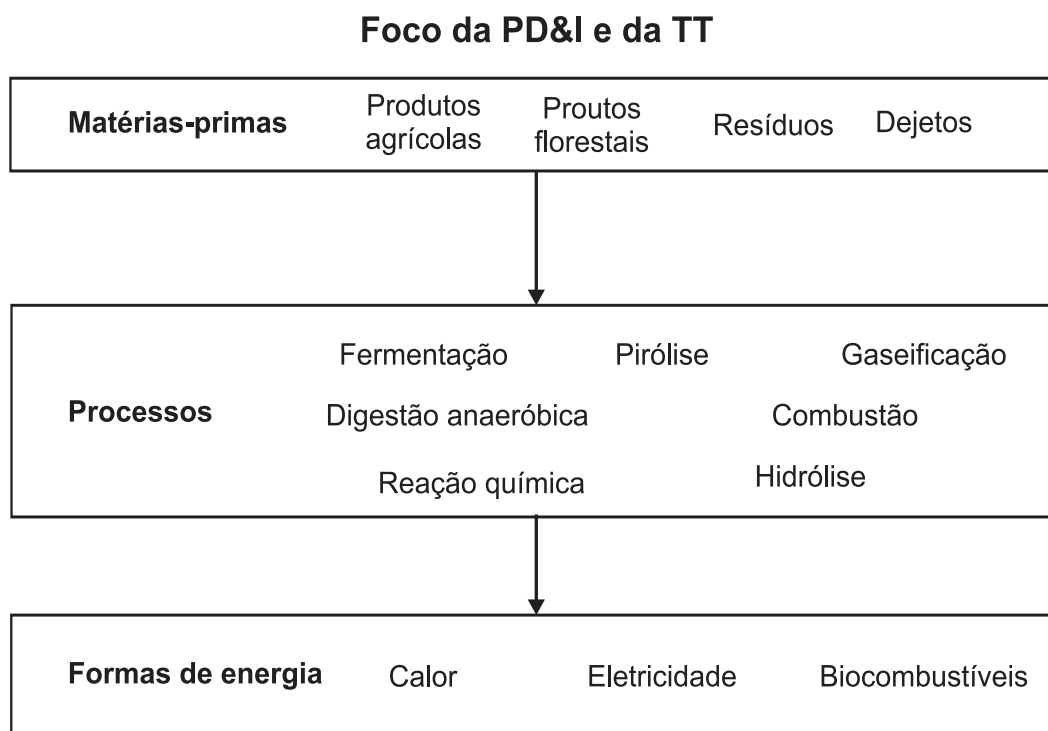
# As Cadeias Produtivas de Agroenergia

As cadeias de agroenergia, neste capítulo, serão descritas em quatro grandes grupos: a) etanol e a co-geração de energia provenientes da cana-de-açúcar; b) biodiesel de fontes lipídicas (animais e vegetais); c) biomassa florestal e seus resíduos; e d) dejetos agropecuários e da agroindústria. Das florestas energéticas, obtêm-se diferentes formas de energia, como lenha, carvão, briquetes, finos (fragmentos de carvão com diâmetro pequeno) 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, apresenta competitividade quase imbatível quando obtido 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, biogás, biodiesel, etc. (Fig. 7).

A PD&I focará o desenvolvimento de tecnologia de matéria-prima e o desenvolvimento ou o aprimoramento de processos (Fig. 8). 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.



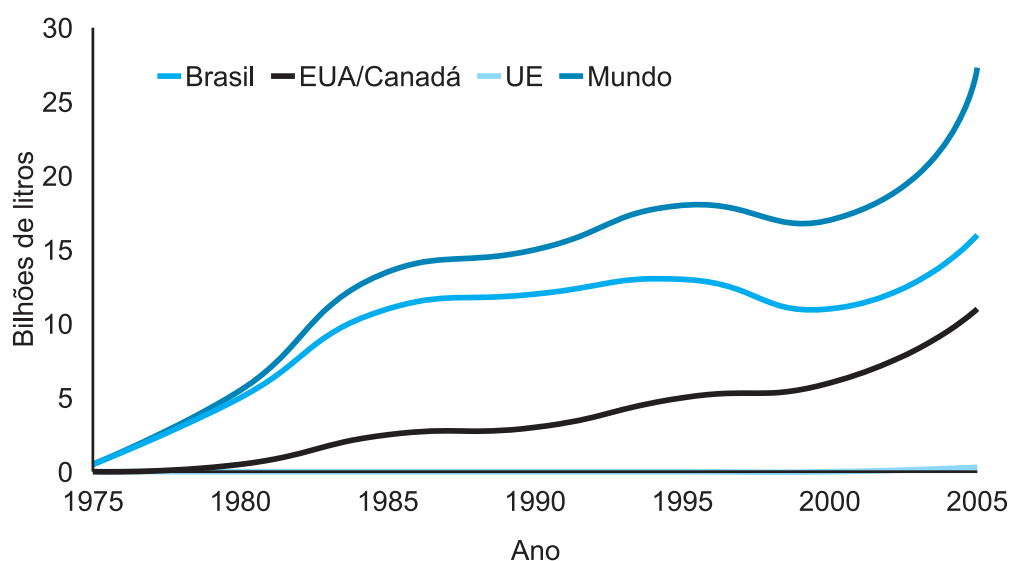
**Fig. 7.** Matriz de produção da agroenergia.



**Fig. 8.** Encadeamento da produção de agroenergia como foco de um programa de PD&I.

## Álcool combustível

O Brasil é o país que mais avançou na tecnologia, na produção e no uso do etanol como combustível, seguido pelos EUA e, em menor escala, pela Argentina e outros países. A produção mundial de álcool aproxima-se dos 40 bilhões de litros, dos quais cerca de 25 bilhões de litros são utilizados para fins energéticos, sendo o Brasil responsável por 15 bilhões (Fig. 9), quase 40% da produção mundial.



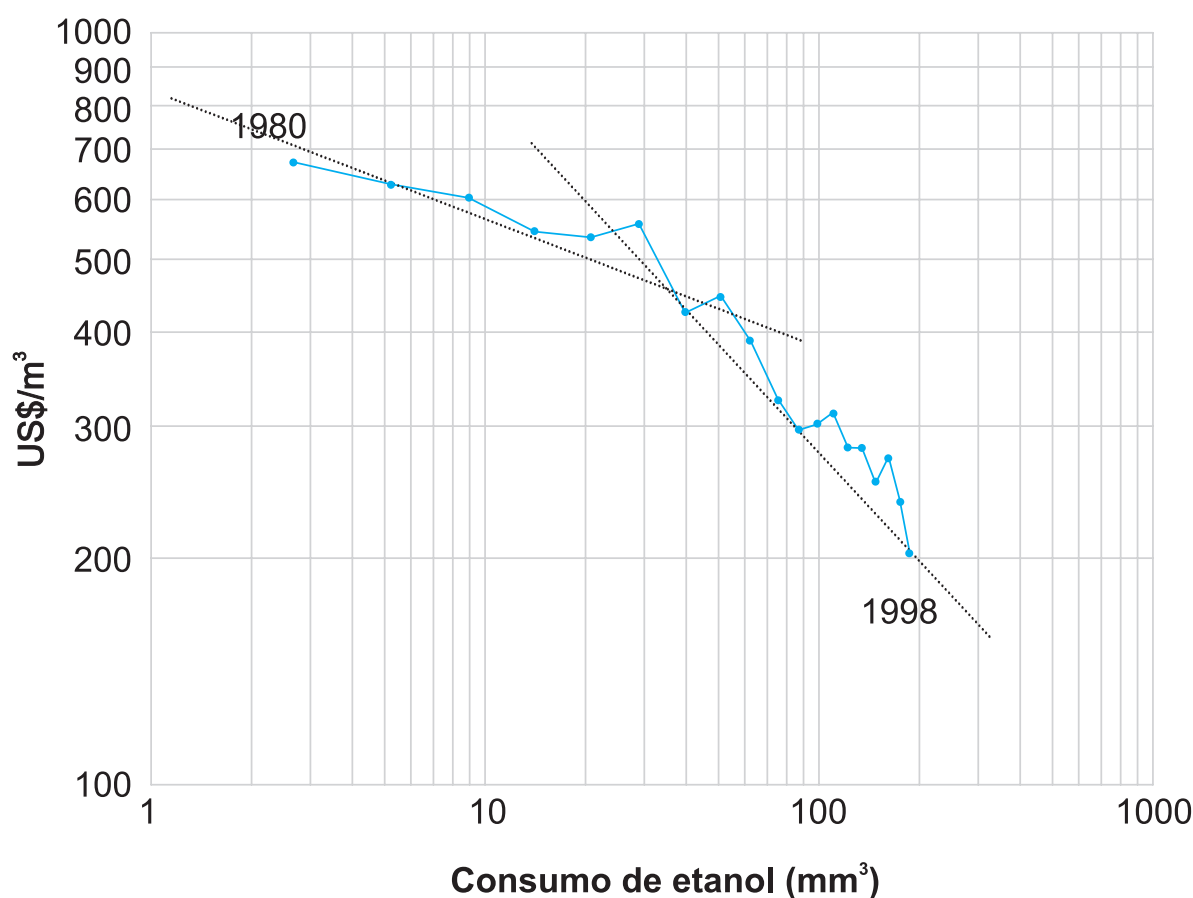
**Fig. 9.** Produção mundial de álcool combustível.



O álcool é utilizado em mistura com gasolina nos seguintes países: Brasil, EUA, UE, México, Índia, Argentina, Colômbia e, mais recentemente, Japão. Seu uso exclusivo como combustível ocorre no Brasil. Nas décadas de 80 e 90 do século passado, no Brasil, as inovações tecnológicas, as modernas práticas empresariais e os ganhos de escala – propiciados pelo Programa Proálcool – traçaram curva de aprendizagem que acabou por reduzir o custo de produção do álcool a preços compatíveis com os da gasolina (Fig. 10).

O álcool pode ser obtido de diversas fontes de biomassa. Até agora, a que se provou mais viável é a cana-de-açúcar. Grandes investimentos estão sendo efetuados para viabilizar a produção a partir de celulose, estimando-se que, em 2020, apenas nos EUA, cerca de 30 bilhões de litros de álcool poderiam ser obtidos dessa fonte. Será necessário investir recursos elevados em PD&I, especialmente na hidrólise da celulose. Para evitar choque de competitividade, o Brasil necessita investir na mesma linha, com potencial altamente promissor.

O benefício ambiental associado ao uso de álcool é enorme: cerca de 2,3 t de CO<sub>2</sub> deixam de ser emitidas por tonelada de álcool combustível, utilizado em lugar do combustível fóssil, sem considerar outras emissões, como o SO<sub>2</sub>.



**Fig. 10.** Curva de aprendizagem em relação ao preço do etanol de cana.

Fonte: Goldemberg, J. Seminário BNDES sobre Competitividade do Etanol Brasileiro 2003.

Com o álcool combustível e a co-geração de eletricidade a partir do bagaço, a cana-de-açúcar é, hoje, a maior fonte de energia renovável do Brasil. Segundo o Balanço Energético Nacional (2003), a participação da biomassa na matriz energética brasileira é de 27%; sendo, a partir do bagaço de cana-de-açúcar, de 12,6%; da utilização de lenha de carvão vegetal, de 11,9%; e de outras fontes, de 2,5%.

Dos quase 6 milhões de hectares cultivados com cana no País, cerca de 85% estão na Região Centro-Sul, principalmente em São Paulo (60%), sendo os 15% restantes cultivados nas Regiões Norte e 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 gerados mais de 4 GWh de energia elétrica durante a safra, aproximadamente 3% da nossa geração anual.

Apesar do enorme potencial para a co-geração a partir do aumento da eficiência energética das usinas, a geração de eletricidade é apenas uma das opções de uso do bagaço. Também estão em curso pesquisas para transformá-lo em álcool, via hidrólise lignocelulósica, em biodiesel, ou mesmo para o seu melhor aproveitamento pela indústria moveleira e a produção de ração animal.

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

Até o final de 1979, apenas o álcool anidro era utilizado como combustível<sup>7</sup>.

Além de altamente dependente do petróleo importado, a pauta de exportações do Brasil se baseava em *commodities* agrícolas, impossibilitando o país de equilibrar a balança comercial, caso se mantivesse a tendência de crescimento das importações de petróleo. Com o segundo choque do petróleo, o governo e a indústria automotiva firmaram parceria para privilegiar o desenvolvimento tecnológico de veículos movidos exclusivamente a álcool. Em 1980, o governo federal decretou que o álcool seria vendido aos consumidores por 60% do valor da gasolina, estabelecendo paridade vantajosa na relação preço–poder calorífico. Como resultado, entre 1983 e 1988, dos veículos novos comercializados, mais de 90%, em média, eram movidos a álcool.

Paralelamente, foi criado o Programa Nacional do Álcool (Proálcool), o maior programa mundial de energia renovável, que congregou incentivos múltiplos ao aumento

---

<sup>7</sup> As primeiras experiências com a utilização do etanol em motores do Ciclo Otto datam do início do século 20. 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%, intervalo elevado em 1961 para de 5% a 10%.

da capacidade instalada: canaviais, usinas, destilarias e infra-estrutura de armazenagem. Essa política ensejou rápida implantação de canaviais e vertiginoso crescimento da produção de álcool, sem perturbar o abastecimento de açúcar.

Entre 1980 e 1985, dinamizou-se o processo de aprendizado e desenvolvimento tecnológico. Os ganhos de produtividade na agricultura e no processamento da matéria-prima permitiram sensível redução de custo de produção de álcool. Houve, também, notável melhoria da eficiência dos motores a álcool, aumentando a confiabilidade da população nos veículos.

Em 1986, o preço do petróleo começou a cair abruptamente, baixando da média superior a US\$ 27,00/barril, em 1985, para menos de US\$ 14,00/barril, impossibilitando o governo de manter o estímulo de preços ao álcool<sup>8</sup>.

O consumo de álcool hidratado continuou crescendo. Entre 1989 e 1990, porém, houve uma crise de abastecimento que levou a população a perder a confiança nesse combustível e, conseqüentemente, no carro a álcool, cujas vendas despencaram para 11,55%, em 1990, contra 52,5% no ano anterior.

Passada essa crise, quando as vendas já davam sinais de recuperação (em 1992 e 1993, os veículos a álcool representaram média superior a 25% do total), novos padrões tecnológicos colocaram o carro a álcool definitivamente em desvantagem: o conceito do carro-mundial e os motores de até 1.000 cilindradas. Como a relação de preços não era favorável ao álcool, a indústria automotiva concentrou sua pesquisa na geração de veículos a gasolina mais econômicos. Estes, em 1996, alcançaram 75% das vendas, enquanto a comercialização dos carros a álcool desabou a menos de 1%.

Para evitar o colapso de toda a estrutura de produção de álcool montada no País, em 1993, o governo promulgou lei elevando para 22% o teor de álcool anidro na mistura com gasolina. As vendas de álcool ainda continuaram subindo, até 1997. Daí até 2000, a redução do consumo de álcool hidratado superou o aumento do consumo de álcool anidro. A utilização total de álcool voltou a crescer a partir de meados de 2001, quando o uso de álcool anidro foi maior do que a queda absoluta do consumo de álcool hidratado.

Paralelamente, enquanto o setor sucro-alcooleiro acumulava ganhos de produtividade, as cotações do petróleo voltaram a subir, flutuando ao redor de US\$ 25,00/barril, entre 2000 e 2002. Com preços mais elevados e maior carga tributária sobre o combustível fóssil, o álcool recuperou atratividade, levando a indústria automotiva a investir num novo padrão tecnológico: o carro bicomcombustível álcool-gasolina, também denominado pela expressão norte-americana *flex fuel*.

---

<sup>8</sup> Nesse ano, novo decreto elevou para 75% a relação entre o preço do álcool e o da gasolina, o que mais se aproxima da relação de potência veicular entre os dois combustíveis.

A flexibilidade de abastecimento desses veículos, que praticamente eliminava os riscos de desabastecimento, combinada com os preços atrativos do álcool, redirecionou o mercado: lançados em março de 2003, já circulavam, em fins de 2005, no território nacional, 850 mil desses veículos, distribuídos em 52 modelos fabricados por seis das indústrias automobilísticas instaladas no País<sup>9</sup>. Esses números indicam o alvorecer de uma nova era, com predominância quase absoluta de veículos multicomcombustíveis. Tal fato favorecerá, enormemente, o consumo de biocombustíveis.

Em decorrência disso, as vendas internas de álcool hidratado reassumiram tendência ascendente, com mais de 6 bilhões de litros estimados para 2006. Somados a outros 6,7 bilhões de litros de álcool anidro misturado à gasolina, o álcool volta a ter participação superior a 40% no mercado de combustíveis dos veículos do Ciclo Otto.

## Co-geração

Os resíduos da produção sucro-alcooleira que podem ser utilizados na produção de eletricidade via co-geração são o bagaço, a palhada e os ponteiros da cana, além do vinhoto das destilarias de álcool. Do total da energia contida na cana, o álcool responde por cerca de um terço. O restante é distribuído entre o bagaço, os ponteiros e a palhada.

A co-geração é o processo de transformação de determinada forma de energia em mais de uma forma de energia útil. As mais comuns são: mecânica (para movimentar máquinas, equipamentos e turbinas de geração de energia elétrica) e térmica (para geração de vapor, frio ou calor). Segundo Oddone (2001), a co-geração tem alta eficiência energética, pois não há desperdício de energia térmica (como ocorre nas termelétricas puras), pois é utilizada em processos industriais como secagem, evaporação, aquecimento, cozimento, destilação, etc.

Autores como Wylen e Sonntag (1976), Oddone (2001), Coelho (1999) e Walter (1994) estudaram os aspectos termodinâmicos da co-geração na cadeia sucro-alcooleira, em especial o ciclo Rankine e o ciclo combinado<sup>10</sup>.

Projeções da Agência Internacional de Energia indicam que a participação da biomassa na geração mundial de eletricidade deverá passar de 10TWh, em 1995, para 27TWh, em 2020.

De acordo com a FAO, aproximadamente 1,333 Mt de cana foram produzidos em 1997, o que corresponde a 335 Mt (25%) de bagaço. Uma tonelada de bagaço, com 50% de umidade, contém 2,85 GJ de energia.

---

<sup>9</sup> Em agosto de 2005, foram vendidas 90 mil veículos biocombustíveis, 60% do local.

<sup>10</sup> No ciclo Rankine, utiliza-se uma caldeira em que uma fonte de energia (o bagaço ou a palhada da cana) gera vapor em alta pressão, com temperatura superior ao ponto de ebulição da água. A liberação do vapor ocorre por meio de sistemas mecânicos, movimentando máquinas, transferindo calor para processos industriais ou movimentando turbinas para gerar energia elétrica. O ciclo completa-se com o retorno do vapor condensado à caldeira, para ser novamente aquecido. No ciclo combinado, uma turbina a gás em alta temperatura movimenta um gerador, sendo transferido o calor do gás para a água, a qual é vaporizada. O vapor move um segundo gerador, ambos produzindo energia elétrica.

Segundo o Balanço Energético Nacional (2003), a participação da biomassa na matriz energética brasileira é de 27%. A partir do bagaço de cana-de-açúcar, 12,6%; da utilização de lenha de carvão vegetal, 11,9%; e de outras fontes, 2,5%. Entre 1985 e 1992, a co-geração já respondia por 3,6% da energia elétrica produzida no Brasil (WALTER, 1994).

O processamento da cana-de-açúcar demanda muita energia térmica, mecânica e elétrica. No entanto, após a extração do caldo, é possível queimar o bagaço<sup>11</sup> da cana em caldeiras, produzindo vapor, que é utilizado para obter essas três fontes de energia.

Afora o bagaço, restam ainda a palhada e os ponteiros, que representam outros 55% da energia acumulada no canavial. Esse percentual – a maior parte deixado no campo – pode representar até 30% da biomassa total da cana. Seu poder calorífico superior é da ordem de 15 GJ/t, e o inferior, de cerca de 13 GJ/t. Todo esse potencial, que pode mais do que dobrar a quantidade de energia que se obtém da cana, é muito pouco aproveitado. Na maioria dos casos, é queimado no campo.

Inicialmente, o bagaço – 25% a 30% do peso da cana processada – era utilizado nas usinas como substituto da lenha para geração de calor. Mais recentemente vem sendo utilizado para gerar vapor, com flexibilidade para ser transformado em outras formas de energia, como calor, eletricidade ou tração mecânica. O aumento do custo da energia elétrica e do petróleo tornou atraente a utilização do bagaço para a co-geração. Como ainda estamos no início da aplicação do processo, existe grande espaço de melhoria tecnológica para maximizar sua eficiência.

As amplas possibilidades da co-geração foram percebidas pelos formuladores da política energética brasileira. A Aneel (Resolução Normativa nº 109, de 26.10.2004) instituiu a Convenção de Comercialização de Energia Elétrica, que prevê o *autoprodutor*, titular de concessão, permissão ou autorização para produzir energia elétrica para seu uso exclusivo; o *consumidor livre*, aquele que tenha exercido a opção de compra de energia elétrica; e o *produtor independente*, pessoa jurídica ou consórcio de empresas titular de concessão, permissão ou autorização para produzir energia elétrica destinada ao comércio de toda ou de parte da energia produzida por sua conta e risco.

Além disso, foi criado em 2002, e regulamentado em 2005, o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), coordenado pelo Ministério de Minas e Energia (MME). O Proinfa prevê a contratação de 3.300 MW de energia pelo Sistema Interligado Nacional (SIN), produzidos por fontes eólica, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas (PCH), sendo 1.100 MW de cada fonte.

O potencial autorizado pela Aneel para empreendimentos de co-geração é de 1.376,5 MW, considerando-se 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 partir

---

<sup>11</sup> Entendido como o caule macerado da cana, com umidade de 50%, resíduo da moagem na usina.

do bagaço de cana entraram em operação comercial no País, inserindo 59,44 MW à matriz de energia elétrica nacional.

Alternativamente à co-geração, o bagaço ainda pode ter uso fora das usinas e destilarias, como insumo volumoso de ração animal, na fabricação de papel, na fabricação de elementos estruturais e até na produção de álcool combustível adicional, por hidrólise. Na verdade, tecnologias de produção de etanol a partir da hidrólise do bagaço estão em desenvolvimento e poderão atingir estágio comercial em 10 a 15 anos. Portanto, passa a ser importante o custo de oportunidade do aproveitamento do bagaço, em virtude das múltiplas alternativas disponíveis.

Quanto ao vinhoto, resíduo resultante da produção de álcool nas destilarias, seu aproveitamento energético é possível por meio da biodigestão anaeróbica e da obtenção de biogás. Atualmente, o principal destino do vinhoto é a fertirrigação na própria lavoura da cana. O poder calorífico desse biogás foi estimado em 21,32 J/m<sup>3</sup>.

A produção de gás pela biodigestão da vinhaça tem sido objeto de estudos e tentativas de viabilização comercial há várias décadas. Só recentemente, porém, surgiu o interesse de usar o biogás para gerar energia elétrica. A tecnologia já alcançou grau de maturidade razoável, após sucessivas experiências em escala de demonstração, mas permanecem algumas incertezas: os efeitos corrosivos do biogás nos equipamentos auxiliares e motogeradores e a estabilidade da biodigestão diante das flutuações de quantidade e de qualidade da vinhaça processada. Esses problemas potenciais podem causar impactos negativos no comércio futuro dessa tecnologia, que somente poderão ser avaliados e resolvidos com a operação de algumas unidades.

Nos países desenvolvidos, há numerosas usinas de geração de eletricidade a partir de biogás, proveniente da biodigestão anaeróbica de outros substratos, como efluentes industriais e dejetos animais. A experiência operacional dessas usinas poderia ser aproveitada para melhorar a confiabilidade técnica e econômica das futuras unidades de geração com biogás da vinhaça.

Por isso, antes de entrar em escala comercial, seria conveniente a implantação de algumas unidades-piloto e destinar recursos suficientes de P&D para analisá-las sob os pontos de vista técnico e econômico. Em virtude do potencial de geração de excedentes, estimado nesse estágio em 3,6 TWh/ano<sup>12</sup>, deve ser feita a introdução comercial da tecnologia de biodigestão da vinhaça e o uso do biogás em motogeradores de energia elétrica, ainda que com certa cautela.

Confirmadas as expectativas de crescimento acentuado da atividade sucroalcooleira nos próximos anos, é admissível que o potencial de geração de energia elétrica alcance valores médios entre 16 e 21 GW, em 2025.

---

<sup>12</sup> Considerando um rendimento energético de 20 kWh/t cana e um volume de 180 milhões de toneladas de cana voltadas para a produção de álcool.



Contudo, esse potencial efetivo economicamente viável, que já é inferior a 65% do potencial teórico, está muito concentrado em poucas usinas. Nas demais unidades em implantação e em ampliação no País, os investimentos em curso prevêm a adoção de soluções tecnológicas menos eficientes, o que limitará o potencial efetivo adicional a apenas 0,5 – 2 GW nos próximos 5 anos, mesmo expandindo-se a produção de cana. Configurações tecnologicamente mais avançadas permitiriam elevar o potencial excedente efetivo, até 2010, a níveis entre 3 e 6,4 GW, dos quais de 1,7 GW a 3,8 GW seriam economicamente viáveis.

Para aproveitar plenamente as oportunidades que se abrem à co-geração, é necessário substituir os principais equipamentos dos sistemas de potência existentes, instalá-los nas novas usinas e ampliar outras. No entanto, isso representa investimentos mais vultosos do que os que estão sendo feitos pela maioria das empresas e dos empresários do setor. Para mudar favoravelmente esse quadro, é imprescindível definir, imediatamente, a estratégia da efetiva viabilização desse potencial.

### **O modelo institucional**

Até 1990, a indústria sucro-alcooleira desenvolveu-se à sombra de elevada intervenção do Estado, justificada, desde a Era Colonial, pelo papel estratégico do açúcar nas exportações, argumento depois reforçado pela introdução do álcool na matriz energética brasileira.

Após a extinção do Instituto do Açúcar e do Alcool (IAA), em 1990, a economia sucro-alcooleira foi sendo desregulamentada rumo à liberalização quase total. Finalmente, em 1999, a responsabilidade pelas políticas de café, cana, açúcar e, parcialmente, álcool foi passada para o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. O Mapa incorporou à sua estrutura a Secretaria de Produção e Comercialização para cuidar desses assuntos, e um departamento específico de açúcar e álcool<sup>13</sup>.

A despeito da liberalização, algumas características do mercado de álcool combustível impõem ao governo a necessidade de dispor de mecanismos de regulação:

**Produção sazonal.** Como os demais produtos agrícolas, o álcool é produzido durante os meses da safra da cana, mas seu consumo ocorre em todo o ano. Isso exige a formação de estoques para minimizar a flutuação de preços e os riscos de desabastecimento do mercado na entressafra.

**Produto estratégico.** Por conta do seu caráter estratégico e do consumo amplo, e por não ter substituto adequado, a falta ou o excesso de álcool podem gerar crises no mercado de combustíveis, minando a confiança do consumidor, como aconteceu na crise no final da década de 1980.

---

<sup>13</sup> A partir de fevereiro de 2005, essa estrutura é composta pela Secretaria de Produção e Agroenergia (SPA) e pelo Departamento de Cana e Agroenergia.

**Inexistência de mercado internacional.** Por não haver, ainda, comércio internacional significativo de álcool combustível, inviabiliza-se sua compra ou venda em grandes volumes no exterior, em tempos de escassez ou de excesso de oferta no mercado interno.

**Setor de intermediação pouco desenvolvido.** Até recentemente, mais de 90% da produção era adquirida pelas distribuidoras de combustível, as quais nunca se interessaram em formar estoques, deixando esse ônus exclusivamente aos produtores. Com a transformação do álcool em *commodity*, acredita-se que os compradores externos imporão mudança de estratégia, estimulando, por exemplo, o mercado de futuros, para reduzir os riscos e os custos de carregamento dos estoques para as usinas.

Graças às suas características técnicas e econômicas, a economia da cana tem tendência à verticalização, que progressivamente exclui o pequeno e o médio agricultor em favor da produção de cana própria das usinas. Essa tendência contribui para o aumento da concentração fundiária e para a prevalência da monocultura, com efeitos socioeconômicos e ambientais perniciosos. A reversão do processo tende a criar estruturas de mercado em que há apenas reduzido número de compradores, que só podem ser neutralizados mediante algum grau de intervenção ou de supervisão governamental para aumentar o poder de barganha dos fornecedores de cana.

A Lei nº 9.478, de 6.8.97<sup>14</sup> e a Emenda Constitucional nº 33, de 11.12.01<sup>15</sup>, depois complementados pelas Leis nº 10.336, de 19.12.01<sup>16</sup> e 10.453, de 13.05.02<sup>17</sup> foram os dois pilares do marco regulatório do setor que regeram a implantação do ambiente de livre mercado (fim do monopólio estatal na indústria de petróleo) e a definição do modelo tributário sobre combustíveis.

O governo também dispõe de outros dois instrumentos de intervenção no mercado de álcool combustível: a fixação dos níveis de mistura do álcool anidro à gasolina, que pode variar entre 20% e 25%, conforme a disponibilidade do produto; e outro, de natureza mais estrutural, referente à carga tributária sobre os veículos automotores, em que são fixadas alíquotas menores do Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) para os veículos movidos a álcool, exceto para aqueles de até mil cilindradas.

Outro aspecto institucional relevante para o setor é o Programa Nacional de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), que tem por objetivo a

---

<sup>14</sup> Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo e institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo.

<sup>15</sup> 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).

<sup>16</sup> Institui a Cide incidente sobre a importação e a comercialização de petróleo e derivados, gás natural e derivados e álcool etílico combustível.

<sup>17</sup> Define o conjunto de instrumentos de política econômica por meio dos qual o governo poderá intervir na produção e na comercialização do álcool combustível.



diversificação da nossa matriz energética tendo por base o aumento da participação das fontes renováveis de energia, como a energia eólica e a co-geração a partir de resíduos de biomassa nas pequenas centrais hidrelétricas. Contudo, a despeito dos preços remuneradores, o setor sucro-alcooleiro não demonstrou grande interesse pelo programa, especialmente porque está focando seus investimentos no aumento da produção de açúcar e álcool, enquanto aguarda a conclusão de outras linhas de pesquisa para o aproveitamento do bagaço da cana. Como teria de sujeitar-se a contratos de longo prazo, com grandes investimentos em capital fixo, a maioria das unidades preferiu adotar postura cautelosa.

## **Cenário atual e perspectivas**

A indústria sucro-alcooleira beneficia-se, atualmente, de uma conjunção de fatores favoráveis, tanto interna quanto externamente.

Internamente, a recuperação da economia e a geração de emprego têm-se refletido no aumento do consumo de açúcar a taxas superiores ao crescimento vegetativo da população, embora o Brasil tenha uma das taxas mais altas do mundo, perto de 54 kg/habitante/ano.

Em relação ao etanol, os consumidores voltaram a se interessar pelo carro a álcool por causa da elevação dos preços da gasolina no mercado interno, as perspectivas altistas dos preços internacionais do petróleo e o lançamento dos veículos bicombustíveis. Decorridos somente 2 anos do lançamento comercial, 70% das vendas de veículos novos no País já incorporam a nova tecnologia. Em consequência, o álcool hidratado voltou a ser grande negócio, especialmente nas cidades próximas das regiões produtoras. Mas o governo deve estar atento ao aumento do preço do álcool pelos usineiros, o que pode, de novo, prejudicar essa alternativa e criar problemas para os carros bicombustíveis, como ocorreu no passado com os carros movidos exclusivamente a álcool, então praticamente inviabilizados.

Estima-se que, nos próximos anos, o mercado consuma anualmente 1 milhão de veículos bicombustíveis pelo menos, o que significa incremento superior a 1,5 bilhão de litros/ano de álcool hidratado<sup>18</sup> e demanda estimada em 25 bilhões de litros em 2013. Ao se agregar o volume previsível para a exportação, é possível imaginar demanda total de etanol próxima a 30 bilhões de litros em 2015, a qual poderá ser perfeitamente atendida pela produção nacional.

Com base nessas projeções, estima-se que, nos próximos 5 anos, a demanda interna por cana-de-açúcar deve saltar 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 250 milhões para álcool),

---

<sup>18</sup> Supondo que esses veículos consumam uma média de 2 mil litros/ano e descontando-se 500 mil litros/ano por conta do sucateamento da antiga frota de carros a álcool.

incremento de, praticamente, 100 milhões de toneladas na produção para o mercado doméstico.

Externamente, a situação também é alvissareira no mercado de açúcar, que, no Brasil, concorre com o etanol pela mesma matéria-prima. O crescimento do consumo mundial próximo de 2% ao ano já abriria espaços para o aumento das vendas brasileiras. Entretanto, a isso devemos somar as expectativas de redução da produção de açúcar em vários países, que estão investindo na produção de álcool combustível sem condições de incrementar sua produção agrícola total<sup>19</sup>.

Na União Européia, a modificação da política açucareira em virtude da condenação da Organização Mundial do Comércio e a pressão orçamentária interna contribuem para reduzir as previsões futuras acerca de sua produção total de açúcar. Ainda que esse quadro se modifique pela incorporação de países da Europa Oriental na EU-25, a expectativa de redução mantém-se em relação a toda a Europa. As razões fundamentais são: alto custo financeiro da produção de açúcar e álcool a partir de beterraba e a baixa relação entre o consumo e a produção de energia por essa cultura.

O mercado internacional também está se ajustando à redução do estoque da Índia, motivado pelo forte reajuste de sua política açucareira e pelas quedas de produção naquele país e na Tailândia. Ambos os países têm amplas possibilidades de se engajar na produção e no uso do álcool combustível, reduzindo a oferta de açúcar.

Essas limitações de oferta de açúcar por alguns de nossos principais concorrentes acontecem quando o mercado asiático aumenta sua dependência externa, motivada, especialmente, pelo incremento do consumo per capita e pela urbanização, em particular na China. Segundo especialistas, essa demanda adicional sobre a oferta mundial poderá refletir-se no incremento de até 10 milhões de toneladas de exportações adicionais de açúcar nos próximos 6 a 8 anos.

Nesse quadro, 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, o que soma 36,5 milhões de toneladas de açúcar. Esses dados são muito importantes pela inter-relação entre álcool e açúcar, atribuindo lastro adicional de competitividade ao etanol combustível.

Quanto ao álcool, o mercado internacional ainda é pequeno, embora cresça vertiginosamente. No entanto, a natureza estratégica do produto deverá induzir algum grau de protecionismo, dificultando o acesso das vendas brasileiras e retardando as

---

<sup>19</sup> Na União Européia, a possibilidade de produção de álcool a partir da beterraba, a necessidade de modificação de sua política açucareira, em atendimento à condenação da OMC, e a pressão orçamentária interna concorrem para reduzir as previsões futuras acerca de sua produção total de açúcar. Ainda que esse quadro se modifique por causa da incorporação de países da Europa Oriental à UE-25, a expectativa de redução mantém-se em relação a toda a Europa.

compras de países importantes, como os da União Européia e o próprio EUA, que privilegiarão a produção doméstica antes de recorrerem às importações<sup>20</sup>.

Contratos firmados entre a Petrobras e as companhias petrolíferas da Venezuela e da Nigéria, somados às expectativas quanto ao mercado japonês e aos investimentos em reprocessamento no Caribe, visando ao mercado americano<sup>21</sup>, podem representar incremento nas exportações de álcool de 4 a 5 bilhões de litros.

É admissível estimar que a demanda externa deva pressionar pelo incremento de mais 120 milhões de toneladas de cana, principalmente para produzir açúcar.

A consolidação dessas expectativas deve representar demanda adicional por cerca de 220 milhões de toneladas de cana nos próximos 8 anos. Isto significa mais de 50% da produção atual, a ser atendida com a ampliação de algumas unidades e a implantação de 60 novos projetos de médio porte, pelo menos.

Em 2005, o Brasil possuía 320 usinas produtoras de açúcar e álcool, com capacidade instalada de processar mais de 430 milhões de toneladas de cana, que podem produzir até 29 milhões de toneladas de açúcar e 18 bilhões de litros de álcool. Neste ano, deverão ser processados aproximadamente 390 milhões de toneladas de cana, atingindo-se 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 mil horas de funcionamento médio dessas usinas. Deles, quase 90% serão utilizados para consumo próprio.

A produção de energia elétrica pela co-geração resultante do aproveitamento do bagaço e das palhas e dos ponteiros da cana é apenas uma das novas alternativas de desenvolvimento da indústria sucro-alcooleira. Tal como a gaseificação, que eleva substancialmente a eficiência da queima do bagaço, está em estudos produzir álcool por hidrólise lignocelulósica e até mesmo produzir biodiesel. Para alguns especialistas, a remuneração paga pelo mercado de combustíveis líquidos pode crescer a ponto de estimular algumas usinas a utilizar o bagaço para essas duas finalidades, recorrendo ao gás natural como fonte de energia para seu funcionamento.

---

<sup>20</sup> Apesar de os EUA serem o segundo maior produtor mundial de álcool, ele não representa mais do que 3% do seu consumo de gasolina. No entanto, a cara produção de etanol de milho é suficientemente protegida para impedir a entrada do produto brasileiro, muito mais competitivo. Situação semelhante deverá ocorrer na União Européia, diante da impossibilidade de incrementar a produção agrícola, que deverá levar a mudanças em cadeias tradicionais, como as de beterraba e trigo, para cumprir compromissos assumidos no Protocolo de Quioto.

<sup>21</sup> Essa estratégia tira proveito das cotas do mercado americano destinadas aos países daquela região, ao amparo da Caribbean Basin Initiative (CBI).

## **Desafios para a indústria sucro-alcooleira nacional**

A energia renovável deve ser consolidada como o grande negócio do século 21, cabendo à biomassa papel de destaque nesse contexto, em particular à cana-de-açúcar. A revitalização do mercado doméstico de álcool combustível coincide com o aumento da participação brasileira no mercado internacional de açúcar, enquanto o mundo caminha para adotar a nossa experiência de usar o etanol como oxigenante da gasolina.

Estimativa de expansão da oferta de cana da ordem de 220 milhões de toneladas implica a necessidade de incorporar quase 3 milhões de hectares em áreas de plantio nos próximos 6 a 8 anos.

A meta de 3 milhões de hectares plantados pode ser substancialmente reduzida se houver ganhos contínuos e substanciais na produtividade da cultura e no aumento do teor de sacarose. De qualquer forma, a cana ocupa apenas 10% da área agrícola atual do País e há grande disponibilidade de terras agricultáveis a serem incorporadas, principalmente no Cerrado<sup>22</sup>.

Outras questões são mais preocupantes, seja no plano externo, seja no interno, envolvendo políticas governamentais e grandes investimentos públicos e privados para que o País possa atender ao crescimento das demandas interna e externa. Apesar do pioneirismo e da qualificação técnica de nossa indústria, com menores custos e grande potencial de aumento de produção, tais desafios exigem ação planejada e conjunta do governo com o setor privado.

O primeiro e, talvez, o maior deles diz respeito às dimensões do mercado mundial de álcool combustível. Com apenas metade da cana que produz, o Brasil substitui mais de 40% da gasolina consumida internamente, enquanto a produção mundial de etanol ainda é insignificante, assim como sua demanda, ainda que ambas estejam crescendo muito.

É fundamental buscar parcerias, principalmente com os demais países produtores de açúcar de cana. Eles poderiam seguir os passos da agroindústria brasileira, investindo no melhor aproveitamento de sua matéria-prima pela diversificação da produção e da melhoria da qualidade, o que lhes permitirá acesso a dois mercados distintos: de alimentação e de energia. A produção de álcool pode ser alternativa para os países beneficiários de regimes especiais de cotas dos EUA e da União Europeia, como os africanos, os caribenhos e os do Pacífico (ACP). Isso possibilitaria uma aproximação maior do Brasil com eles, para compensar o ambiente de insatisfação ocasionado pelo painel realizado pelo Brasil, pela Austrália e pela Tailândia no âmbito da Organização Mundial do Comércio (OMC), contestando o regime açucareiro europeu, do qual eles são beneficiários.

---

<sup>22</sup> Estima-se que haja, no País, cerca de 50 milhões de hectares de pastos com algum grau de degradação, especialmente em áreas de Cerrado.

Afora isso, a produção de álcool nos países da ACP representaria demanda adicional para as exportações brasileiras de serviços e equipamentos industriais, além de campo para novas oportunidades de investimento no exterior, voltado para novos mercados.

Igualmente importante é a articulação com países de grande demanda, em especial os Estados Unidos, para trabalhar em conjunto na definição das especificações técnicas internacionais para o álcool combustível. O objetivo é evitar que programas nacionais de estímulo à indústria doméstica se pautem por barreiras não-tarifárias para restringir as importações deles e coibir as nossas vendas externas.

Ainda no âmbito externo, teríamos que trabalhar mais intensamente para aumentar a liquidez e a fluidez dos negócios no mercado de biocombustíveis, o que exigiria alguma adaptação da legislação e muita articulação com e entre o setor privado da produção, e do comércio no País e no exterior.

Internamente, importante desafio é desenvolver um plano diretor para a expansão da indústria sucro-alcooleira. Esse plano deve começar pelo zoneamento agroclimático da cana, que servirá tanto para planejar ou restringir a ocupação de novas áreas, como para gerenciar as políticas públicas para áreas tradicionais.

Outros desafios internos da indústria sucro-alcooleira têm a ver com 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, São Paulo, além de já ter aproximadamente metade de suas terras agricultáveis cobertas pela cana, é onde a cultura mais se expande no País. Dos 40 projetos em fase de implantação, 25 situam-se lá, concentrando-se na região oeste, em áreas tradicionais de pecuária. Da mesma forma, Minas Gerais, que registra as maiores taxas de crescimento do setor, vê novos projetos sendo implantados no Triângulo Mineiro, praticamente como extensão dos mesmos padrões prevaletentes na produção paulista. Essa concentração, embora aparentemente irreversível em Minas Gerais, deve ser evitada nas novas áreas, pois, aliada à verticalização, tende a criar sérios problemas socioeconômicos e ambientais, além de aumentar a vulnerabilidade dos cultivos a pragas e doenças.

A alternativa à concentração está diretamente relacionada a outro desafio: a necessidade de investimentos em infra-estrutura de escoamento no interior do País. Apesar do expressivo crescimento no Centro-Oeste, a produção sucro-alcooleira ainda é incipiente, considerando-se a topografia prevaletente na região, a regularidade climática, o preço e a disponibilidade de terras e o exemplo do desempenho da soja atualmente. Além do Centro-Oeste, também o chamado Meio-Norte (incluindo Tocantins, o leste do Pará e o leste e o sul do Maranhão e do Piauí), onde também predominam as condições do Cerrado, tem potencial para ser novo eixo de produção. No entanto, isso depende de investimentos em infra-estrutura que são vitais para escoar a produção aos portos de São Luís (MA) e Fortaleza (CE).



Outro desafio também importante é a capacidade da indústria de base em atender às necessidades de crescimento do setor. Considerando as estimativas de crescimento da demanda, há a necessidade de implantar pelo menos 15 novas unidades de processamento por ano, nos próximos 5 anos, além de outras dez anuais nos 3 anos subseqüentes.

Considerando o perfil-padrão de 2 milhões de toneladas/ano de cada usina, esses cem projetos de novos empreendimentos e de remodelação de outros seriam suficientes para atender às previsões de crescimento dos mercados interno e externo de açúcar e álcool. Entretanto, deve-se considerar a demanda de equipamentos e serviços das empresas do setor sucro-alcooleiro, tanto internas quanto externas, que vêm recorrendo à nossa indústria de base para atender a suas necessidades de expansão. As fornecedoras brasileiras, hoje responsáveis pelos equipamentos de praticamente 80% da capacidade instalada de produção de álcool de cana no mundo, operam a plena carga e têm dificuldades para aceitar novos pedidos, especialmente para entregas em prazo inferior a 3 anos. A insuficiência da capacidade produtiva de nossa indústria de base pode ser entrave à consolidação do mercado internacional para o álcool combustível.

O cenário amplamente favorável para o açúcar e o álcool tem levado empresários do setor a investir mais no aumento da capacidade de processamento do que na busca de maior eficiência energética, tanto nas unidades já instaladas quanto nos projetos em 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 em segundo plano esse novo negócio.

Caso seja atingida a meta de processamento de 610 milhões de toneladas de cana na safra 2012/2013, além da oferta de 36,5 milhões de toneladas de açúcar e 27,4 bilhões de litros de álcool, estarão disponíveis mais de 160 milhões de toneladas de bagaço. Se todo esse volume fosse queimado em caldeiras de alta pressão, poderia gerar o equivalente a 66 GW de energia elétrica, ou seja, 16,5 GW/h, durante as 4 mil horas médias anuais de safra. Esses números poderiam ser praticamente dobrados se considerado o aproveitamento das palhas e das pontas que, em geral, são queimadas nos canaviais.

Dois fatores ajudam a explicar a baixa atratividade de investimentos na co-geração de energia elétrica. O primeiro, a falta de experiência com esse novo negócio, o que chega a dificultar o relacionamento com os clientes. O segundo, mas não menos importante, está associado aos custos mais elevados das tecnologias mais eficientes. Isso tem levado à opção por tecnologias intermediárias, com caldeiras de 40 ou 60 kg de vapor, que geram maiores taxas de retorno, a curto prazo, e menor necessidade de capital imobilizado. Como são equipamentos de ciclo de vida relativamente longo, as unidades poderão passar décadas subaproveitando as potencialidades do bagaço. Acresçam-se a isso as incertezas do mercado atacadista de energia e a inexperiência dos usineiros quanto a esse tipo de negociação.

## Biodiesel

O uso energético de óleos vegetais no Brasil foi proposto em 1975, originando o Plano de Produção de Óleos Vegetais para Fins Energéticos (Pró-Óleo). Seu objetivo era gerar excedentes de óleo vegetal que tornassem seus custos de produção competitivos com os do petróleo. Prevvia-se uma mistura de 30% de óleo vegetal ao óleo diesel, com perspectivas de sua substituição integral a longo prazo.

O grande desafio atual é o cumprimento das metas estabelecidas no Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel, consubstanciadas na Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005, que introduz o biodiesel na Matriz Energética Brasileira e fixa em 2% (B2) o percentual mínimo de adição do biodiesel ao óleo diesel comercializado ao consumidor final em qualquer parte do território nacional até 2008 <sup>23</sup>, e em 5% (B5) o mesmo percentual até 2013.

A atual estrutura nacional de produção de biodiesel ainda é incipiente e firmemente baseada em experiências com plantas-piloto, o que resulta em volumes bastante reduzidos. A ANP calcula que a produção brasileira de biodiesel, de março a dezembro de 2005, tenha sido da ordem de 736,1 mil litros. Entretanto, a instituição do primeiro leilão, para a entrega de 70 milhões de litros a partir de janeiro de 2006, mudou o padrão de desenvolvimento desse mercado – a produção, apenas naquele mês, foi de 1.075,3 mil litros, superior ao total verificado em 2005. A Tabela 10 fornece uma estimativa da produção nacional de biodiesel para os anos de 2006 e 2007.

Para cumprir as metas legais, será preciso produzir cerca de 800 milhões de litros anuais de biodiesel em 2008, na fase inicial do Programa.

Com a autorização das usinas, cuja solicitação tramita na Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), a capacidade de produção do País será suficiente para 2008, mas terá que aumentar significativamente até 2013 para atender à exigência legal de adicionar 5% de biodiesel ao petrodiesel.

**Tabela 10.** Produção brasileira de biodiesel.

Tipo de empreendimento	Capacidade produtiva estimada	
	2006	2007
Produtores instalados e em operação (5)	48,10	48,10
Produtores instalados e sem regularização (14)	125,60	125,60
Ampliação de produtores já instalados (5)	146,80	146,80
Projetos em elaboração (16)	380,00	811,00
Total (milhões de litros)	700,50	1.131,50

Fonte: ANP e MME.

<sup>23</sup> Na prática, a adição de 2% de biodiesel ao óleo diesel de petróleo foi antecipada para janeiro de 2006, com a obrigatoriedade da aquisição do biodiesel com selo social.

## Produção e tecnologia

Nas últimas duas décadas, houve avanço respeitável nas pesquisas relativas ao biodiesel. Além dos vários testes de motores, algumas plantas-piloto começaram a ser construídas em várias cidades. Recentemente, o biodiesel deixou de ser puramente experimental e passou às fases iniciais de comercialização. O produto pode ser obtido de óleos vegetais novos e residuais, de gorduras animais e de ácidos graxos oriundos do refino dos óleos vegetais, mediante processos tecnológicos.

Esterificação é o nome dado à reação que envolve a obtenção de ésteres (biodiesel) a partir de álcoois e ácidos graxos livres 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 (Fig. 11). A glicerina, depois de purificada, é um subproduto valioso da reação, cuja venda aumenta a receita econômica total do processo. Processo alternativo à transesterificação, o craqueamento catalítico ou térmico provoca a quebra de moléculas por aquecimento a altas temperaturas, formando mistura de compostos químicos com propriedades muito semelhantes às do diesel de petróleo.

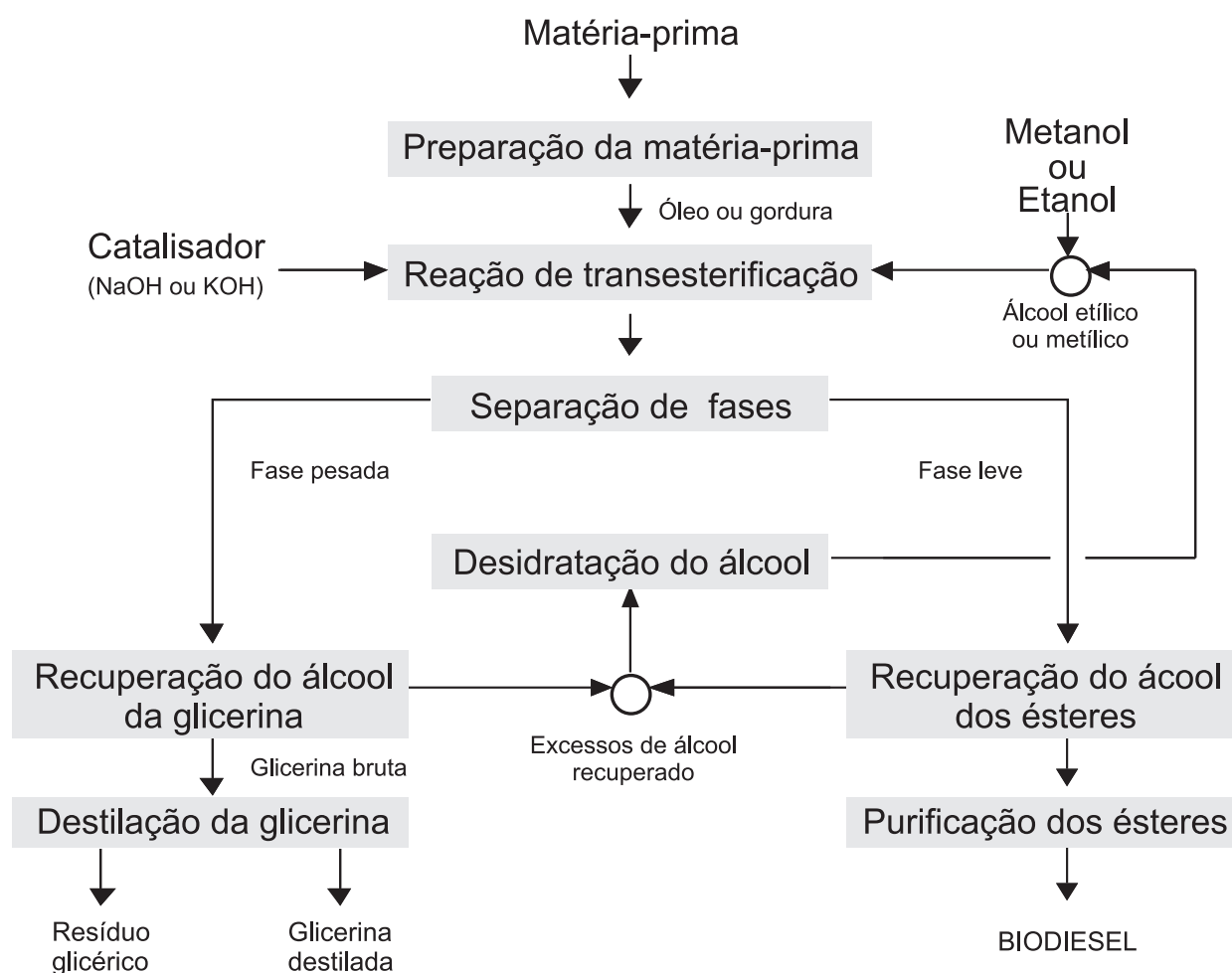
O Brasil – país tropical com dimensões continentais – dispõe de várias opções para a produção de óleos vegetais. Dispõe, assim, de várias alternativas para a estruturação do programa de produção e o uso do biodiesel. O desafio é aproveitar ao máximo as potencialidades regionais e obter o maior benefício social da produção do biodiesel, aplicando a tecnologia tanto às culturas tradicionais – soja, amendoim, girassol, mamona e dendê –, quanto às novas – como pinhão-mansão, nabo-forrageiro, pequi, buriti, macaúba e grande variedade de oleaginosas a serem exploradas.

Embora algumas plantas nativas apresentem bons resultados em laboratórios, sua produção ainda é puramente extrativista: não há plantios comerciais que permitam avaliar, com precisão, suas potencialidades. Isso ainda levará certo tempo, uma vez que a pesquisa agropecuária nacional com foco no domínio dos ciclos botânico e agrônomo dessas espécies ainda não tem resultados substanciais.

Entre os cultivos disponíveis (Tabela 11), merecem destaque a soja – cujo óleo representa 90% da produção brasileira de óleos vegetais –, o dendê, o coco, o girassol – pelo rendimento em óleo – e a mamona – pela resistência à seca.

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





**Fig. 11.** Obtenção de biodiesel por meio da transesterificação.

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

Espécie	Origem do óleo	Teor de óleo (%)	Colheita (meses/ano)	Rendimento (t óleo/ha)
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.

Estudos desenvolvidos pelos Ministérios do Desenvolvimento Agrário, da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, da Integração Nacional e das Cidades mostram que, a cada 1% de participação da agricultura familiar no mercado de biodiesel, seria possível gerar, aproximadamente, 45 mil empregos no campo, ao custo médio aproximado de R\$ 4.900,00 cada um (HOLANDA, 2004). Admitindo-se que um emprego no campo gere três na cidade, seriam criados 180 mil empregos. Por fim, é importante destacar que, na agricultura empresarial, emprega-se, em média, um trabalhador para cada 100 ha cultivados. Na agricultura familiar, são 10 ha por trabalhador.

A cada 1% de participação desse segmento no mercado de biodiesel, são necessários R\$ 220 milhões por ano, os quais proporcionam acréscimo de renda bruta anual ao redor de R\$ 470 milhões. Cada R\$ 1,00 aplicado na agricultura familiar gera R\$ 2,13 adicionais na renda bruta anual. A renda familiar dobraria com a participação no mercado de biodiesel.

Quanto às rotas usadas para produzir biodiesel, no Nordeste e em Minas Gerais, a preferência recai sobre a metílica junto com o óleo de mamona. No Centro-Sul, a opção principal é a etílica, principalmente em virtude da disponibilidade de etanol.

A maior parte do biodiesel a ser produzido no Brasil será por transesterificação (80%), para atender ao grande mercado atacadista direcionado à mistura com petrodiesel, ao abastecimento de frotistas ou de consumidores interessados em aumentar a proporção de biodiesel no petrodiesel. O restante seria obtido por craqueamento, em pequenas comunidades isoladas.

A longo prazo, para produzir a matéria-prima mais adequada em cada região e suficiente para atender à indústria de biodiesel de forma economicamente viável, impõe-se grande investimento em PD&I. A pesquisa deve buscar maior adensamento energético das espécies oleaginosas, passando o rendimento em óleo do nível atual<sup>24</sup> de 600 kg/ha para aproximadamente 5.000 kg/ha. Isso poderá ocorrer, inicialmente, por melhoria na produção, visando a aumentar a produtividade física da matéria-prima.

Paralelamente, a médio e longo prazos, a pesquisa deve buscar aumentar o teor de elementos energéticos (celulose, açúcar, amido, óleos, etc.) nas plantas oleaginosas atuais, e incorporar novas, mormente as palmáceas tropicais, com alta capacidade de produção de óleo por unidade de área.

A biotecnologia e o melhoramento genético tradicional terão papel relevante para atingir esses objetivos, mediante a pesquisa de novas variedades ou de organismos geneticamente modificados e a adaptação dos cultivos energéticos a diferentes condições agroecológicas.

---

<sup>24</sup> O aumento da densidade energética concorrerá para diminuir a pressão pela incorporação de novas áreas, freando o ímpeto pela destruição ambiental e a ocupação desordenada da fronteira agrícola.

Finalmente, a expansão dos biocombustíveis no País dependerá, também, de inovações tecnológicas e de melhoria do processamento industrial e no aumento da eficiência das fontes energéticas.

## **Perspectivas regionais**

### **Região Norte**

A Região Norte abriga a maior parte do território nacional coberta por florestas nativas, no bioma amazônico, além de incluir as áreas de Cerrado nos Estados de Tocantins, Rondônia, Pará e Roraima. A Amazônia concentra grande variedade de espécies nativas, inclusive palmáceas, que podem contribuir para a redução da dependência de diesel. Isso se daria pela organização produtiva de comunidades locais em regime de extrativismo simples ou pela exploração agroflorestal. A região dispõe de mais de 5 milhões de hectares desmatados com aptidão para cultivo da palma-africana (dendê).

O Pará é o maior produtor de óleo de palma, com cerca de 100 mil toneladas anuais e 50 mil hectares cultivados. Boa parte dessas lavouras ainda não atingiu a maturidade – a palma começa a produzir a partir do quarto ano e atinge a maturidade a partir do sétimo, mantendo elevados níveis de produtividade até o décimo sétimo ano e 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 rendimento de 22% em óleo.

Essa região tem elevada dependência de óleo diesel para geradores estacionários e para uso em embarcações fluviais. Possui somente uma empresa registrada para produzir biodiesel, a Agropalma, grande produtora de óleo de palma, que instalou uma unidade de esterificação de ácidos graxos residuais obtidos no processo de refino do óleo. Essa planta, com capacidade de produção de 8,1 mil toneladas de biodiesel por ano, utiliza o etanol como reagente. Há, ainda, um projeto de construção de uma nova planta no Estado de Tocantins, com capacidade produtiva de 40 milhões de litros/ano.

É pouco provável que a região consiga atingir a auto-suficiência até 2008, considerando que a capacidade instalada atual atenderia a pouco mais de 10% do volume de biodiesel necessário – atualmente, o consumo é superior a 3 milhões de toneladas de diesel por ano. Um desafio é a produção descentralizada de biodiesel, via craqueamento, para abastecimento direto das comunidades isoladas, que produziriam a matéria-prima e efetuariam a transformação.

A longo prazo, há grandes perspectivas para o uso do óleo de palma ou dendê como matéria-prima para atender a demanda regional e até nacional de biodiesel. No entanto, ainda há problemas tecnológicos quanto ao uso dos óleos de palma como matéria-prima. Além disso, essa é uma planta de ciclo longo e os resultados econômicos e a pesquisa necessitam de mais tempo para maturação.

## **Região Nordeste**

É responsável pelo consumo de 15% do diesel do País. É pioneira nas iniciativas em relação ao biodiesel, com as usinas já instaladas da Nutec, em Fortaleza, e da Brasil Biodiesel, em Teresina, ambas experimentais, com capacidade diária de 800 e 2 mil litros, respectivamente, além de projetos de produção comercial, com destaque para a usina da Brasil Biodiesel, no Município de Floriano, Piauí.

Em virtude da conotação social conferida, desde o início, ao Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel, seu foco no Nordeste tem sido a produção de mamona. Cultivo plenamente adaptável ao Semi-Árido, é cultura alternativa para a agricultura familiar, razão por que foi escolhida como o carro-chefe na fase inicial do programa em sua vertente social.

Espera-se que o biodiesel seja importante instrumento de geração de renda no campo. No Semi-Árido, por exemplo, a renda anual líquida familiar com base no cultivo de cinco hectares com mamona, com 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 feijão e milho. Na safra 2004/05, 84 mil hectares seriam cultivados por 33 mil agricultores familiares com oleaginosas para a produção de biodiesel, dos quais 59 mil hectares localizados no Nordeste, cultivados por 29 mil dessas famílias.

A usina da Brasil Biodiesel, em fase final de instalação, terá a capacidade de processamento de 90 mil litros por dia. É um projeto ousado, especialmente pela falta de matéria-prima nas suas proximidades. A empresa instalou assentamento modelo no Município de Canto do Buriti, que fica a aproximadamente 225 km da unidade industrial. Poderá produzir até 14 mil toneladas de mamona/ano, equivalentes a 25% da demanda da unidade industrial. O restante deverá ser adquirido de agricultores familiares da própria região.

A cotação internacional do óleo de mamona oscila em torno de US\$ 1.000,00/t, em virtude dos múltiplos usos do óleo de mamona na indústria química. Para torná-lo compatível com a produção de biodiesel, deverá haver substancial incremento na produtividade da cultura e na oferta do produto, para reduzir seu preço ao patamar dos demais óleos.

Em 2005, a Petrobras iniciou a instalação de uma usina no Município de Guamaré, no Rio Grande do Norte, com tecnologia desenvolvida pelo seu centro de pesquisas, onde se fará 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 satisfará a mistura dos 2% no estado e em municípios dos estados vizinhos, atendidos pela mesma base de distribuição da Petrobras.

Além das plantas já instaladas, existem vários projetos de expansão e construção de novas unidades de processamento de biodiesel, que ampliarão a capacidade produtiva da região para cerca de 248,3 milhões de litros até o final de 2007, segundo estimativas do Ministério de Minas e Energia. Esse volume é suficiente para atender à demanda regional por B2.

A mamona consolidou-se como importante alternativa da região central da Bahia, hoje com mais de 150 mil hectares cultivados e produção superior a 100 mil toneladas de babaçu, mais de 90% da produção nacional. Lavouras implantadas com a tecnologia recomendada pela Embrapa alcançam até 3 t/ha.

A Embrapa já mapeou, por zoneamento agrícola, mais de 600 mil hectares aptos ao cultivo da mamona, que pode ser alternativa para mais de 100 mil famílias de agricultores. Tão importante quanto a aptidão agrônômica é a obediência a práticas de manejo, especialmente quando do plantio em consórcio, visando a reduzir o risco, diversificar as oportunidades e obter o máximo de fontes alimentares da própria lavoura.

Apesar dos registros de grande expansão na área cultivada com mamona – que se estima chegar a mais de 600 mil hectares até 2007 –, ainda são incipientes as pesquisas de novas variedades e de tecnologias de manejo, especialmente colheitadeiras<sup>25</sup>. Embora a mamona possa ser vetor de inclusão social no Semi-Árido, se os produtores daquela região não estiverem preparados para enfrentar a competição, eles poderão não suportar a concorrência da produção nas novas áreas, que contarem com pacote tecnológico intensivo em capital.

O Maranhão, situado na região de transição entre o Semi-Árido, o Cerrado e a Amazônia, tem grande potencial para cultivos perenes, notadamente babaçu, planta nativa da região, que se estima ocupar área superior a 18 milhões de hectares do estado. Embora o óleo de babaçu seja de excelente qualidade, sofre algumas restrições, entre as quais o custo de extração: além de o óleo representar somente 4% a 5% do fruto (o qual é envolto por casca muito dura), trata-se de uma produção baseada no extrativismo, ou seja, com baixo padrão de organização.

### **Região Centro-Sul**

A soja tem potencial para oferecer todo o óleo necessário para atender até mesmo à mistura dos 5% ao diesel fóssil. Mas ela ainda sofre algumas restrições econômicas relativas ao custo da matéria-prima para a fabricação do biodiesel. Daí a preocupação dos produtores com a competitividade do biodiesel do óleo da soja, visto que os benefícios fiscais previstos serão menores ou até inexistentes na região. Eis aí o motivo por que várias empresas<sup>26</sup> ainda estejam cautelosas ou receosas em relação à produção do biodiesel para o mercado interno. Contudo, cumpre destacar que o governo tem rediscutido a questão tributária, no intuito de conceder incentivos ao biodiesel em geral, independentemente da região produtora, do tipo de empresa e da matéria-prima empregada, restringindo o tratamento diferenciado apenas à agricultura familiar e às Regiões Norte e Nordeste e ao Semi-Árido.

Estima-se que a capacidade de produção de biodiesel no Centro-Sul chegue, até o final do ano de 2007, a 835,2 milhões de litros anuais. Atualmente, a região

---

<sup>25</sup> Em geral, ainda se usa a colheitadeira de milho, com algumas adaptações.

<sup>26</sup> Por exemplo, a Ecomat, de Mato Grosso, pioneira na produção de ésteres de óleo de soja para mistura do álcool ao diesel, com capacidade instalada de 26.666 L/dia.

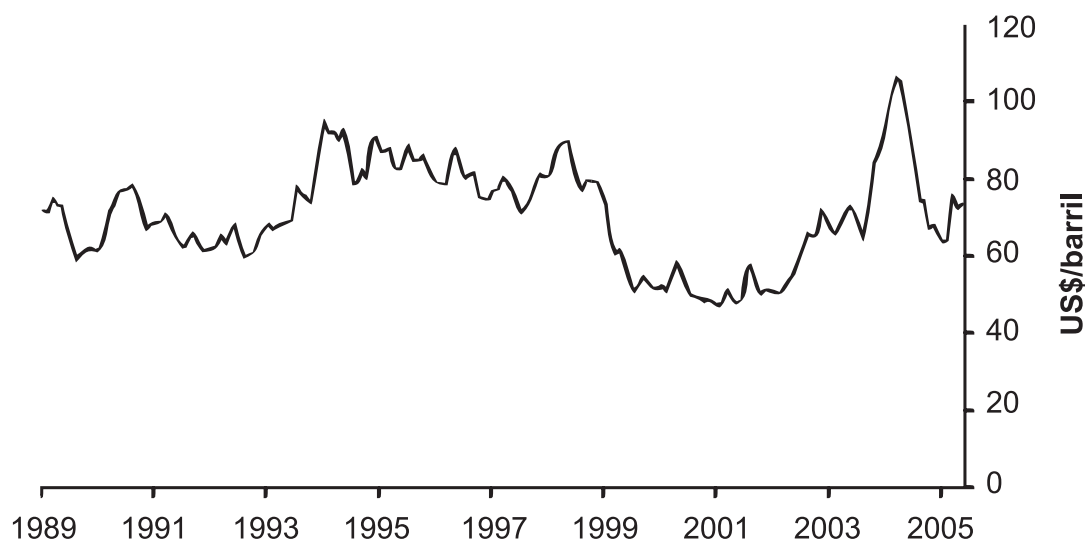
conta somente com uma planta em operação, no Estado de Minas Gerais, cuja capacidade produtiva é de 12 milhões de litros por ano. Entretanto, o volume produzido na região deverá expandir-se rapidamente a curto prazo, para algo em torno de 125 milhões de litros anuais, visto que já existem 13 unidades construídas, mas ainda em regularização. Há também projetos de construção de novas plantas e de ampliação das unidades existentes, que totalizarão 698,2 milhões de litros até o final de 2007, segundo o Ministério de Minas e Energia.

A região também apresenta grande potencial para a produção de biodiesel, com base em outros cultivos, como o amendoim, o girassol e a própria mamona, cujas experiências em 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.

Essa região, especialmente os estados do Centro-Oeste, dispõe de grande extensão de terras agricultáveis ainda livres, com boa topografia e ótima regularidade climática. Significa que, se o biodiesel consolidar-se 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 aceleradamente, como ocorreu com o álcool combustível.

## Competitividade da soja para biodiesel

Na comparação com o preço do petróleo, verifica-se que, nos últimos 15 anos (Fig. 12), o preço médio do óleo de soja refinado foi de US\$ 69,00/barril, incorporando refinamento, fretes internos e outros custos de comercialização.



**Fig. 12.** Cotação de mercado do óleo de soja.

Fonte: Abiove.



Considera-se razoável deságio de US\$ 10,00 para eliminar eventos na formação do preço do óleo de soja comestível, que não incidem na cadeia de energia, e para agregar os custos de obtenção do biodiesel. Dessa forma, obtém-se um valor em torno de US\$ 60,00 para o barril de petróleo, para o qual a obtenção de biodiesel seria competitiva se consideradas as condições atuais de desenvolvimento tecnológico, capacidade gerencial, escala de produção, tamanho de mercado, instalações industriais, custos de capital, tributação e demais custos fixos, entre outros. Por comparação com a curva de aprendizagem no etanol nos últimos 30 anos, infere-se que esse valor possa ser reduzido de modo apreciável, a médio prazo.

Como referencial, um estudo da Abiove aponta o valor internalizado do biodiesel da soja (antes da tributação) como sendo de US\$ 1,00/litro, 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 US\$ 480,00/t, vigente na safra 2005, o que equivale a R\$ 1,20/L, ao câmbio de 21/7/2005.

## Florestas energéticas cultivadas

Pode-se obter energia diretamente da madeira, do carvão e do licor negro<sup>27</sup>.

Cerca de 5% da demanda mundial de energia são atendidos com a queima direta da madeira (Tabela 12). Estima-se que o licor negro produziu, em 1999, aproximadamente 75 Mtep de energia. Isto elevaria a contribuição do segmento madeira para 550 Mtep de energia, inferior à contribuição da energia nuclear (650 Mtep), porém superior ao da energia hidrelétrica e de outras fontes de energia de biomassa.

**Tabela 12.** Energia produzida exclusivamente a partir da madeira, em 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 <sup>(1)</sup>	472,3	100,0

<sup>(1)</sup> Não computa o licor.  
Fonte: IEA Statistics.

<sup>27</sup> O licor negro é uma mistura de compostos químicos e de material remanescente da madeira, após o tratamento com sulfato, proveniente da lavagem da polpa de madeira usada na fabricação de papel, concentrado por evaporação, e que pode ser queimado para regenerar os compostos químicos de tratamento e para a obtenção de energia.

A despeito da precariedade dos dados, decorrente das variações regionais, estima-se um consumo mundial per capita anual de 0,3 a 0,4 m<sup>3</sup> de madeira, equivalente a 0,1 tep.

O setor rural é o maior consumidor de biomassa para energia. Estima-se que o consumo per capita rural atual seja de 1 t/ano (15GJ), enquanto, nas áreas urbanas, o consumo cai para 50% dele.

As variações no consumo de energia de madeira na forma de lenha bruta e resíduos estão fortemente associadas ao grau de desenvolvimento do País. Seu uso é especialmente comum em áreas rurais dos países em desenvolvimento, sendo responsável pela quase totalidade da energia residencial consumida. Normalmente, o 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 6 m<sup>3</sup> de madeira para a produção de uma tonelada de carvão. Assim, incorrem em custos de transporte, tanto da matéria-prima quanto do carvão, de processamento e de estocagem.

No Brasil, a produção de energia a partir de madeira vem caindo de modo consistente nos últimos anos. Estima-se que a extração de madeira reduziu-se em 35% nos anos 1990, caindo de 106 milhões de toneladas para estabilizar-se em 69,5 milhões de toneladas/ano, em especial por conta do menor consumo de carvão vegetal. 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 transformados em carvão, apenas 0,5 milhão de toneladas de madeira foram usadas para a geração de energia elétrica. O uso industrial de madeira no Brasil destina-se especialmente à produção de alimentos e bebidas, cerâmica e indústria de papel.

Estima-se existirem no País cerca de 3 milhões de hectares de eucaliptos destinados primariamente à produção de carvão. Com eventual retomada do mercado de biomassa florestal, estima-se que haverá déficit de oferta madeireira na próxima década, em decorrência do longo tempo de maturação dos projetos de reflorestamento.

## **Indicadores de produção e produtividade**

O consumo mundial de madeira atingiu 3,3 bilhões de m<sup>3</sup>/ano, em meados dos anos 90. A área florestal no mundo era de 3,41 bilhões de hectares, em 1995, 27% da superfície terrestre, excluindo Groenlândia e Alasca. O Brasil detinha 16% das florestas. A área dobrou entre 1980 e 1995 (de 40,2 milhões passou para 81,2 milhões de hectares).

O consumo industrial de lenha para energia concentra-se na agroindústria localizada no meio rural, na secagem de grãos, chá ou tabaco, na produção de tijolos e na indústria de cerâmica. Esse uso responde por 10% a 20% da energia de madeira



obtida na Ásia, sendo de 9,5% na África. Sob a forma de carvão, é usado em indústrias de maior porte. No Brasil, estima-se um consumo anual de 6 milhões de toneladas de carvão vegetal, especialmente nas indústria do aço e de outras ligas metálicas.

O uso extensivo da energia da madeira, incluindo o carvão, deve-se ao seus baixo custo e acessibilidade, em especial nas áreas rurais. É processo em geral extrativo, em que os custos de produção e processamento são desprezíveis. A preferência pelo carvão é explicada pela facilidade de transporte e combustão.

De acordo com a FAO, a área brasileira de florestas eleva-se a 5,3 milhões de km<sup>2</sup>, cerca de dois terços da área total do País, sendo a segunda maior do mundo, após a Federação Russa.

No Brasil, o consumo de madeira é de 300 milhões de m<sup>3</sup>/ano, sendo cerca de 100 milhões m<sup>3</sup>/ano de florestas plantadas para uso industrial. Em 2001, o consumo industrial foi estimado em 166 milhões de m<sup>3</sup>/ano, compreendendo: 32 milhões de m<sup>3</sup> para papel e celulose; 45 milhões de m<sup>3</sup> para carvão vegetal; 29 milhões de m<sup>3</sup> para lenha industrial; e 60 milhões de 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 milhões de hectares as florestas plantadas no Brasil, sendo 4,8 milhões de hectares de eucaliptos e pínus e cerca de 2,6 milhões de hectares 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 três ciclos de 6 anos, atingiu 44,8 m<sup>3</sup>/ha/ano. Estimativas indicam médias, para o futuro próximo, de 50 a 60 m<sup>3</sup>/ha/ano.

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

O excelente desempenho do Brasil na área de celulose e papel sugere que temos condição excepcionalmente vantajosa na exploração também de energia de florestas. O uso energético em 2000 foi de 21,4 Mtep de lenha (aproximadamente 140 milhões de m<sup>3</sup>), com a seguinte distribuição: carvão vegetal, 36%; energia elétrica, 0,5%; doméstico, 31%; indústria, 25%; e agropecuária, 7,5%.

O Brasil pode ser um dos beneficiários dessa oportunidade de aproveitamento de madeira para fins energéticos, consideradas as 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, sendo mais de 50% destinados 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 abatedores de florestas. Algumas grandes áreas de reflorestamento estão espalhadas pelo mundo, caso da China, que estimulou projetos de reflorestamento energético da ordem de 13,5 milhões de hectares, com início de produção comercial prevista para 2010.

## **Carvão vegetal**

No Brasil, em 2000, 9% do carvão vegetal foi usado em residências (para cozinhar) 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, 7,8 Mtep 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). As facilidades para a importação de coque e uma política ambiental severa de restrição ao uso de florestas nativas para carvão vegetal levaram a que apenas 25% do ferro-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. Processos muito mais eficientes estão sendo gradualmente adotados. O uso de florestas plantadas reduz os custos de transporte.

O interesse pela 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 subprodutos (do alcatrão e dos gases efluentes). Estima-se que a produção atual de gusa (27 milhões de toneladas) necessitaria de 17,5 milhões de toneladas de carvão vegetal, com área plantada de 3,3 milhões de hectares.

## **Resíduos agropecuários e florestais**

O desenvolvimento de tecnologias para o tratamento e a utilização dos resíduos, visando à redução de custos de produção e da poluição ambiental é o grande desafio dos dias atuais.

Esse desafio é particularmente importante em regiões com alta concentração de produção pecuária, sobretudo suínos e aves. De um lado, há pressão pelo aumento da produtividade e, conseqüentemente, do número de animais em pequenas áreas de produção. De outro, crescem as pressões para que esse aumento não destrua o meio

ambiente. A restrição de espaço e a necessidade de atender cada vez mais às demandas de energia, de água de boa qualidade e de alimentos têm apresentado alguns desafios para os produtores, relacionados principalmente com a questão ambiental e a disponibilidade de energia (OLIVEIRA, 2003; SANTOS, 2001).

Não é fácil estimar o potencial energético dos resíduos, por conta da precariedade das estatísticas e das variações regionais. Mesmo assim, o estudo de Woods e Hall (1994) aponta valores próximos a 93 EJ/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 Gtep. Hall et al. (1993) estimaram que contando apenas com os 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, assim, a emissão de 350 a 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 a criação de animais, a adubação orgânica, o controle de erosão, a 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 o excesso de matéria orgânica que venha a depauperar o solo e a prejudicar futuras explorações.

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 a 1,7 Gt de CO<sub>2</sub>/ano. Os autores afirmam que o potencial estimado de resíduos agrícolas, se utilizado para a geração de eletricidade, permitiria produzir 4,5 GW.

## **Dejetos animais e biogás**

A energia é um dos componentes mais importantes do custo final de produção, tanto para a suinocultura quanto para a avicultura, em que pequenas oscilações de custo e de preço podem reduzir drasticamente a competitividade. A recente crise energética e a alta dos preços do petróleo têm determinado a procura por alternativas energéticas no meio rural.

O potencial dos resíduos da produção animal é estimado por Woods e Hall (1994) em 20 EJ/ano, em todo o mundo. Entretanto, esse valor não deve ser tomado como absoluto, em razão das enormes variações metodológicas para cálculo dos dejetos aproveitáveis, que variam conforme a espécie animal, a alimentação, a cama, o manejo, etc. Como no caso dos resíduos vegetais, há limitações ao seu uso energético, decorrentes de:

- Grande potencial para uso como fertilizante.
- Fonte de baixa densidade energética, viável apenas em grande escala e quando não existirem alternativas mais competitivas.

- Necessidade de bioprocessamento, normalmente em biodigestores, gerando problemas logísticos de carga, descarga, compressão e estocagem do gás e utilização do fertilizante final.
- Eventuais impactos ambientais e sobre a saúde humana, decorrentes de sua manipulação (ROSILLO-CALLE, 2001).

O tratamento de dejetos por digestão anaeróbia, segundo Sánchez et al. (2005), possui várias vantagens, como: a) capacidade de destruir organismos patogênicos e parasitas; b) emprego do metano como fonte de energia; c) produção de menor volume de dejetos a menores custos em decorrência da produção de baixa biomassa; d) capacidade de estabilizar grandes volumes de dejetos orgânicos diluídos a baixo custo.

O processo de digestão anaeróbia (biometanização) consiste de um complexo de cultura mista de microorganismos, que metabolizam materiais orgânicos complexos, 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 a conversão dos resíduos de suínos e aves em energia térmica ou elétrica.

No Brasil, os biodigestores rurais vêm sendo utilizados principalmente para saneamento rural, tendo, como subprodutos, o biogás e o biofertilizante.

O biogás é um combustível gasoso com conteúdo energético elevado, semelhante ao gás natural, composto principalmente por hidrocarbonetos de cadeia curta e linear. Pode ser utilizado para a geração de energias elétrica, térmica ou mecânica na propriedade rural, contribuindo para a redução dos custos de produção.

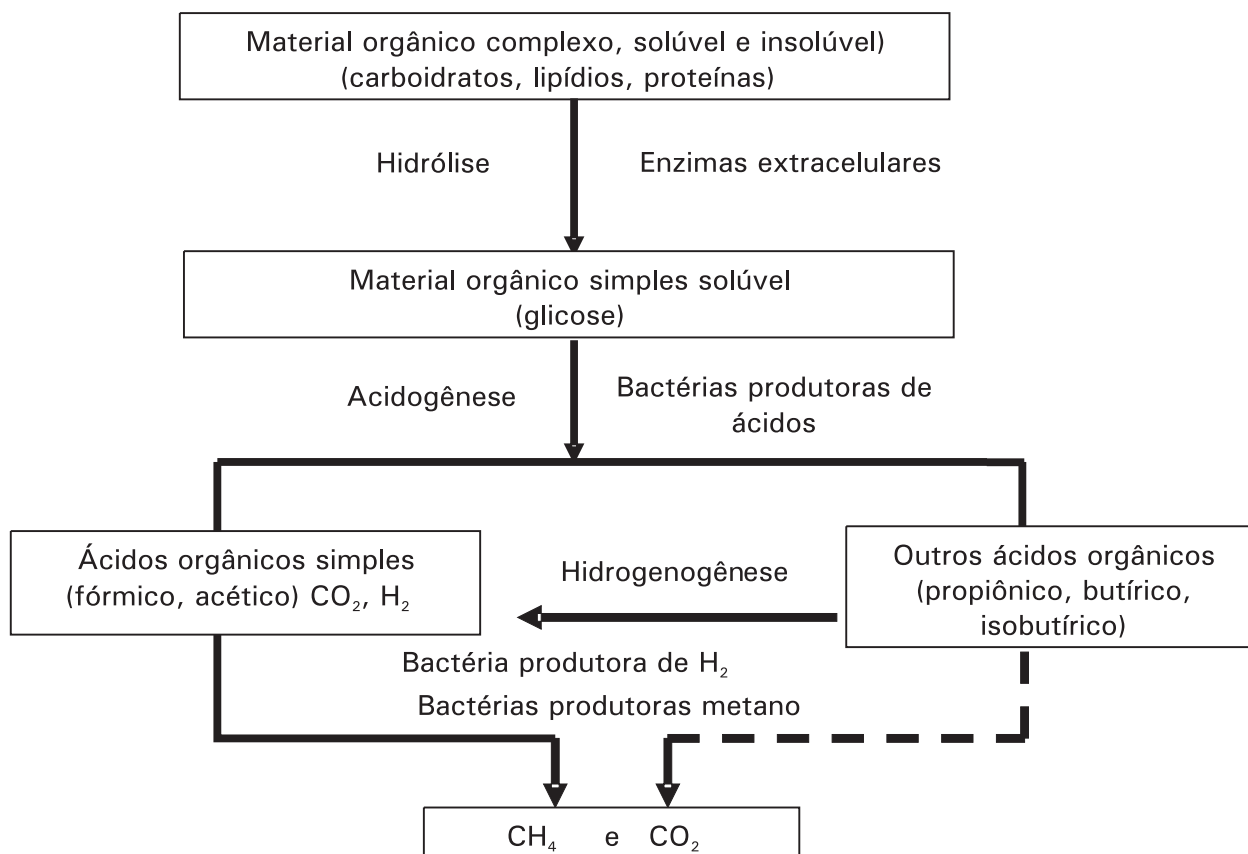
O processo de biometanação envolve a conversão anaeróbica de biomassa em metano. A decomposição biológica da matéria orgânica compreende quatro fases: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese. Essa conversão do complexo orgânico requer mistura de espécies bacterianas, cujo crescimento é interdependente e pode ocorrer pela sequência das quatro reações citadas.

O tratamento de resíduos orgânicos compreende três tipos, conforme o grau de temperatura do processo utilizado. A biometanação, com temperatura entre  $45^\circ\text{C}$  e  $60^\circ\text{C}$ , é considerada termofílica. A que ocorre entre as temperaturas de  $20^\circ\text{C}$  a  $45^\circ\text{C}$  é mesofílica. A digestão anaeróbica de matéria orgânica em baixas temperaturas ( $> 20^\circ\text{C}$ ) é a psicrofílica.

A conversão anaeróbica produz quantidade relativamente pequena de energia para os microorganismos, por isso sua velocidade de crescimento é reduzida e apenas limitada porção do resíduo é convertida em nova biomassa celular. Na Fig. 13, um esquema simplificado representa as etapas metabólicas (SANTOS, 2001).

A presença de vapor de água, de  $\text{CO}_2$  e de gases corrosivos no biogás *in natura* é o principal obstáculo ao seu armazenamento e à produção de energia. Equipamentos mais sofisticados – como motores a combustão, geradores, bombas e compressores – têm vida útil extremamente reduzida. Controladores como termostatos, pressostatos

e medidores de vazão, também são atacados, reduzindo sua vida útil, além de não oferecerem segurança e confiabilidade. A remoção de água,  $\text{CO}_2$ , gás sulfídrico, enxofre e outros elementos por filtros e dispositivos de resfriamento, condensação e lavagem é imprescindível para a confiabilidade e o emprego do biogás.



**Fig. 13.** Etapas metabólicas do processo de digestão anaeróbia em biodigestores.

## Utilização do biogás na avicultura e na suinocultura

A avicultura e a suinocultura brasileiras têm-se destacado pelo alto nível tecnológico e pela posição de destaque que o Brasil ocupa entre os exportadores de carnes. Entretanto, as condições climáticas, principalmente nas Regiões Sul e Sudeste, têm contribuído significativamente para alterar o consumo energético, para o aquecimento dos animais jovens nos primeiros dias de alojamento.

A cama de aviário está sendo produzida em grande quantidade em virtude do crescente aumento da avicultura de corte nos últimos anos. Uma das bases desse crescimento é a alta tecnicidade dos galpões, que causa dependência energética e econômica maior desses sistemas. A biodigestão, ou digestão anaeróbica, é boa alternativa para o tratamento da cama. Além disso, seus subprodutos – o biogás e o



biofertilizante – têm alto valor como fontes de energia e de nutrição vegetal, substituindo insumos antes adquiridos pelo avicultor.

Esses sistemas são constituídos por campânulas a gás liquefeito de petróleo (GLP), elétricas e lâmpadas infravermelhas ou incandescentes. Todos esses sistemas de aquecimento utilizam fontes de energia não-renováveis, 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 para cada 500 pintos), nos primeiros 21 dias esse consumo se eleva a 16.128 kWh.

O consumo médio de GLP usado em campânulas para o aquecimento dos pintos em aviários com 16 mil frangos (12 x 100 m), no inverno na Região Sul, é em torno de 546 kg (42 botijões de 13 kg), o que corresponde a R\$ 1.260,00 (42 x R\$ 30,00) por lote de frangos alojados, totalizando, em sete lotes anuais, R\$ 8.820,00 (custo do botijão de GLP, em outubro de 2004, R\$ 30,00).

Souza (2001) observou que o percentual de energia usada no aquecimento do substrato é muito alto, sendo possível melhorar em muito a eficiência do sistema, de modo que a produção líquida de biogás seja utilizada, simultaneamente, para outros fins.

A expansão da suinocultura tem originado em determinadas regiões, notadamente no Sul, significativa concentração de resíduos lançados em certas áreas, causando sérias preocupações quanto à degradação ambiental e aos conseqüentes prejuízos à qualidade de vida.

A busca por tecnologias que colaborem para a redução da poluição ambiental tem sido estudada pelos mais variados segmentos, principalmente da área produtiva, com vistas na melhoria da qualidade de vida da população. Por conta da legislação, são crescentes as exigências quanto aos critérios de manejo de dejetos, tornando-se significativamente mais rigorosas e acarretando elevados custos aos produtores. É imperiosa a evolução nos processos de tratamentos de resíduos que conduzam à redução de seu custo, tornando-os acessíveis aos suinocultores.

Ao combinar a ação ambiental – para reduzir as emissões de efluentes e gases – com a criação de alternativa viável e atraente para o suinocultor, empresas renomadas e inovadoras estão construindo e viabilizando a implantação de biodigestores nas propriedades dos suinocultores de sua rede. Em troca, elas se beneficiam captando recursos no mercado de créditos de carbono, em função dos biodigestores que elas viabilizaram. Estima-se que mais de 70 biodigestores foram construídos nessas condições, recentemente, e mais 320 estão em construção em Minas Gerais, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Santa Catarina e Goiás.

Os dejetos de suínos, quando submetidos, em biodigestores, à digestão anaeróbica perdem exclusivamente carbono na forma de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> (diminuindo a

relação C/N da matéria orgânica), resultando em resíduo final mais apropriado para uso como adubo orgânico, por conta da mineralização do nitrogênio e da solubilização parcial de alguns nutrientes (SCHERER et al., 1996).

## **Restos agroflorestais**

Parcela ponderável da energia elétrica produzida a partir de biomassa no Brasil é proveniente do aproveitamento de resíduos agropecuários, florestais ou da agroindústria. Segundo o Balanço Energético Nacional, 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.

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

Embora o potencial identificado nos segmentos madeireiro e arrozeiro seja de pequena importância do ponto de vista nacional, é preciso conscientizar-se de sua relevância nas regiões onde existem. Para o segmento madeireiro, os pólos de produção e beneficiamento de madeira estão localizados no Pará, em Mato Grosso e em Rondônia (madeira nativa) e em Santa Catarina, no Paraná e em São Paulo (madeira plantada). No caso da madeira nativa, há incertezas quanto ao futuro dessa atividade florestal, sendo importante analisar quais suas perspectivas de continuidade no contexto da exploração sustentável dos recursos florestais.

Como ocorre com 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 a médios e longos prazos, que definam condições claras e efetivamente motivadoras para que possa ser aproveitado o potencial economicamente viável e de interesse estratégico.

## **Resíduos florestais**

Os resíduos florestais obtidos do manejo correto dos projetos de reflorestamento podem incrementar a produtividade energética das florestas. Também nesse campo as estatísticas são deficientes por causa da diversidade regional, da fauna, da tecnologia, do solo e do clima. Entretanto, Woods e Hall (1994) estimam em 35 EJ/ano (10 GW) o potencial energético dos resíduos da extração florestal, no

mundo. Parcela ponderável desse resíduo é obtida consolidadamente nas usinas de processamento de madeira ou de obtenção de celulose e papel.

Considerando-se as densidades das madeiras nativas e plantadas, 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 Mtep de resíduos sem aproveitamento energético. Quanto à parcela ponderável dos resíduos (galhadas e restos de tronco) que permanecem no campo após o corte das árvores, faltam estudos sobre a viabilização de seu aproveitamento energético.

O setor de base florestal considera dois grandes segmentos: papel e celulose e os produtos de madeira sólida. No Brasil, as empresas atuam em um segmento único, isto é, ou em papel e celulose, ou em produtos de madeira sólida. Em países onde o setor florestal é mais desenvolvido (Finlândia, Estados Unidos e Canadá), as grandes empresas do setor atuam em ambos os segmentos, possibilitando maior competitividade no mercado internacional (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE, 2003).

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 desses produtos – descascamento, corte em serras e laminação das toras –, é gerada grande quantidade de casca e cavaco, que podem ser aproveitados na geração de energia elétrica no local ou transportadas com relativa facilidade caso sejam comercializadas, graças ao seu tamanho, que favorece o armazenamento e a manipulação.

Empresas que processam madeira serrada para a fabricação de produtos de maior valor agregado<sup>28</sup> tendem a produzir menos e menores resíduos, como a serragem e o pó de madeira, os quais podem ser aproveitados no local, mormente pela dificuldade de seu transporte. Segundo o IBGE (2003), São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul têm áreas maiores de madeira plantada. Já Pará e Mato Grosso, de madeira nativa.

### **Resíduo arrozeiro**

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

---

<sup>28</sup> Como *blocks* e *blanks*, molduras, painéis colados lateralmente (EGP), portas, pisos, móveis e outros produtos de madeira.



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 arrozes branco e parbolizado. A maior parte da produção brasileira é de arroz branco, concentrada no Rio Grande do Sul. Santa Catarina, o estado segundo maior produtor, concentra-se na produção de arroz parbolizado. De acordo com o IBGE (2003), Rio Grande do Sul e Santa Catarina têm produção de arroz em casca acima de 700 mil t/ano.

O arroz sai da lavoura com umidade de 25% a 30%, que varia com as condições de plantio e a época do ano. A umidade precisa ser reduzida a 12% a 15%, a fim de que seja beneficiado e, no máximo a 13%, para que seja armazenado. A secagem é feita com a queima da casca. Os gases de combustão são empregados para aquecimento. Uma usina exclusivamente produtora de arroz branco não tem consumo de vapor de processo. O poder calorífico superior da casca de arroz em base seca é de 15,84 GJ/t. O poder calorífico inferior, com umidade de 11%, é de 12,96 GJ/t, muito superior ao do bagaço de cana.

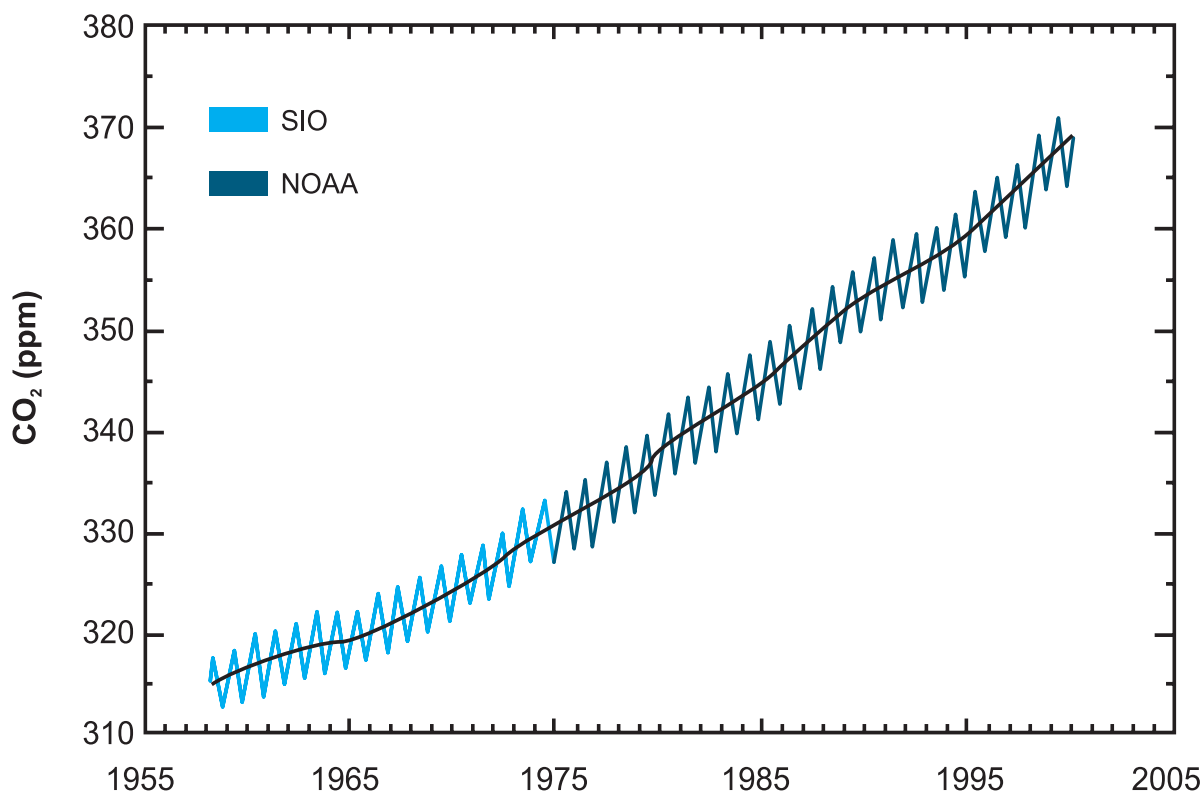
Já uma usina produtora de arroz parbolizado tem as seguintes demandas de vapor na produção industrial: a) para o encharcamento do arroz; b) para as autoclaves; c) para a própria parbolização do grão e em algumas indústrias; e d) para a secagem.

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

## **O mercado de créditos de carbono e a agroenergia**

### **Antecedentes**

A concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico aumentou 31% nos últimos 250 anos (Fig. 14), atingindo, provavelmente, seu nível mais alto. Esse percentual tende a aumentar significativamente se as fontes emissoras de gases de efeito estufa não forem controladas. A queima de combustíveis fósseis e a produção de cimento são responsáveis por cerca de 75% desses gases. A mudança de uso da terra, exigindo desmatamento, também tem contribuição significativa: 25%.



**Fig. 14.** Concentração de gás carbônico na atmosfera em Mauna Loa (Havai).

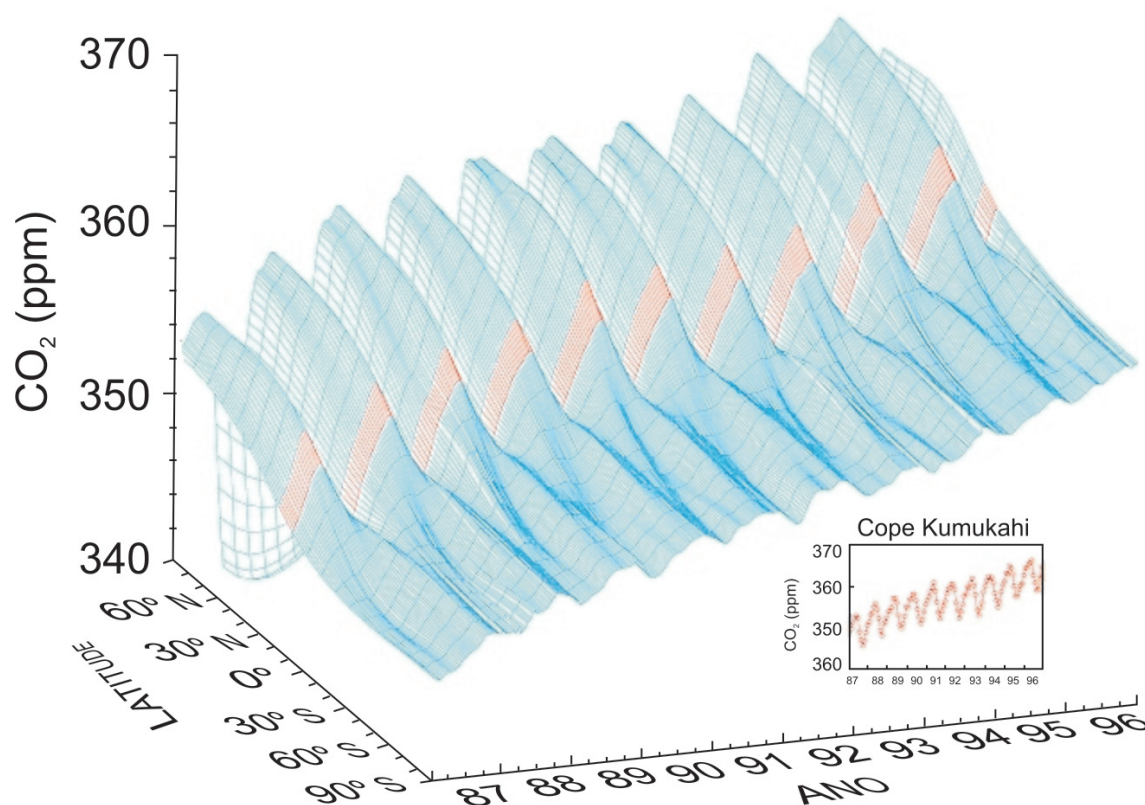
Fonte: [www.mlo.noaa.gov/projects/GASES/co2graph.htm](http://www.mlo.noaa.gov/projects/GASES/co2graph.htm) (cdkeeling@ucsd.edu).

O aquecimento global por fontes antrópicas – decorrente da emissão de gases de efeito estufa (GEE) – tem trazido grande preocupação à sociedade moderna. Ele se dá especialmente em locais com demanda crescente de energia, em maior parte de natureza não-renovável, decorrente, sobretudo, do crescimento populacional. Mudanças climáticas podem resultar em externalidades negativas diversas para as gerações futuras.

A Fig. 15 mostra a região entre 30° e 60° de latitude norte, onde se localizam países de Primeiro Mundo, os maiores emissores de gases de efeito estufa.

Tal preocupação levou os membros da Organização das Nações Unidas (ONU) a assinar um acordo que estipulasse o controle das intervenções humanas sobre o clima. O Protocolo de Quioto determina que os signatários, países desenvolvidos (chamados também de países do Anexo I), reduzam, entre 2008 e 2012, suas emissões de gases de efeito estufa em 5,2%, em média, em comparação às emissões de 1990. Existem alternativas para auxiliá-los no cumprimento de suas metas, chamadas de “mecanismos de flexibilização”.

O mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL) nasceu de 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. Por meio dele, países desenvolvidos comprariam créditos de carbono, em tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente, de países em desenvolvimento responsáveis por tais projetos. Há



**Fig. 15.** Distribuição da concentração de gás carbônico na atmosfera, de acordo com o tempo e a latitude.

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

uma série de critérios para o reconhecimento desses projetos, entre eles, o de estarem alinhados às premissas de desenvolvimento sustentável do país hospedeiro, definidos por Autoridade Nacional Designada (AND). No Brasil, essa autoridade é a Comissão Interministerial de Mudança do Clima. Somente após ser aprovado por ela, o projeto pode ser submetido à ONU para avaliação e registro.

## 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 aprovação dos projetos pela ONU, além do alto custo de transação (entre US\$ 100.000 e US\$ 150.000). Alguns países (Anexo I), como Islândia e Austrália, não referendaram o compromisso de redução (com possibilidade, inclusive, de aumentar suas emissões no período de compromisso), enquanto outros, como a Rússia, têm reduzido substancialmente suas emissões e podem lucrar substancialmente com o comércio de permissões (*allowances*), as quais representam créditos mais seguros e de maior valor comercial.

Há carência e urgência de estudos econômicos que façam projeções de longo prazo. Atualmente, a tonelada de carbono dos projetos de MDL é vendida entre

US\$ 5,00 e US\$ 6,00, para projetos que obedecem às premissas do Protocolo de Quioto. Entretanto, há outras opções de comercialização (iniciativas voluntárias), com regras mais flexíveis, como a CCX (Chicago Climate Exchange – Bolsa do Clima de Chicago), em que os preços para a tonelada são mais baixos (em torno de US\$ 0,90). Com a recente ratificação do Protocolo de Quioto, a expectativa é de que esses valores cresçam.

De acordo com o Banco Mundial, os principais compradores de créditos entre janeiro de 2004 e abril de 2005 foram Japão (21%), Holanda (16%), 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 com 31%; o Brasil, 13%; o restante da Ásia (inclusive a China), 14%; e o restante da América Latina, 22%. A participação da Índia e a do restante da Ásia são expressivas por seus projetos de destruição do  $\text{HFC}_{23}$ , gás cujo potencial de aquecimento global é 11.700 vezes maior do que o  $\text{CO}_2$ .

Os projetos com ênfase em melhoria de eficiência energética, biomassa, etc., muitas vezes prevêem atividades para um período de 7 a 21 anos, embora o primeiro período de compromisso do Protocolo seja de 2008 a 2012. É muito difícil determinar qual seria o potencial de projetos do mercado de créditos de carbono. Como existe alto grau de incerteza quanto às negociações para o segundo período, optou-se por estimar o potencial de participação anual do Brasil e do agronegócio nesse mercado apenas no primeiro período (Tabela 14).

Existem 23 projetos de MDL oficialmente aprovados em todo o mundo, no âmbito da Convenção. Apenas dois são brasileiros, ambos de queima de gases em aterros sanitários; portanto, não-vinculados ao agronegócio.

**Tabela 14.** Estimativa do potencial de participação anual do agronegócio brasileiro no mercado de créditos de carbono no primeiro período de compromisso do Protocolo de Quioto (2008–2012).

Emissão dos países desenvolvidos em 1990	13,7 bilhões de toneladas de $\text{CO}_2$
Redução comprometida = 5,2% do total	714 milhões de toneladas de $\text{CO}_2$ /ano
Preço em 2005 = US\$ 5,63/toneladas de $\text{CO}_2$	Total = US\$ 4,0 bilhões/ano
Estimativa da participação do MDL (40%)	US\$ 1,6 bilhão/ano
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.

## Particularidades do MDL

Para serem aprovados, os projetos devem atender ao pré-requisito da adicionalidade. Tal pré-requisito pressupõe, entre outros fatores, que a opção pela

adoção do projeto não é, por si só, a alternativa econômica mais viável, e que esse demanda investimentos outros, como os relativos à compra de créditos de carbono, para se viabilizar. Como a ênfase do MDL está calcada em premissas do desenvolvimento sustentável, ações que economicamente mais atrativas, por si só, não requerem, na maioria das vezes, aportes complementares (como o de créditos de carbono), e acontecem naturalmente pelas próprias leis de mercado e interesses particulares dos proponentes. Muitas vezes têm sido preferidos projetos que apresentem argumentos que demonstrem que esses só se viabilizam caso recebam aporte de recursos do MDL.

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

No caso do Brasil, sob a ótica do desenvolvimento sustentável, 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. Isso visa garantir que os projetos sejam desenvolvidos obedecendo a tal metodologia, reconhecida previamente pelo Painel Metodológico da ONU.

O projeto deve mostrar que muda toda a realidade, baseado em cenários de tendências, caso não se implante o que também é chamado de “linha de base”. Isso significa, em outras palavras, que, para se avaliar a contribuição que a implantação de um determinado projeto pode trazer, é preciso ter um ponto de partida como cenário de referência, ou seja, é necessário estabelecer qual seria a situação, no decorrer dos anos, na ausência do referido projeto. Uma das principais dificuldades 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 é de, aproximadamente, 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. O objetivo é reduzir os custos de transação, de modo a incentivar o envolvimento de pequenos empresários, mediante arranjos associativistas.

No Brasil, o MDIC, em parceria com a Bolsa de Mercadorias & Futuros (BM&F) e subsidiado pela Fundação Getúlio Vargas, criou o Mercado Brasileiro de Redução de Emissões. A intenção é organizar um mercado primário por meio de um banco de projetos, com sistema de registro, armazenamento e classificação dos projetos. Isso



terá implicações favoráveis, como a redução dos custos de transação, conferindo maior visibilidade aos investidores e até auxiliando os proponentes a identificá-los no mercado.

## **Oportunidades para a agroenergia**

Uma grande oportunidade 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, que estão sendo implementados, geram créditos.

Por ter metodologia já aprovada, espera-se que um grande número de projetos seja apresentado, dando margem a outras iniciativas, como o aproveitamento de palha de arroz, de 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 fontes de energia renovável (carvão vegetal) em siderurgias. Outra possibilidade é o uso de resíduos de serrarias para gerar energia por biomassa, pois a eficiência do aproveitamento da madeira é de cerca de 50%.

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

Por se apresentar como programa de governo, que tem barreiras técnicas e de viabilidade econômica a serem transpostas, o biodiesel tem grande potencial, especialmente quando se trata de substituição de fonte energética. Outro fator positivo são os benefícios sociais, amplamente contemplados por esse programa.

Oportunidades indiretas, decorrentes das exigências do Protocolo de Quioto, também devem ser consideradas. O Japão, em esforço para reduzir suas emissões, autorizou a mistura de 3% de álcool à gasolina que consome, o que abre grande mercado às exportações brasileiras de etanol. Essa mistura pode ser ainda maior, se considerarmos que, no Brasil, oscila entre 20% e 25% a adição de álcool à gasolina.

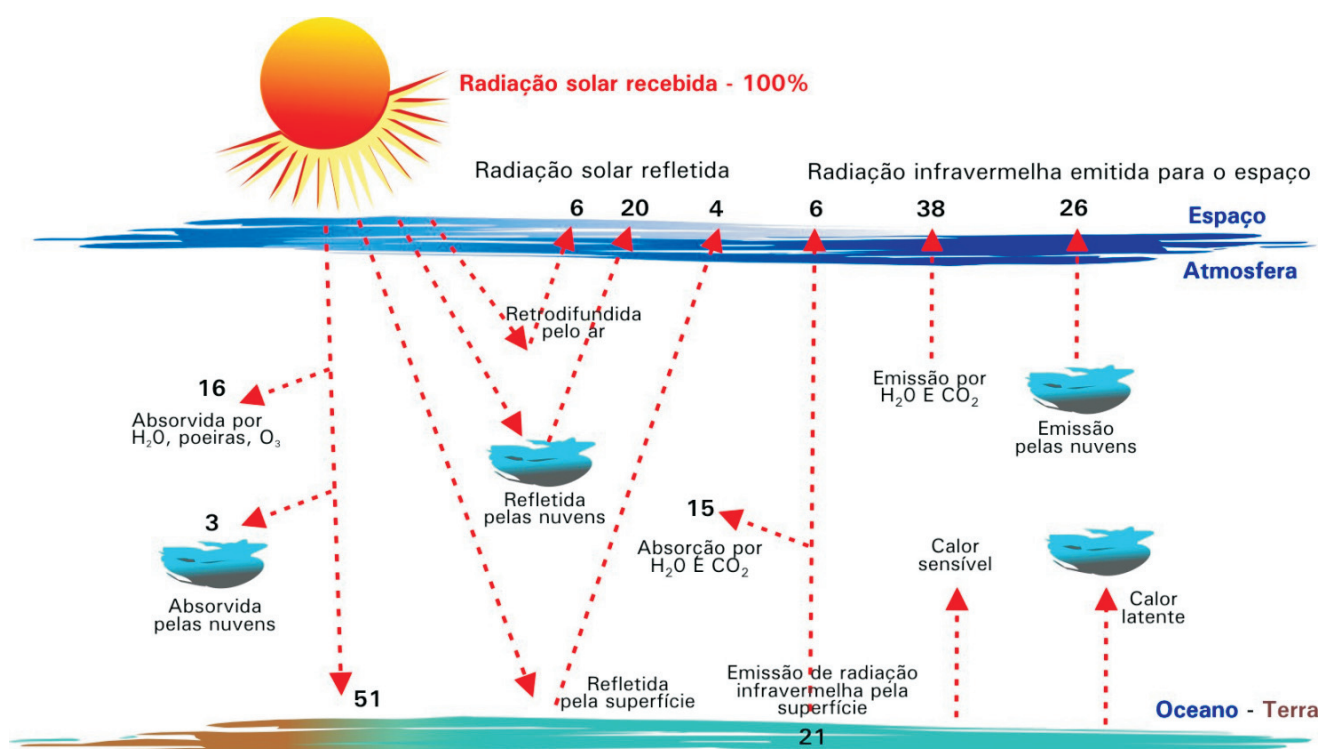
## **Reduções de emissões de gás de efeito estufa (GEE)**

A Fig. 16 apresenta, de forma esquemática, o efeito estufa natural, que pode ser acirrado com a emissão desenfreada de GEE.

O uso da biomassa para seqüestro de carbono é um ponto pacífico. O IPCC estima que entre 60 bilhões e 87 bilhões de toneladas de carbono poderão ser

estocadas em florestas, entre 1990 e 2050, o que equivale a 12% a 15% das emissões por combustíveis fósseis, no mesmo período. Algumas condições precisam ser atendidas para que a biomassa possa, efetivamente, atender às expectativas de mitigar os impactos dos combustíveis fósseis no ambiente, quais sejam:

- Produção sustentável de matéria-prima e uso dos recursos energéticos de forma a resultar na produção neutra de  $\text{CO}_2$ .
- Seqüestro e fixação do carbono por longos períodos, mesmo após a vida útil do vegetal (ex. produção de móveis de madeira).
- Substituição direta de combustíveis fósseis – caso do etanol e dos biocombustíveis derivados de óleos vegetais.



**Fig. 16.** Representação esquemática do efeito estufa.

Fonte: Elaboração D. L. Gazzoni e D. Estevão.

É sempre importante considerar o conceito de gases de efeito estufa (GEE), do qual o  $\text{CO}_2$  é apenas o paradigma do índice de medição de emissões. Outros gases, como o metano e o anidrido sulfuroso, são extremamente perniciosos como poluidores atmosféricos. Uma das vantagens do uso de biomassa é a emissão baixa ou nula desses gases.

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

- Biocombustíveis e biomassa energética em geral podem substituir os combustíveis fósseis diretamente.
- Há menos incerteza em relação às medições das contribuições da biomassa energética do que quanto ao seqüestro de carbono.
- O custo de investimento é menor, pois o seqüestro de carbono significa que a energia para a sociedade necessitará ser suprida de alguma forma.
- A redução de emissões pela biomassa energética é um fenômeno definitivo, enquanto as florestas de seqüestro devolvem CO<sub>2</sub> à atmosfera, quando usadas para fins não-permanentes.
- Estudos demonstram que, a longo prazo, usar biomassa energética é mais eficiente no uso da terra do que empregar florestas para seqüestro de carbono (LARSON; KARTHA, 2000).





# Referências

- ANDREAE, M. O. Biomass burning: its history, use, and distribution and its impacts on the environmental quality and global change. In: LEVINE, J. S. (Ed.). **Global biomass burning**: atmospheric, climatic, and biosphere implications. Cambridge, MA: MIT Press, 1991. p. 3-21.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. **O setor florestal e o segmento de madeira sólida no Brasil**. Disponível em: <<http://www.abimci.com.br/port/06Docs/0601DocCNI0503/0601FrameSet.html>>. Acesso em: jun. 2003.
- COELHO S. T. **Mecanismos para implementação da co-geração de eletricidade a partir de biomassa**: um modelo para o Estado de São Paulo. 1999. 278 f. Tese (Doutorado) - Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- HALL, D. O.; RAO, K. K. Photosynthesis. 6. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1999. 214 p.
- HALL, D. O.; ROSILLO-CALLE, F.; WILLIAMS, R. H.; WOODS, J. Biomass for energy: supply prospects. In: JOHANSSON, B. J. et al. (Ed.) **Renewables for fuels and electricity**. Washington, DC : Island Press, 1993. chapter.14.
- HOLANDA, A. **Biodiesel e inclusão social**. Brasília, DF: Câmara dos Deputados, 2004. 189 p. (Cadernos de Altos Estudos, 1).
- IBGE. Disponível em: <[www.cidra/ibge.gov.br](http://www.cidra/ibge.gov.br)>. Acesso em: 13 jun. 2003.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **World energy outlook**. Paris, 2004. 500 p.
- LARSON, E. D.; KARTHA, S. Expanding roles for modernized biomass energy. **Journal Energy for Sustainable Development**, [Bangalore] v, 4, n. 3, p. 15-25, 2000.
- LUCAS JUNIOR, J. **Algumas considerações sobre o uso do estrume de suínos como substrato para três sistemas de biodigestores anaeróbios**. 1994. 113 f. Tese (Livre-Docência) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.
- MUSSA, M. **A global growth rebound**: how strong for how long? Washington, DC : Institute for International Economics, 2003. Disponível em: <[www.iie.com/publications/papers/mussa0903.pdf](http://www.iie.com/publications/papers/mussa0903.pdf)>. Acesso em: 13 jun.2005.
- ODDONE, D. C. **Co-geração**: uma alternativa para produção de eletricidade. 2001. 82 f. Dissertação (Mestrado) - Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- 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**, São Paulo, v. 25, n. 7, p.16-20, 2003.
- ORGANIZATION OF THE PETROLEUM EXPORTING COUNTRIES. **Statistical Bulletin** . Disponível em:<[http://www.opec.org/library/Annual Statistical Bulletin/asb2003.htm](http://www.opec.org/library/Annual%20Statistical%20Bulletin/asb2003.htm)>. Acesso em: 15 maio 2005.
- ROSILLO-CALLE, F. Overview of biomass energy. In: LANDOLF-BORNSTEIN. **Handbook**. Springer-Verlag: Biomass Energy, 2001. v. 3. chapter 5.
- 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 piggy waste. **Bioresource Technology**, Oxford, n. 96, p. 335-344, 2005.
- SANTOS, T. M. B. dos. **Balanco energético e adequação do uso de biodigestores em galpões de frangos de corte**. 2001. 179 f. 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).

SMIL, V. Crop residues: agriculture's largest harvest. **BioScience**, Washington, v. 49, n. 4, p. 299-308, 1999.

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 f. Tese (Doutorado em Zootecnia - Produção Animal) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

WALTER, A. C. S. **Viabilidade e perspectivas da cogeração e geração termelétrica junto ao setor sucro-alcooleiro**. 1994. 283f. Tese (Doutorado) - Unicamp, Campinas, 1994.

WOODS, J.; HALL, D. O. **Bioenergy for development**: technical and environmental dimensions. Rome: FAO ,1994. (Environment and Energy. Paper 13).

WORLD BANK. **Global economic prospects 2004**: realizing the development promise of the Doha agenda. Washington, DC : 2003, Appendix 1. "Regional Economic Prospects," p. 239.

WYLEN, G. J. V.; SONNTAG, R. E. **Fundamentos da termodinâmica clássica**. São Paulo: Edgard Blucher, 1976.

# Literatura Recomendada

- ABOU NOHRA, J.; BARRINGTON, S.; FRIGON, J. C.; GUIOT, S. R. In storage psychrophilic anaerobic digestion of swine slurry. **Resources Conservation and Recycling**, Amsterdam, n. 38, p. 23-37. 2003.
- ABREU, P. G.; ABREU, V. M. N. **Conforto térmico para aves**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2004. 5 p.(Embrapa Suínos e Aves. Comunicado Técnico, 365)
- AL SEADI, T.; MOLLER, H. B. Separation of slurry: a potential option for the animal production sector. In: EUROPEAN BIOGAS WORKSHOP, 2003, Esbjerg, Denmark. [**Proceedings...**]. Esbjerg, Denmark: University of Southern Denmark, 2003.
- ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; ZULLO, J. J.; ÁVILA, A. M. H. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agro-climático do café no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, 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**, [Amsterdam] v. 24, n. 3, p. 239-248, 2003.
- AXAOPOULOS, P.; PANAGAKIS, P.; TSAVDARIS, A.; GEORGAKAKIS, D. Simulation and experimental performance of a solar-heated anaerobic digester. **Solar Energy**, Oxford, v. 70, n. 2, p. 155-164, 2001.
- BAÊTA, F. C.; SOUZA, C. F. **Ambiência em edificações rurais: conforto animal**. Viçosa: Editora da Universidade Federal de Viçosa, 1997. 246 p.
- BATZIAS, F. A.; SIDIRAS, D. K.; SPYROU, E. K. Evaluating livestock manures for biogas production: a GIS based method. **Renewable Energy**, Oxford, v. 30, n. 8, p.1161-1176 , 2005.
- BENINCASA, M.; ORTOLANI, A. F.; LUCAS JUNIOR, J. **Biodigestores convencionais?** 2. ed. Jaboticabal: Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, UNESP,1991. 25 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.
- CENTRO PARA A CONSERVAÇÃO DE ENERGIA. **Guia técnico de biogás**. Amadora, Portugal: Agência para a Energia, 2000. 117 p.
- CHAVES, R.; CAVALCANTI, I. Atmospheric circulation features associated with rainfall variability over southern northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, Boston, v. 129, n. 10, p. 2614-2620. 2001.
- CHERNICHARO, C. A. L. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: biodigestores anaeróbios**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental , 1997. v. 5. 246 p.
- 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 AGRARIA, Costa Rica, 2004. **Anais...** Costa Rica, 2004.
- CURTIS, S. E. **Environmental management in animal agriculture**. Ames, Iowa: Iowa State University Press, 1983.
- DAUBDOUB, M. **Redução de emissões tóxicas**. Disponível em: <[http://www.dabdoub-labs.com.br/Sintese\\_projeto.htm](http://www.dabdoub-labs.com.br/Sintese_projeto.htm)>. Acesso em: 2005.
- 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**, Oxford, n. 93, p.109-117, 2004.

DOHANYOS, M.; KOSOVA, B.; ZABRANSKA, J.; GRAU, P. Production and utilization of VFA's in various types of anaerobic reactors. **Water Sciences Technology**, n. 17, p.191- 205, 1985

ENERGIAHP. **Biodigestores e o biogás**. Disponível em: <www.energiahp.hpg.ig.com.br/> Acesso em: 6 fev. 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, 1994, São Paulo. **Anais...** São Paulo, CBNA, 1994. p. 63-83.

GALESNE, A.; FENSTERSEIFER, J.; LAMB, R. **Decisões de investimento da empresa**. São Paulo: Atlas, 1999.

HOOGWIJK, M.; DEN BROEK, R.; BERNDEN, G.; FAAIJ, A. A review of assessments on the future of global contribution of biomass energy. In: WORLD CONFERENCE. ON BIOMASS ENERGY AND INDUSTRY, 1., 2000, Sevilla. **[Proceedings...]** London: James & James, 2001.

KASHYAP, D. R.; DADHICH, K. S.; SHARMA, S. K. Biomethanation under psychrophilic conditions: a review. **Bioresource Technology**, Oxford, n. 87, p.147-153, 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 Technology**, Oxford, n. 83, p. 27-36, 2002.

KUNZ, A.; HIGARASHI, M. M.; OLIVEIRA, P. A. V. de; MATTEI, R. M.; MIGUEL, W. C. Utilização de biodigestor abastecido com dejetos de suínos em uma pequena propriedade rural. In: SIMPÓSIO GAÚCHO DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL, 3., 2004, Erechim. **[Anais...]** Erechim: Universidade Regional Integrada, 2004. 1 CD-ROM.

KUNZ, A.; PERDOMO, C. C.; OLIVEIRA, P. A. V. de. Biodigestores: avanços e retrocessos. **Suinocultura Industrial**, São Paulo, v. 26, n. 4, p.14-16, 2004.

LA FARGE, B. de. **Le biogaz**: procédés de fermentation méthanique. Paris: Masson, 1995. 237 p.

LAPP, H. M.; SCHULTE, D. D.; STEVENS, M. A. **Biogas production from animal manure**. Winnipeng, Manitoba: Biomass Energy Institute, 1978. 21 p.

LE DIVIDICH, J.; NOBLET, J.; HERPIN, P.; VAN MILGEN, J.; QUINIOU, N. Thermoregulation. In: WISEMAN, J.; VARLEY, M. A; CHADWICK, J. P. (Ed.) **Progress in pig science**. Thrumpston, Nottingham: Nottingham University Press, 1998. p. 229 - 263.

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 tendências tecnológicas para energia**. Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2002. 90 p. Relatório.

MAGBANUA JUNIOR, B. S.; ADAMS, T.T.; JOHNSTON, P. Anaerobic codigestion of hog and poultry waste. **Bioresource Technology**, Oxford, n. 76, p.165-168, 2001.

MARTINEZ, J.; GUIZIOU, F.; PEU, P.; GUEUTIER, V. Influence of treatment techniques for pig slurry on methane emissions during subsequent storage. **Biosystems Engineering**, San Diego, v. 85, n. 3, p. 347-354, 2003.

MASSÉ D. I.; MASSE, L. The effect of temperature on slaughterhouse wastewater treatment in anaerobic sequencing batch reactors. **Bioresource Technology**, Oxford, n. 76, p. 91-98, 2001.

MASSÉ, D. I.; MASSE, L.; CROTEAU, F. The effect of temperature fluctuations on psychrophilic anaerobic sequencing batch reactors treating swine manure. **Bioresource Technology**, Oxford, n. 89, p. 57-62, 2003.

MÜLLER, H. B.; SOMMER, S. G.; AHRING, B. K. Methane productivity of manure, straw and solid fractions of manure. **Biomass and Bioenergy**, [Amsterdam], n. 26, p. 485-495, 2004.

MURPHY, J. D.; MCKEOGH, E. The benefits of integrated treatment of wastes for the production of energy. **Energy**, Oxford, n. 31, p. 294-310, 2006.

NASCIMENTO, E. F.; 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**, Botucatu, v. 10, n. 14, p. 21-31, 1995.

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. **Methane generation from human, animal and agricultural wastes**. Washington, DC, 1977. 131 p.

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. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2004. 109 p.

OLIVEIRA, P. A. V. **Comparaison des systèmes d'élevage des porcs sur litière de sciure ou caillebotis intégral**. 1999. 264 f. Thèse (Doctorat) - Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie de Rennes, France.

OLIVEIRA, P. A. V. de; OTSUBO, C. S. Sistema simples para produção de biogás com o uso de resíduos de suínos e aves. **Revista Gerenciamento Ambiental**, São Paulo, v. 4, n. 19, p. 21, 2002.

OLIVEIRA, P. A. V. de. Potencial de produção e utilização de biogás na avicultura comercial. In: ENCONTRO DE AVICULTORES DO ESTADO DE SÃO PAULO, 27., JORNADA TÉCNICA, 24., 2001, Bastos, SP. **Anais...** Bastos, SP: Sindicato Rural de Bastos, 2001. p.16-28.

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

OLIVEIRA, P. A. V. Influência da temperatura na produção de biogás. In: REUNIÃO SOBRE A INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NA BIODIGESTÃO ANAERÓBIA, 1., 1983, Santa Maria. **Anais...** Santa. Maria: MA/EMBRATER/UFSC/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**, [Jaboticabal] 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. **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. **Annales de Zootechnie**, Paris, n. 48, p. 117-129, 1999.

PARKIN, G. F.; OWEN, W. F. Fundamentals of anaerobic digestion of wastewater sludges. **Journal of Environmental Engineering**, New York, v. 112, n. 5, p.867 - 920, 1986.

PERDOMO, C. C. **Análise de diversos tipos de construções para suínos, utilizadas no Sul do Brasil**. 1984. 124 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

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

RAVEN, R. P. J. M.; GREGERSEN, K. H. Biogas plants in Denmark: successes and setbacks. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Oxford, p.1-18, 2005.

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: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE AMBIÊNCIA E SISTEMAS DE PRODUÇÃO AVÍCOLA, 1998, Concórdia. **Anais...** Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, 1998. p. 84-95.

SILVA F. M.; LUCAS JUNIOR. J.; BENINCASA, M. Adaptação e desempenho de um aquecedor de água a biogás. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE INGENIERIA AGRÍCOLA, 1994, Chillan-Chille. **Anais...** Chillan-Chille: Associação Latino Americana de Engenharia Agrícola, 1994.

SILVA, R. G. Trocas térmicas em aves. In: SILVA, I. J. O da (Org.). **Ambiência na produção de aves em clima tropical**. Piracicaba, 2001, v. 1. p. 88 - 124.

SOULOUMIAC, D. **Étude des microclimat réalisables dans des enceintes énergétiquement autonomes soumises à des flux de chaleur d'origine métabolique**. 1995. 185 f. Thèse (Doctorat) – Institut National Agronomique, Paris-Grignon.

SOUSA, P. **Avaliação do índice de conforto térmico para matrizes suínas em gestação segundo as características do ambiente interno**. 2002. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas.

SOUZA, C. F.; LUCAS JUNIOR, J.; FERREIRA, W. P. M. Biodigestão anaeróbica de dejetos de suínos sob efeito de três temperaturas e dois níveis de agitação do substrato - considerações sobre a partida. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002, Salvador. **Engenharia agrícola para o desenvolvimento sustentável: água, energia e meio ambiente**. 1 CD-ROM.

UNGER, P. W. Sunflower. In: STEWART, B. A.; NIELSEN, D. R. (Ed.) **Irrigation of agricultural crops**. Madison: American Society of Agronomy, 1990. p.775-794. (Agronomy, 30).

VAN LIER, J. B.; SANZ MARTIN, J. L.; LETINGA, G. Effect of temperature on anaerobic thermophilic conversion of volatile fatty acids by and granular sludge. **Water Research**, Oxford, n. 30, p. 199-207, 1996.

VISSER, A.; GAO Y.; LETINGA, G. Effects of short-term temperature increase on the mesophilic anaerobic breakdown of sulfate containing synthetic wastewater. **Water Research**, Oxford, n. 27, p. 541-551, 1993.

WILLIAMS, J. **WTRG Economics**. Disponível em: <<http://www.wtrg.com/prices.htm>>. Acesso em: 15 jun. 2005.

YADVIKA, S.; SANTOS, H.; SREEKRISHNAN, T.R.; KOHLI, S.; RANA, V. Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques: a review. **Bioresource Technology**, Oxford, n. 95, p. 1-10, 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. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Regional de Blumenau, Centro de Ciências Tecnológicas, Blumenau.







**Ministério da  
Agricultura, Pecuária  
e Abastecimento**



**CGPE 5877**