



CADERNOS DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL 11 ETANOL E BIODIESEL

Cadernos de Educação Ambiental

# ETANOL E BIODIESEL



GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO  
SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE  
COORDENADORIA DE BIODIVERSIDADE E  
RECURSOS NATURAIS

11

GOVERNO DO ESTADO  
**SÃO PAULO**  
Secretaria do Meio Ambiente

11

Cadernos de Educação Ambiental

# Etanol e Biodiesel

*Autora*

Carolina Roberta Alves de Matos

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO  
SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE  
COORDENADORIA DE BIODIVERSIDADE  
E RECURSOS NATURAIS

SÃO PAULO • 2012

**Ficha Catalográfica – preparada pela:  
Biblioteca – Centro de Referências de Educação Ambiental**

---

S24e São Paulo (Estado). Secretaria do Meio Ambiente / Coordenadoria de Biodiversidade e Recursos Naturais. Etanol e Biodiesel.  
Matos, Carolina Roberta Alves de. - São Paulo : SMA, 2011.  
104p.: il. ; 15,5 x 22,3 cm. (Cadernos de Educação Ambiental .

Bibliografia  
ISBN – 978-85-86624-82-7

1. Etanol 2. Biodiesel 3. Biocombustíveis I. Título. II.Série.

CDU 349.6

---

1ª Reimpressão 2012

**Governo do Estado de São Paulo**

Governador

*Geraldo Alckmin*

**Secretaria do Meio Ambiente**

Secretário

*Bruno Covas*

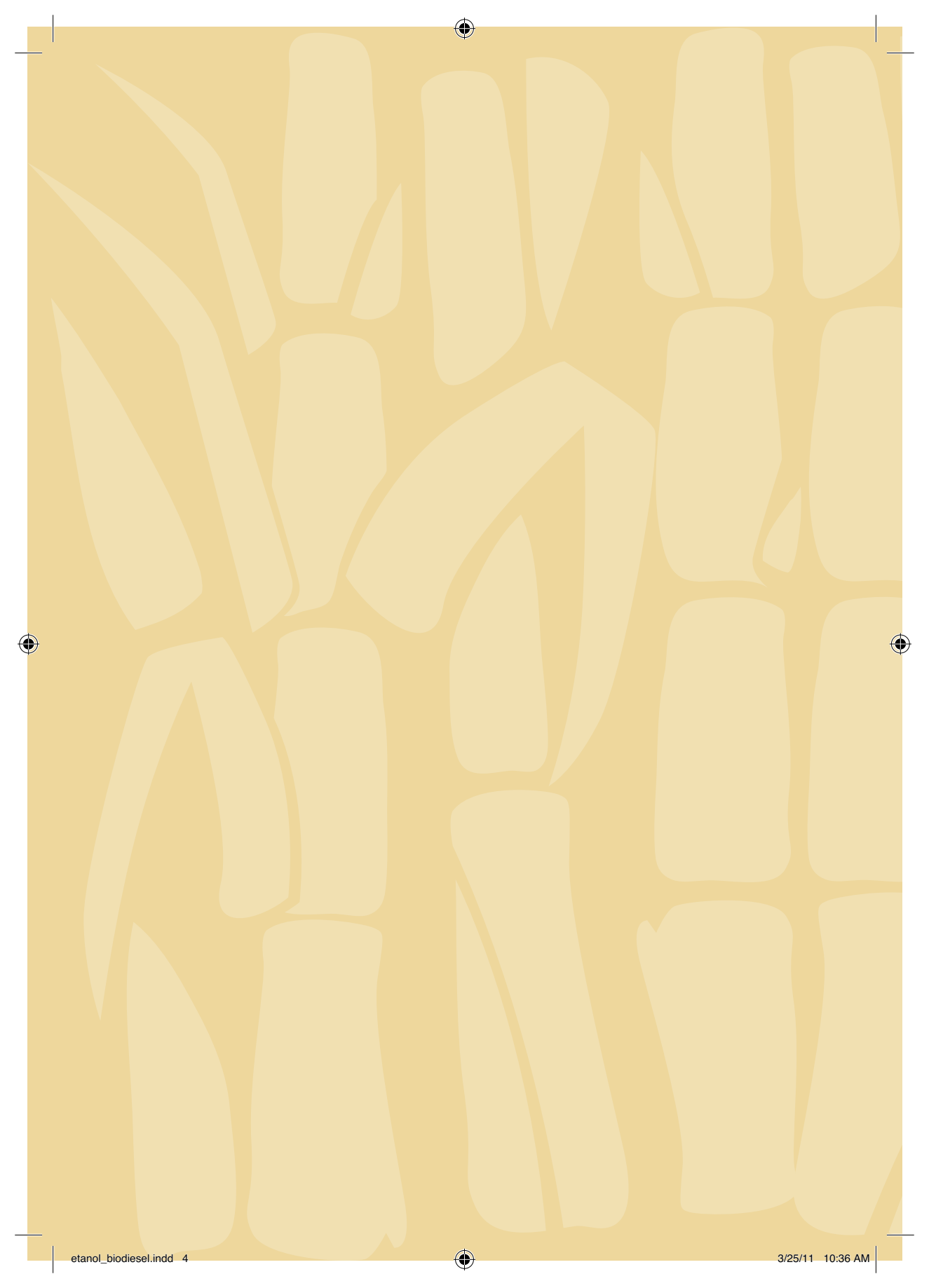
**Coordenadoria de Biodiversidade  
e Recursos Naturais**

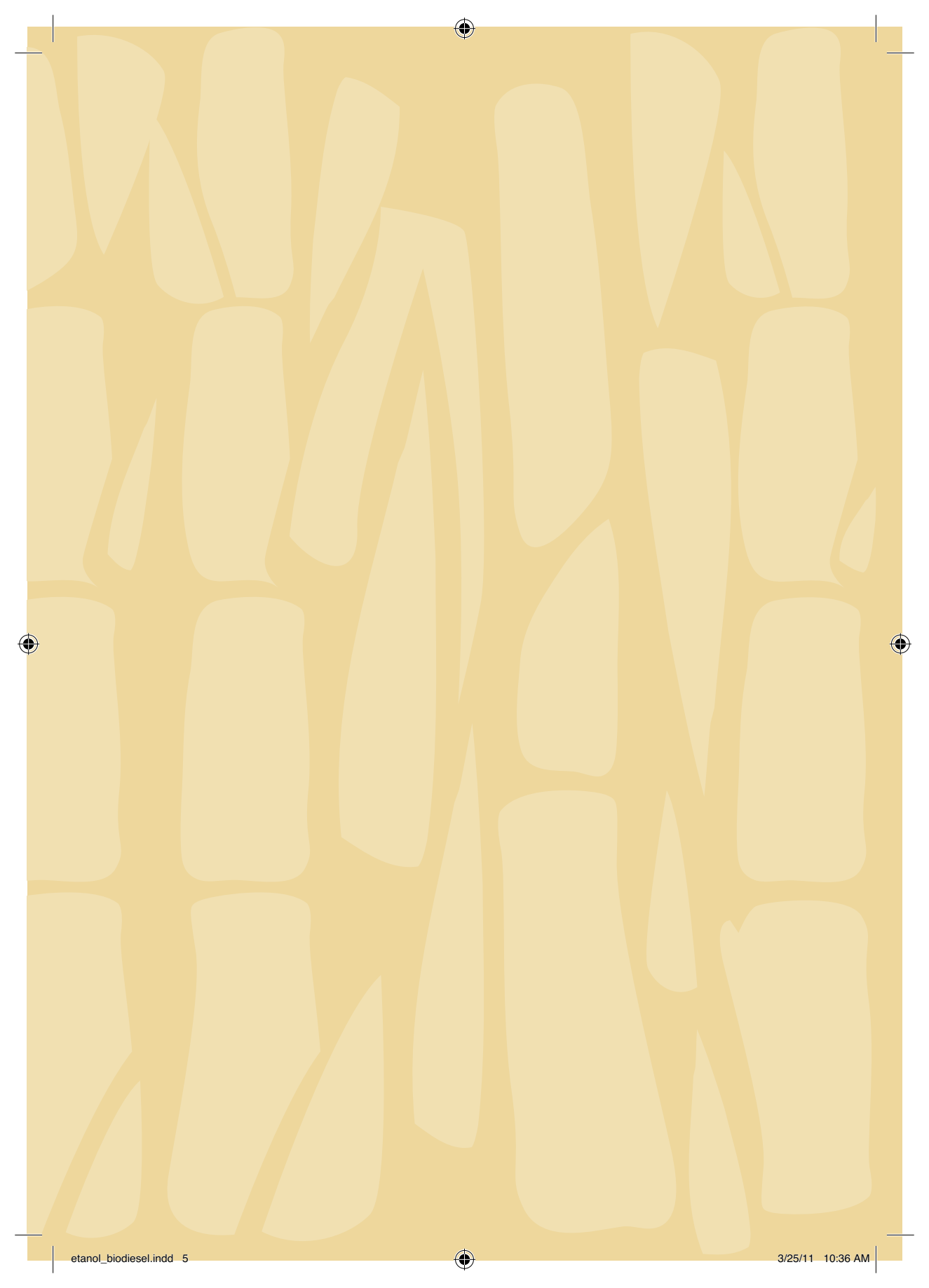
Coordenadora

*Helena Carrascosa von Glehn*

**Diretor do Departamento  
de Desenvolvimento Sustentável**

*Ricardo Viegas*





## Sobre a série Cadernos de Educação Ambiental

A sociedade brasileira, crescentemente preocupada com as questões ecológicas, merece ser mais bem informada sobre a agenda ambiental. Afinal, o direito à informação pertence ao núcleo da democracia. Conhecimento é poder.

Cresce, assim, a importância da educação ambiental. A construção do amanhã exige novas atitudes da cidadania, embasadas nos ensinamentos da ecologia e do desenvolvimento sustentável. Com certeza, a melhor pedagogia se aplica às crianças, construtoras do futuro.

A Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, preocupada em transmitir, de forma adequada, os conhecimentos adquiridos na labuta sobre a agenda ambiental, cria essa inovadora série de publicações intitulada Cadernos de Educação Ambiental. A linguagem escolhida, bem como o formato apresentado, visa atingir um público formado principalmente por professores de ensino fundamental e médio, ou seja, educadores de crianças e jovens.

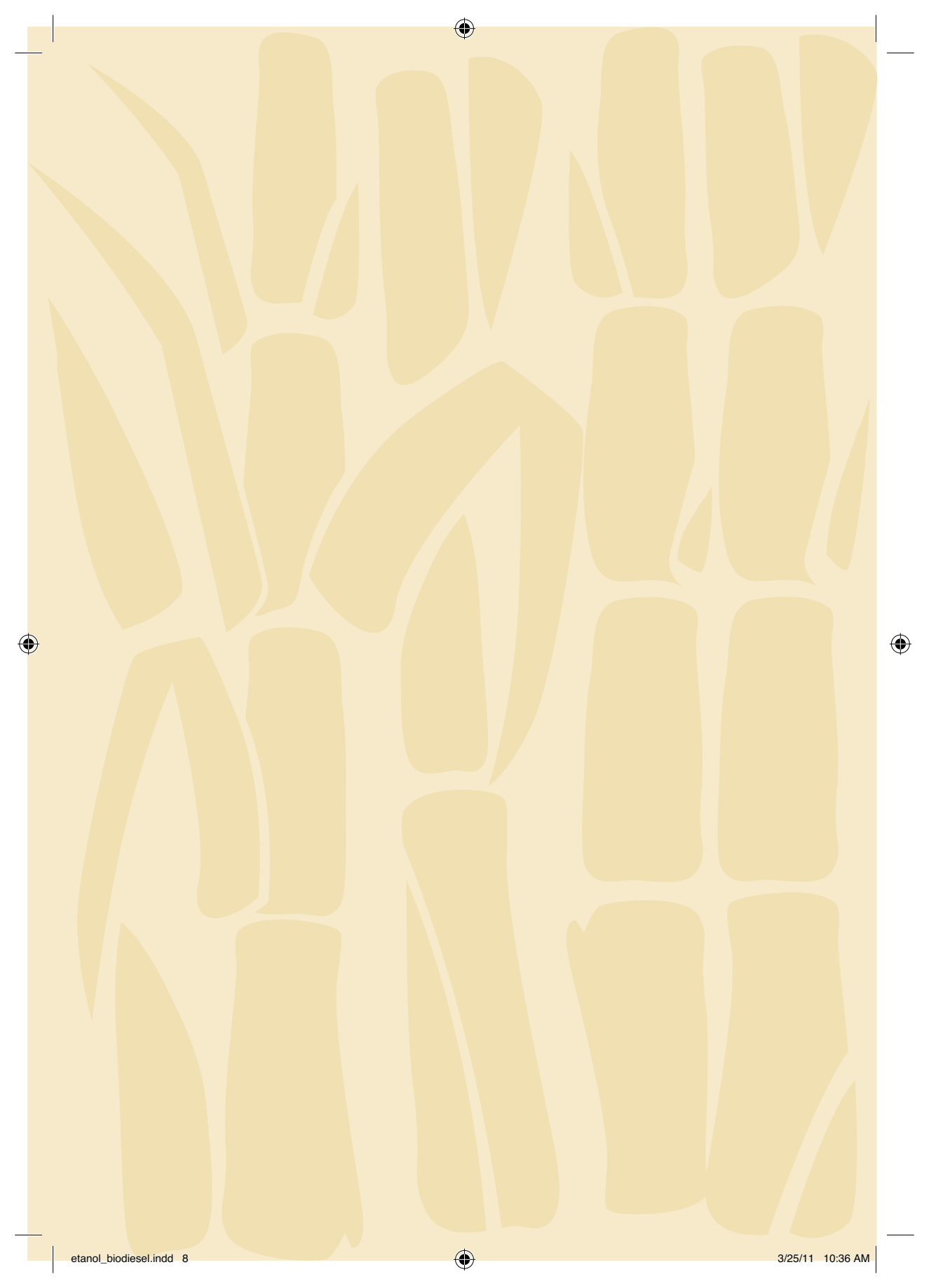
Os Cadernos de Educação Ambiental, face à sua proposta pedagógica, certamente vão interessar ao público mais amplo, formado por técnicos, militantes ambientalistas, comunicadores e divulgadores, interessados na temática do meio ambiente. Seus títulos pretendem ser referências de informação, sempre precisas e didáticas.

Os produtores de conteúdo são técnicos, especialistas, pesquisadores e gerentes dos órgãos vinculados à Secretaria Estadual do Meio Ambiente. Os Cadernos de Educação Ambiental representam uma proposta educadora, uma ferramenta facilitadora, nessa difícil caminhada rumo à sociedade sustentável.

## Títulos Publicados

- As Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo
- Ecocidadão
- Unidades de Conservação da Natureza
- Biodiversidade
- Ecoturismo
- Resíduos Sólidos
- Mata Ciliar
- Desastres Naturais
- Habitação Sustentável
- Consumo Sustentável





## Etanol e Biodiesel

Foi no século passado que começamos a perceber os impactos negativos da queima de combustíveis fósseis sobre os ecossistemas globais, com as alterações climáticas promovidas pelo aumento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera. Tão logo percebemos esses efeitos negativos da dependência dos combustíveis fósseis utilizados em nosso modelo de desenvolvimento econômico, já tivemos que buscar soluções para minimizar tais impactos; e foi nesse contexto que emergiram os biocombustíveis.

No Brasil, o etanol surgiu como um subproduto da fabricação do açúcar, na forma de cachaça. Foi com o tempo e com a criatividade peculiar dos brasileiros que seu potencial combustível foi descoberto e explorado, sobretudo após o desenvolvimento de motores adaptados para seu uso. Foram necessárias políticas públicas e trabalho conjunto de governantes, cientistas e do setor sucroenergético para que o etanol atingisse o grau de sucesso que tem hoje, sobretudo no Estado de São Paulo. A participação dos órgãos ambientais nesta tarefa foi fundamental para disciplinar a expansão do cultivo da cana-de-açúcar e o uso sustentável dos recursos naturais.

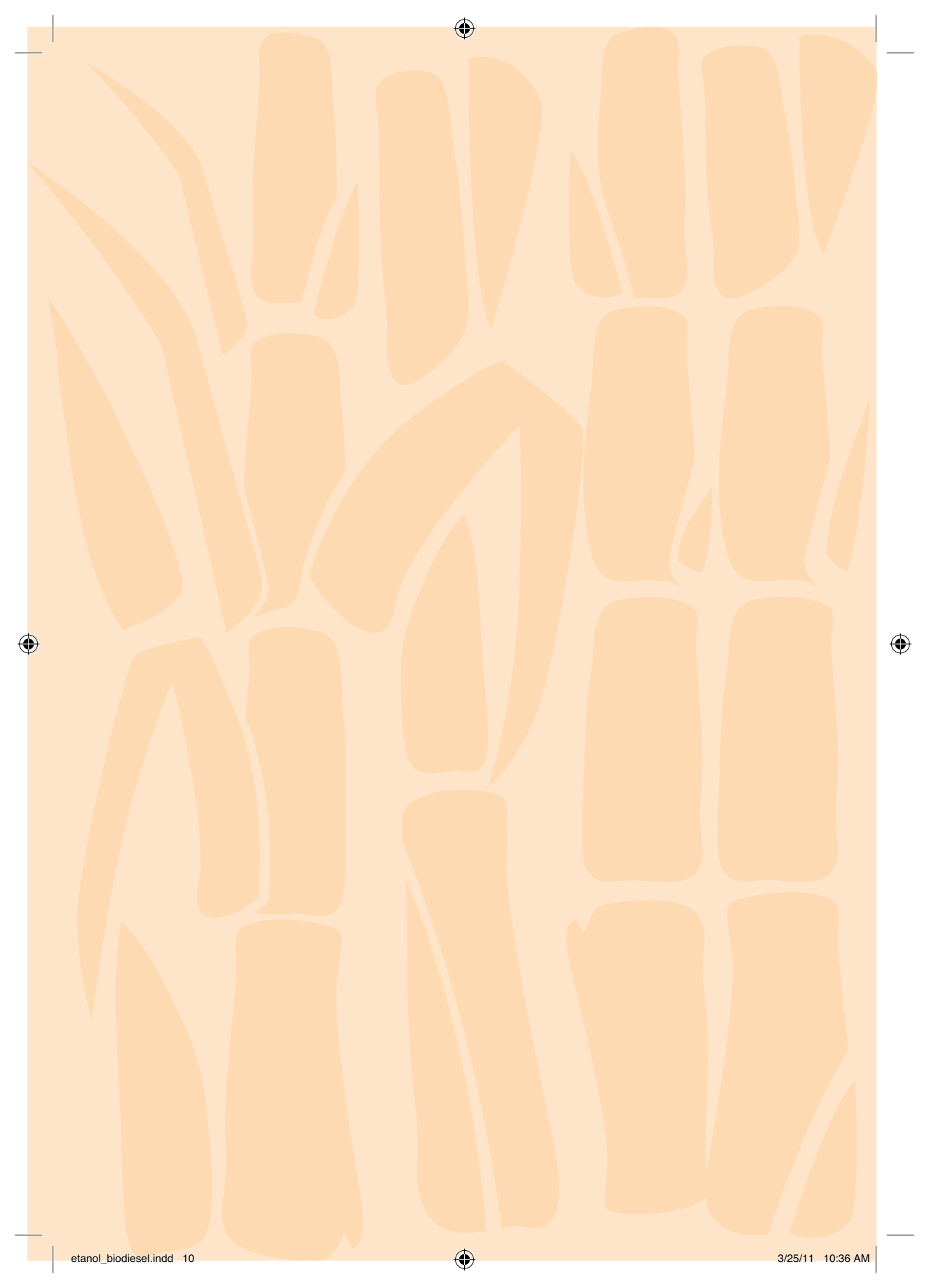
O uso de biomassa como fonte de energia, antes restrito principalmente aos fogões de lenha e autoforos de siderúrgicas, atingiu um novo patamar ao se começar a usar o bagaço e a palha da cana para geração de vapor e energia elétrica nas usinas de açúcar e álcool modernas. Com a modernização das caldeiras, muitas dessas usinas já estão exportando energia para a rede pública. O potencial de geração de energia elétrica, no Brasil, a partir do bagaço e da palha da cana-de-açúcar, é tão grande que equivale a algumas usinas hidrelétricas de Itaipu; e esse estoque de combustível é renovado anualmente.

Tudo isso contribui para aumentar a participação de energia renovável na matriz energética brasileira e para diminuir nossas emissões de gases de efeito estufa. Com metas para cumprir até 2020, temos lançado o desafio de reduzir nossas emissões e aumentar a eficiência ambiental dos nossos processos produtivos, sem deixar de desenvolver o país.

A necessidade de conhecer, transformar e buscar condições de vida mais confortáveis é inerente ao ser humano. É obrigação da sociedade moderna disciplinar essa necessidade, utilizando todo o conhecimento que acumulou, para sustentar seu próprio desenvolvimento.

**Bruno Covas**

Secretário de Estado do Meio Ambiente



## Cadernos de Educação Ambiental “Etanol e Biodiesel”

A temática “biocombustíveis” tem se tornado uma nova realidade no cotidiano de nossa sociedade. Cada vez mais consciente dos problemas ambientais, a população tem incorporado em sua vida diária questões como energia limpa, reciclagem e mudanças climáticas globais, enxergando os biocombustíveis como uma alternativa ao uso dos combustíveis fósseis.

Neste novo cenário, a Secretaria do Meio Ambiente desenvolveu ações para garantir a sustentabilidade do etanol em nosso Estado, cuja produção representa 60% do total nacional. Por meio do “Projeto Ambiental Estratégico Etanol Verde” desenvolveu-se o Protocolo Agroambiental e o Zoneamento Agroambiental, ferramentas de gestão e de suporte fundamentais para promover o desenvolvimento sustentável do setor, em São Paulo.

Para tornar isso possível, foi criado em suas estruturas organizacionais o Departamento de Desenvolvimento Sustentável, voltado exclusivamente para a sustentabilidade do setor agropecuário e florestal, que inclui a gestão da cana-de-açúcar. Aliando ações de parceria às ações de comando e controle já existentes, tornou-se possível o diálogo com o setor produtivo, com ganhos para todos.

O “Caderno de Educação Ambiental Etanol e Biodiesel” vem apresentar de forma clara e acessível os sistemas de produção desses biocombustíveis, enfocando aspectos históricos, agrícolas e industriais, até a polêmica competição de recursos para produção de alimentos. A influência positiva dos biocombustíveis nas mudanças climáticas globais também é detalhada, mostrando como é possível, mediante novas tecnologias e ação conjunta, promover o desenvolvimento de nosso Estado sem comprometer a qualidade de vida das gerações futuras.

**Helena Carrascosa von Glehn**

Coordenadoria de Biodiversidade e Recursos Naturais



# SUMÁRIO

## **Introdução • 16**

### **1. Uma Breve História da Energia • 19**

1.1. A Fotossíntese • 23

### **2. Biomassa e Produção Energética • 27**

### **3. A Cana-de-açúcar • 31**

3.1. Processamento da Cana • 36

3.2. Subprodutos da Fabricação de Açúcar e Etanol a Partir da Cana • 40

### **4. O Etanol • 43**

4.1. Histórico • 44

4.2. O Proálcool • 47

4.3. A Tecnologia dos Motores a Etanol e as Vantagens do Etanol Combustível • 48

4.3.1. Qualidade das emissões • 50

4.3.2. Motores flex • 50

4.4. Produção de etanol • 51

4.5. O Etanol e a Produção de Alimentos • 52

### **5. O Biodiesel • 57**

5.1. Histórico • 58

5.2. Processos de Fabricação • 60

5.3. Aspectos Ambientais, Sociais e Produção de Alimentos • 62

### **6. O Cenário Energético Global e os Biocombustíveis • 65**

### **7. Mudanças Climáticas e Seqüestro de Carbono • 71**

7.1. A Atmosfera • 72

7.2. Os Gases de Efeito Estufa e Seu Papel no Aquecimento Global • 73

7.3. Seqüestro de Carbono • 76

### **8. Políticas públicas e sustentabilidade • 79**

8.1. O Projeto Etanol Verde • 81

8.1.1. O Protocolo Agroambiental • 81

8.1.2. O Zoneamento Agroambiental • 83

8.2. Certificação • 86

### **9. Perspectivas para o Futuro • 89**

9.1. Inovações na Indústria de Transporte • 90

9.2. Inovações na agroindústria • 92

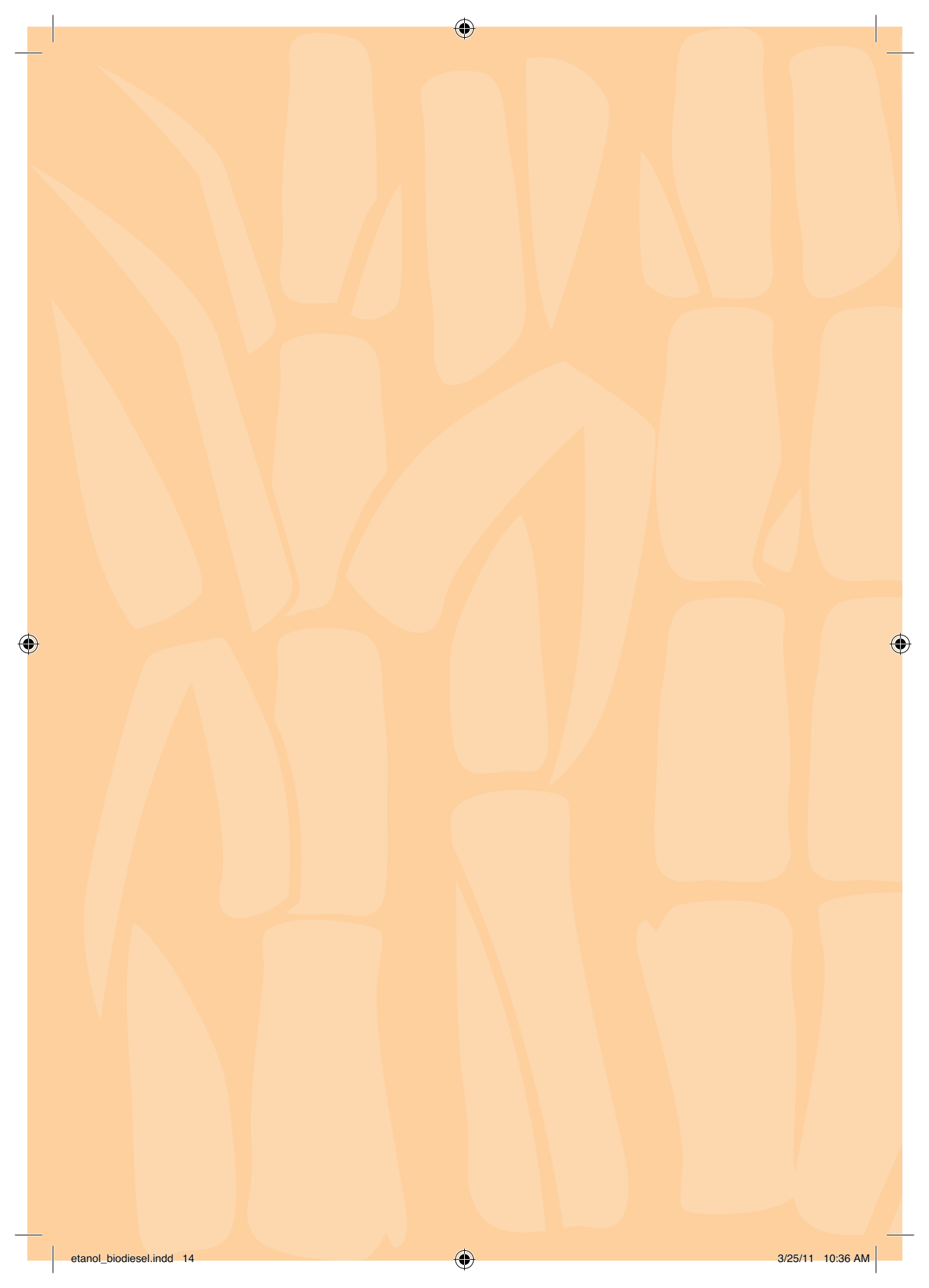
9.3. Capacitação de mão de obra e melhoria das condições de trabalho • 93

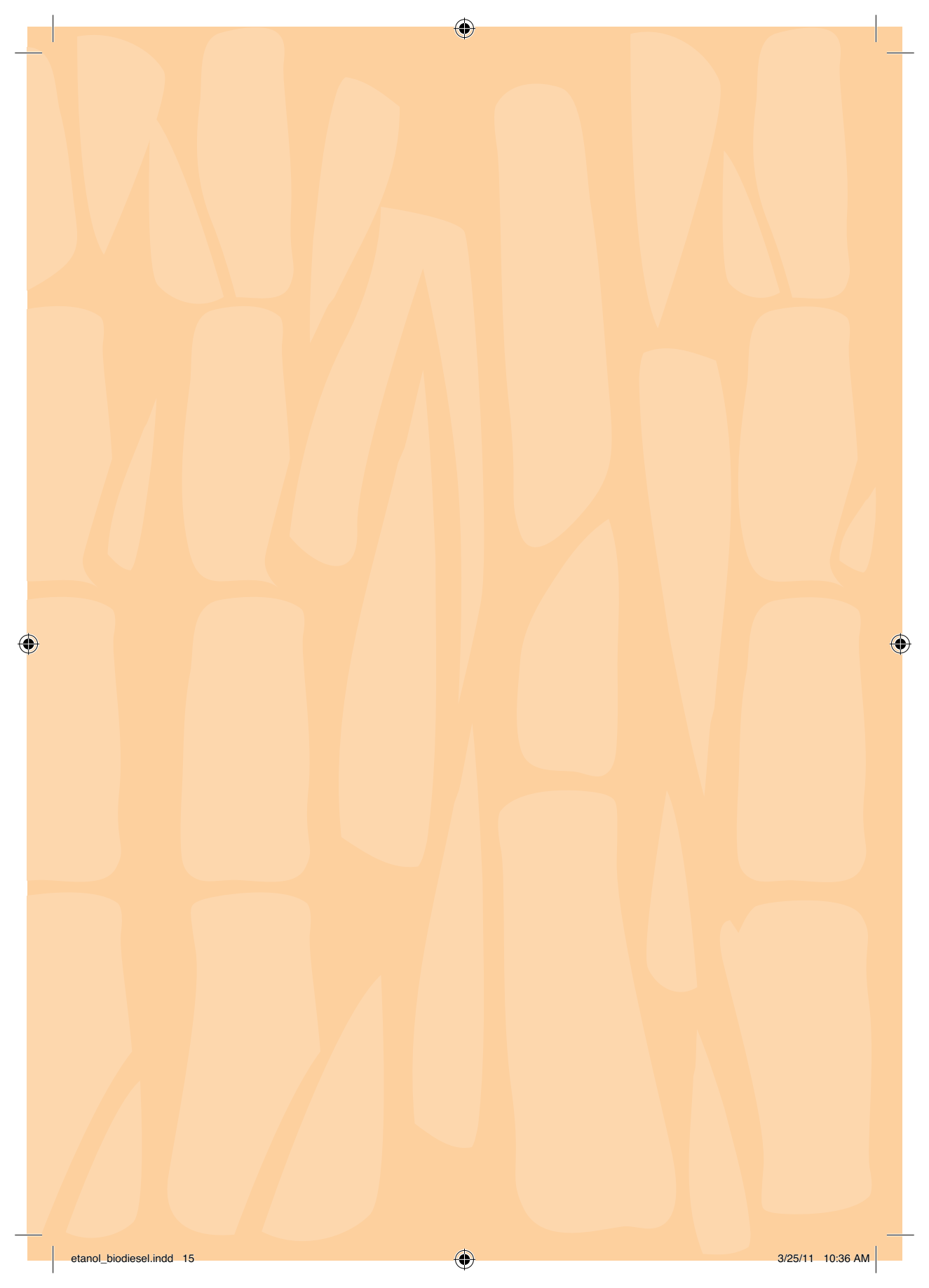
9.4. Parcerias e reconhecimento no mercado internacional • 94

## **Glossário • 96**

## **Bibliografia • 99**

## **Anexo • 104**







## Introdução

Somos personagens relativamente recentes na história da Terra. Contudo, no breve período em que estivemos em cena, provocamos alterações cuja complexidade está apenas perto de ser compreendida.

A mais importante característica que distingue o ser humano dos outros animais é a capacidade que temos de manipular energia de forma consciente e racional, e com isso promover mudanças sociais, ambientais e históricas.

Foi no século passado que começamos a perceber os impactos da queima de combustíveis fósseis sobre os ecossistemas globais, devido às alterações climáticas promovidas pelo aumento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera. Tão logo percebemos os efeitos da dependência de combustíveis fósseis de nossos modelos de desenvolvimento econômico, já tivemos que buscar soluções, e foi nesse contexto que emergiram os biocombustíveis.

No Brasil o etanol<sup>1</sup> surgiu como um subproduto da fabricação de açúcar, na forma de cachaça. Foi com o tempo e com a criatividade peculiar dos brasileiros que seu potencial combustível foi descoberto e explorado, sobretudo após o desenvolvimento de motores adaptados para seu uso. Foram necessárias políticas públicas e trabalho conjunto de governantes, cientistas e do setor sucroenergético para que o etanol atingisse o grau de sucesso que tem hoje, sobretudo no Estado de São Paulo. A participação dos órgãos ambientais nesta tarefa foi fundamental para disciplinar a expansão do cultivo da cana e o uso sustentável dos recursos naturais.

Da mesma forma que ocorreu com o etanol, a preocupação com o meio ambiente e com a escassez de combustíveis fósseis impulsionou a retomada das pesquisas mundiais com o biodiesel, visando em um primeiro momento substituir parcialmente o diesel fóssil, enquanto avança a tecnologia e se estuda a viabilidade técnica e econômica de substituí-lo totalmente.

O uso de biomassa como fonte de energia, antes restrito principalmente aos fogões a lenha e autofornos de siderúrgicas, atingiu um novo patamar ao se começar a usar o bagaço e a palha de cana para geração de vapor e energia elétrica nas usinas de açúcar e álcool modernas. Com a modernização das caldeiras, muitas dessas usinas já estão exportando energia para a rede pública. O potencial de geração de energia elétrica no Brasil a partir do bagaço e da palha da cana é tão grande que equivale a algumas usinas hidrelétricas de Itaipu, e esse estoque de combustível é renovado anualmente.

Tudo isso contribui para aumentar a participação de energia renovável na matriz energética brasileira e para diminuir nossas emissões de gases de efeito estufa. Com metas para cumprir até 2020, temos lançado o desafio de reduzir nossas emissões e aumentar a eficiência ambiental dos nossos processos produtivos, sem deixar de desenvolver o país.

A necessidade de conhecer, transformar e buscar condições de vida mais confortáveis é inerente ao ser humano. É obrigação da sociedade moderna disciplinar essa necessidade, utilizando todo o conhecimento que acumulou para sustentar seu próprio desenvolvimento.

<sup>1</sup> Etanol = bioetanol = álcool etílico. O termo bioetanol refere-se especificamente ao etanol produzido a partir da fermentação da biomassa, não havendo diferenças entre as propriedades químicas do etanol produzido a partir do carvão mineral e as do etanol da biomassa. O termo etanol será utilizado neste livro por sua maior aceitação na comunidade científica.





# Uma Breve História da Energia

1

## 1. Uma Breve História da Energia

Ao longo de sua evolução, o ser humano transformou as condições ambientais através da manipulação da energia. Os primeiros representantes do gênero *Homo* foram apenas mais um elo dos ciclos biogeoquímicos da Terra, consumidores de matéria e energia como outros quaisquer, até dominarem o fogo, há cerca de 600 mil anos.

As ações humanas ganharam nova magnitude com o controle do fogo: mais nutrientes puderam ser extraídos de alimentos mediante a cocção; a caça e as batalhas se tornaram mais elaboradas. O ser humano pôde se nutrir melhor, aprendeu a utilizar metais e criar ferramentas que, junto com o início da agricultura e da domesticação de animais, promoveram o ser humano a um agente ativo de transformação da Terra.

A evolução do uso de fontes energéticas acompanhou o aumento da complexidade das sociedades humanas, desde o carvão até a moderna tecnologia nuclear. Com a exceção desta última, praticamente toda a energia utilizada pelos seres humanos desde os primórdios de sua origem é proveniente do Sol (figura 1):

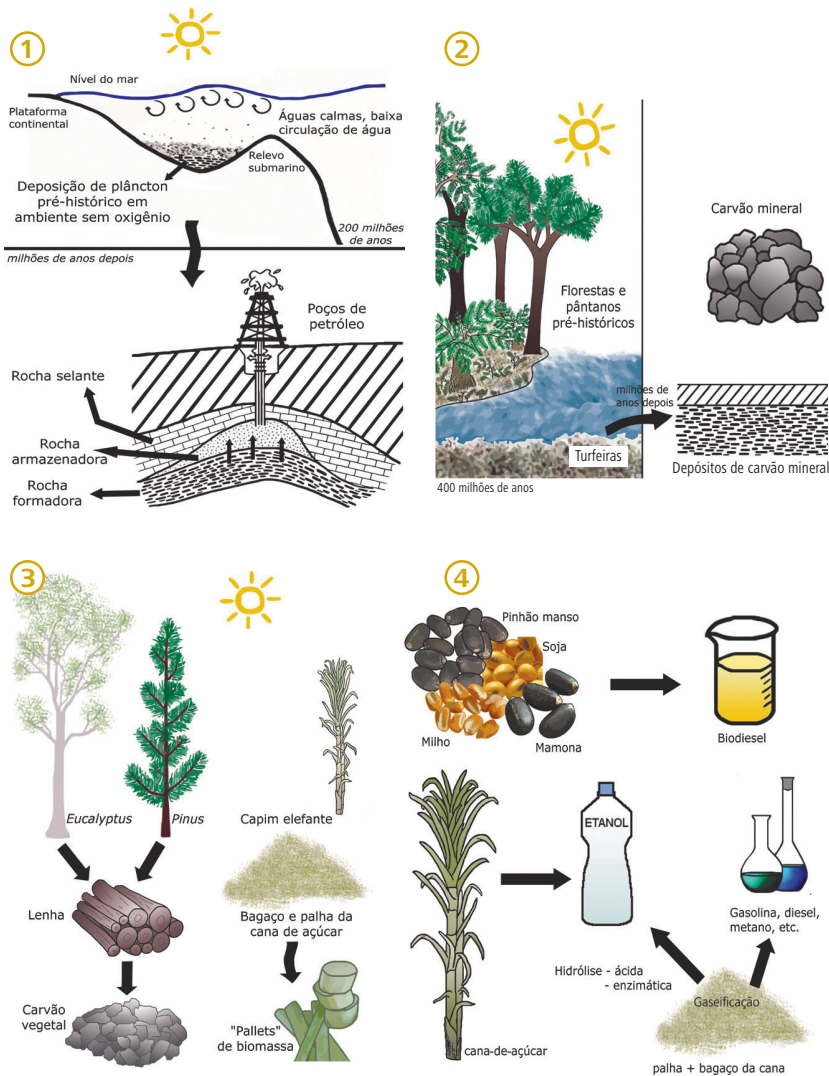
- A energia solar é transformada através da fotossíntese em energia química, que é transferida pela alimentação a todos os níveis das teias alimentares. Ao respirar, o ser humano transforma a energia química dos alimentos em energia térmica, que o mantém aquecido e torna possíveis suas funções metabólicas.

- Por meio da queima de lenha e carvão vegetal, a energia química acumulada durante o crescimento das árvores é transformada em energia térmica, usada para aquecimento ou geração de energia;

- No petróleo e gás natural, usados nos setores doméstico, industrial e de transporte, a energia química proveniente da fotossíntese do plâncton pré-histórico encontra-se concentrada na forma de hidrocarbonetos, gerados nos processos de formação do petróleo;

- Mesmo os ventos e as chuvas que alimentam os rios, fontes de energia

eólica e hidrelétrica, são dependentes da evaporação da água, da circulação oceânica e atmosférica, reguladas pelo Sol;



**Figura 1** - Síntese e transformação de bioenergia nas principais fontes usadas pela humanidade. Em 1 e 2 é ilustrada a síntese dos combustíveis fósseis, respectivamente o petróleo e o carvão mineral; já em 3 e 4, os biocombustíveis, representados respectivamente pela biomassa e pelo etanol e biodiesel. Desenhos de Juliana Roscito.

De forma simplificada, podemos classificar a energia em renovável e não renovável, de acordo com sua origem:

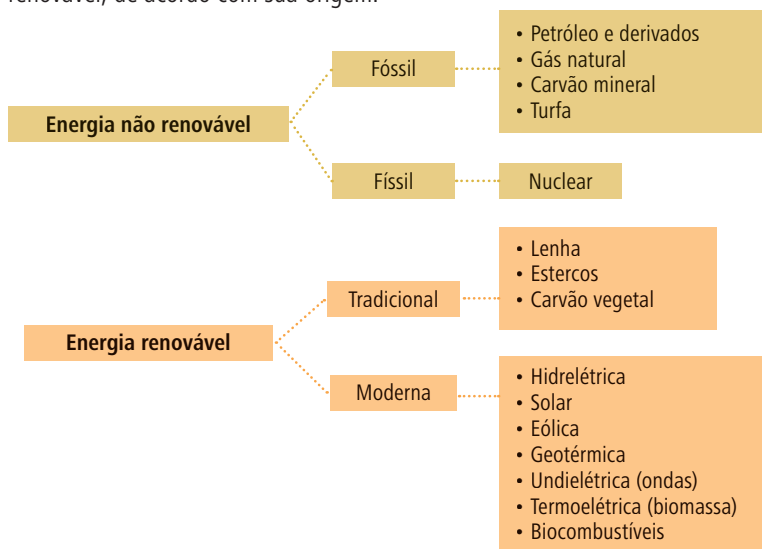


Figura 2 - Formas de energia e classificação de acordo com sua origem. Colaboração de Oswaldo Lucon.

O uso de combustíveis oriundos de fontes renováveis tem sido foco de governantes e pesquisadores, motivados pelo aumento nos preços do petróleo e pela demanda por combustíveis, enquanto diminuem novas fontes de combustíveis fósseis exploráveis e aumenta a percepção dos problemas ambientais causados pelo seu uso. Por essas razões, o tema bioenergia é cada vez mais discutido na sociedade.

**Bioenergia** é toda e qualquer forma de energia associada à energia química acumulada mediante processos fotossintéticos recentes, como a lenha e o carvão vegetais, o bioetanol e o biodiesel, o biogás resultante da decomposição de resíduos orgânicos e a bioeletricidade, proveniente da queima de biomassa (resíduos de serrarias, palha e bagaço de cana, dentre outros) em termelétricas.

## 1.1. A Fotossíntese

A fotossíntese é o processo fundamental de sustentação da vida na Terra. Sob a presença de luz solar, água e gás carbônico os cloroplastos das células vegetais dão início a uma cadeia de reações, terminando por sintetizar glicose e liberar oxigênio para a atmosfera.<sup>2</sup>

As plantas terrestres podem ser divididas em duas categorias principais, baseadas na maneira como assimilam o gás carbônico em seus sistemas: plantas C3 e plantas C4. As plantas C3 correspondem à maioria das árvores e a 95% das espécies de plantas terrestres, enquanto as plantas C4 correspondem às gramíneas e plantas como a cana-de-açúcar e milho (tabela 1).



Figura 3 - Plantas de ciclo fotossintético C4 e C3. Fotografias de Rodrigo Campanha.

Tabela 1 - Diferenças entre as plantas de ciclo fotossintético C3 e C4

PARÂMETRO	C3	C4
Temperatura ótima para fotossíntese (°C)	15-25	25-35
Produtividade média anual	~40 t/ha	60-80 t/ha
Aptidão climática	Temperado a tropical	Tropical
Taxa de crescimento (g.dm <sup>-2</sup> .dia <sup>-1</sup> )	1	4
δC13 médio	-28 ‰	-14 ‰
Exemplos	Arroz, trigo, soja, todas as frutíferas, oleaginosas e a maioria dos vegetais conhecidos.	Milho, cana-de-açúcar, sorgo e outras gramíneas tropicais.

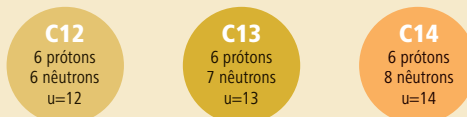
Fonte: Jansens, 2007

<sup>2</sup> De forma simplificada, a fotossíntese segue a equação  $6\text{H}_2\text{O} + 6\text{CO}_2 \xrightarrow{\text{luz Solar}} \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$ . São consumidos 0,6 kg de água (além da grande quantidade de água consumida no processo de crescimento e evapotranspiração) e 1,4 kg de CO<sub>2</sub> para a síntese de 1 kg de glicose e liberação de 1 kg de oxigênio para a atmosfera, com a fixação de cerca de 17,6 MJ (megajoules) de energia solar (BNDES,2008).



As plantas de ciclos fotossintéticos distintos possuem diferenças metabólicas e anatômicas. Além dessas características, o  $\delta C^{13}$  (delta C13) diferencia as plantas de ciclos C3 e C4 e seus subprodutos. Essa assinatura isotópica do carbono permite fazer inferências sobre a fonte de materiais, como o dióxido de carbono atualmente presente na atmosfera da Terra, como se verá nos próximos capítulos.

**A assinatura isotópica** do carbono foi instituída pelo geoquímico americano Harmon Craig em 1951 e é uma das técnicas mais precisas utilizadas na interpretação dos fenômenos biogeoquímicos.<sup>3</sup> Expressa em partes por mil (‰), leva em consideração a razão  $C^{13}/C^{12}$  em um dado material, em relação a um padrão de referência. O carbono existe no universo como três isótopos principais: o  $C^{12}$ , mais abundante; o  $C^{13}$ , que contém um nêutron a mais em seu núcleo e o  $C^{14}$ , o carbono radioativo usado na datação de alguns materiais fósseis, que possui dois nêutrons a mais em seu núcleo.



Esses isótopos de carbono existem em quantidades diferentes na Terra, e suas concentrações relativas variam de acordo com processos ambientais que fracionam as moléculas das quais eles fazem parte, por diferença de massa, velocidade de reação, alterações que eles conferem à mobilidade das moléculas durante mudanças de fase (sólido-líquido, gás-líquido). A esse processo de fracionamento natural são ainda adicionados os efeitos causados pelo metabolismo dos seres vivos, provocando alterações na assinatura isotópica de um material que permitem inferir sobre a sua identidade e sobre os processos envolvidos em sua gênese.

No caso dos vegetais, o ciclo fotossintético é o processo responsável pelo o fracionamento isotópico do carbono. Além dos processos físico-químicos envolvidos na fotossíntese, o fato de o primeiro produto estável da cadeia fotossintética conter 3 ou 4 carbonos influi diretamente no valor do  $\delta C^{13}$ . Assim, a assinatura isotópica do carbono das plantas C3 é de -28‰ e das plantas C4, -14 ‰.<sup>4</sup>

<sup>3</sup> MARCHESE et al, 2005

<sup>4</sup> CRAIG, 1953







# Biomassa e Produção Energética

# 2

## 2. Biomassa e Produção Energética

**B**iomassa é todo material vegetal ou animal recente, capaz de acumular em si matéria e energia e transferi-las para outros níveis tróficos, ao longo de seu ciclo de vida.

Essa energia química acumulada pode ser convertida em outros tipos de energia mediante processos físicos, químicos e biológicos, como sintetizado na figura abaixo:

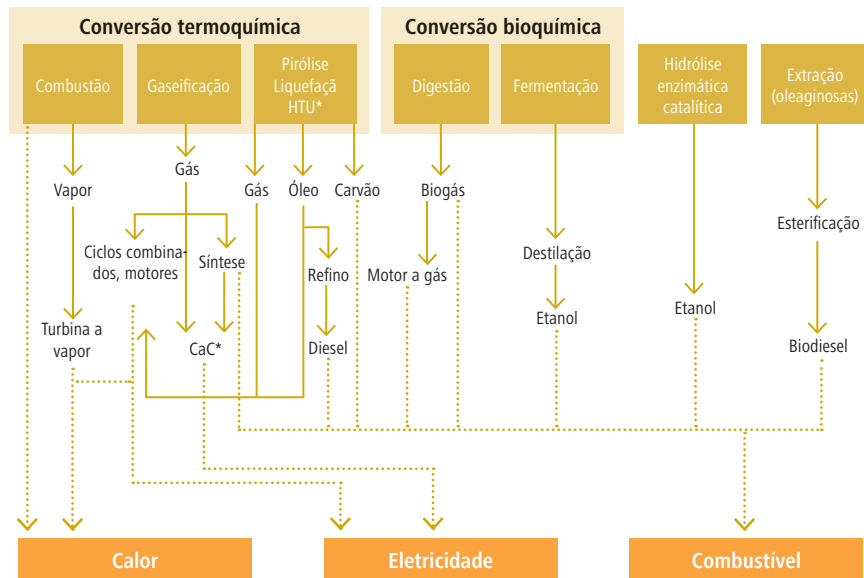


Figura 4 - Principais rotas de conversão da biomassa (adaptado de SEABRA, 2008).

A lenha é o combustível mais tradicionalmente usado pela humanidade. Estima-se que cerca de 5% da demanda mundial de energia sejam atendidos com a queima direta da madeira, sendo o Brasil um dos maiores produtores e o maior consumidor mundial de produtos de origem florestal. A lenha constitui o segundo produto de consumo energético doméstico no Brasil, ficando atrás apenas da eletricidade.<sup>5</sup>

**No Estado** de São Paulo, desde 2008, todos os setores consumidores diretos de madeira são obrigados a efetuar a reposição florestal, por meio de plantio próprio ou através de associações de reposição florestal, garantindo o fornecimento de madeira para consumo no futuro e diminuindo a pressão sobre as florestas nativas. Essas iniciativas fazem parte do Projeto Ambiental Estratégico São Paulo Amigo da Amazônia, da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo.<sup>6</sup>

O Brasil é um dos poucos países com capacidade de ampliar suas alternativas energéticas, por seu vasto território, abundância de recursos naturais e pelos avanços tecnológicos em silvicultura e agroenergia. Cerca de 5,2% da energia elétrica produzida no Brasil já é proveniente da combustão da biomassa, com o bagaço da cana respondendo por 76% desse total.

Com o avanço das tecnologias de conversão energética, a participação da biomassa na matriz energética nacional deve aumentar, para geração de energia elétrica, calor e vapor e para fabricação de etanol de segunda geração e hidrocarbonetos “verdes”, provenientes da manipulação do gás de síntese.

<sup>5</sup> EPE, Balanço Energético Nacional 2009

<sup>6</sup> Resolução SMA no 82, de 28 de Novembro de 2008. Saiba mais em <http://www.ambiente.sp.gov.br/madeiralegal>

\* HTU - hydrothermal upgrading process; CaC - célula a combustivel.





# A Cana-de-açúcar

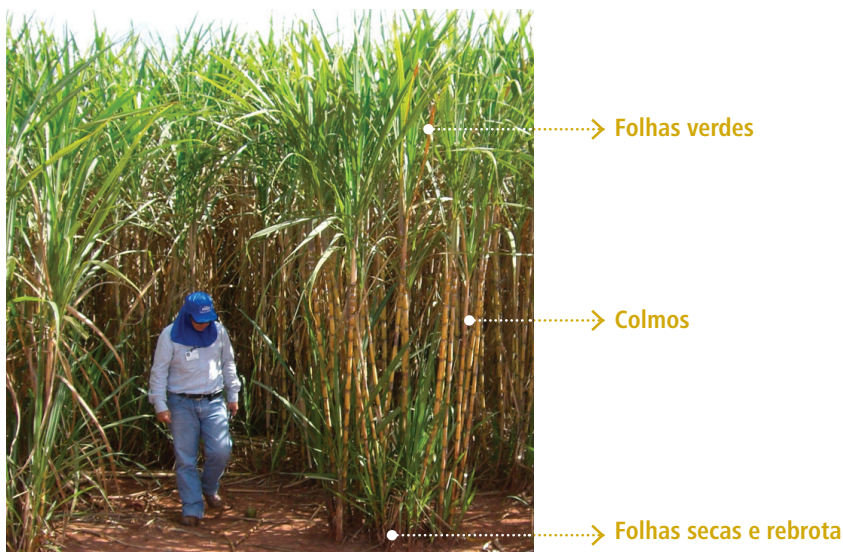
# 3



### 3. A Cana-de-açúcar

A cana é uma planta semi-perene da família das gramíneas, pertencente ao gênero *Saccharum*. Oriunda das regiões temperadas quentes e tropicais da Ásia, hoje é cultivada em vários países do mundo, como Índia, China, Tailândia, Paquistão, México, Estados Unidos, Colômbia, Cuba, Gana e outros países da África e do Caribe. Em determinadas regiões desses países, a cana encontra condições climáticas ideais para seu crescimento: uma estação quente e úmida, que propicia a germinação, o brotamento e o desenvolvimento da planta, e uma estação seca e fria, que promove a maturação dos colmos e o acúmulo de sacarose.

A parte da cana que fica sobre a terra é dividida em colmos (de onde se extrai o caldo da cana, já que neles está concentrada a sacarose) e pontas e folhas (que formam a palha da cana), como mostrado a seguir:



**Figura 5** - Estrutura e aspectos típicos da cana. À direita, nota-se o porte de uma linhagem moderna de cana, em comparação com um homem de estatura mediana. A expansão vertical da biomassa através do melhoramento genético foi um dos fatores responsáveis pelo aumento da produtividade agrícola da cana. Fotografia de Rodrigo Campanha.

Dependendo das características climáticas e de solo locais, das variedades e das práticas agrícolas adotadas, a cana possui um ciclo de vida médio. No Brasil esse ciclo é de 6 anos, dentro dos quais ocorrem cinco cortes, quatro tratos com soqueiras e uma reforma:

- Após cerca de 12 ou 18 meses do plantio das mudas/estacas de cana, é realizado o primeiro corte, da chamada “cana-planta”;
- Pela rebrota anual das soqueiras de cana, é colhida a chamada “cana-soca” por cerca de quatro anos, até que a diminuição natural da produtividade torne necessária a reforma do canavial;
- Na reforma, a área de plantio de cana é preparada para receber um novo plantio. Após ter as soqueiras removidas e ser deixada em descanso por alguns meses, a área geralmente recebe cultivos de ciclo curto, como leguminosas (feijões, mucuna, crotalária etc), que fixam nitrogênio no solo e melhoram suas características físico-químicas.

Para otimizar o cultivo de cana e o uso de maquinário e mão de obra, mantendo um padrão de produtividade, as áreas de produção são subdivididas em talhões em diferentes estágios do ciclo produtivo, de modo que cada talhão tenha, em média, um sexto da área total destinada à produção de cana.

Embora sejam usados agroquímicos na produção da cana-de-açúcar, a quantidade utilizada é menor do que a aplicada em outras culturas (**gráfico 1**), porque as variedades cultivadas no país são resistentes à maioria das doenças que atacam a cana, graças ao melhoramento genético e ao controle biológico das duas principais pragas que atacam os canaviais.



**Gráfico 1** - Uso de agroquímicos nas principais culturas do Brasil (kg agroquímicos/ha)

**O controle** biológico de pragas é comum nas lavouras de cana-de-açúcar: os parasitóides *Cotesia flavipes* e *Parathesia claripalpis* são usados para combater a broca-da-cana (*Diatraea saccharalis*), enquanto para combater a cigarrinha-da-raiz são utilizados o fungo *Metarrhizium anisoplia*, o parasitóide *Acmopolynema hervali* e o predador *Salpingogaster nigra*.

Como a colheita da cana ocorre no período mais seco do ano, quando a planta acumulou mais açúcar, existe variação da época de colheita entre os diferentes países/regiões produtoras. No Brasil, o ano açucareiro se inicia em setembro e vai até agosto do ano seguinte, e a colheita da cana é realizada nas seguintes épocas:

**Tabela 2 - Período de colheita da cana no Centro-Sul e no Nordeste do Brasil**

<b>Centro-Sul</b>	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
<b>Nordeste</b>	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez

No Estado de São Paulo, o período de colheita tem se estendido por vezes até fevereiro-março, com a introdução de variedades especiais e manejo direcionado da cana.

A colheita da cana pode ser realizada de duas formas: manualmente (precedida ou não de queimada) ou mecanicamente, através de maquinário especial em frentes de colheita que envolvem dezenas de trabalhadores (figura 6). A colheita manual envolve o uso intensivo de mão de obra e já foi alvo de críticas nacionais e internacionais pelo trabalho extenuante e pelas condições de trabalho precárias dos chamados “bóias-frias”, embora na atualidade as condições de trabalho estejam sensivelmente melhores. A atuação dos órgãos governamentais, a mobilização dos trabalhadores ru-

<sup>7</sup> Arrigoni & Almeida, 2005; Ricci Jr, 2005.

rais da cana e a sensibilização da sociedade civil foram fundamentais nesse processo, da mesma forma em que tem sido com a questão da queima da palha da cana.

**Existem**, no Brasil, 850.000 empregos diretos e indiretos associados à indústria da cana. Com a introdução da mecanização nos canaviais, parte dos empregos ocupados pelos cortadores de cana está sendo redirecionada para novas funções na agroindústria da cana, ou para outros setores da economia, através de parcerias entre o setor produtivo, os sindicatos de classe e o Governo.



**Figura 6** - Colheita da cana. Da esquerda para a direita e de cima para baixo: cana queimada e cortada manualmente, aguardando recolhimento; colheitadeira mecânica e grupo de trabalhadores de frente de colheita mecânica; colheitadeira e caminhão de transbordo e frente de colheita mecânica. Fotografias de Rodrigo Campanha

**No Estado** de São Paulo, diversos dispositivos legais foram implementados para disciplinar a questão da prática de queimada no setor agrícola, em especial nas lavouras de cana, nas quais o fogo é utilizado como método despalhador e facilitador do corte<sup>8</sup>. Nas áreas mecanizáveis, a prática de queima da cana deverá cessar totalmente até 2021, enquanto que para as áreas não mecanizáveis (com declividade superior a 12%) esse prazo terminará em 2031, quando se espera que a tecnologia de manejo agrícola tenha tornado possível o manejo sem queima da cana nessas áreas. Para as usinas e fornecedores de cana aderentes ao Protocolo Agroambiental, estes prazos são antecipados para 2014 e 2017, respectivamente. Em São Paulo, o percentual de área de cana colhida crua já é de 56%.

Após ser colhida, a cana é rapidamente transportada para as usinas, evitando assim perda de peso e de sacarose. O principal meio de transporte da cana é o caminhão que, em suas diversas variações, carrega entre 15 e 60 toneladas de cana por viagem. A otimização da logística de transporte da cana permite diminuir as emissões devidas à queima de diesel pelos caminhões e o efeito de compactação dos solos, além de melhorar a eficiência do processo produtivo.

### 3.1. Processamento da Cana

Ao chegar à usina, a cana-de-açúcar é esmagada, gerando o caldo de cana ou garapa (**Figura 7**). Após recolher o caldo de cana, ele é acrescido de melaço de processos anteriores formando o mosto, que é então adicionado de uma mistura conhecida como “pé-de-cuba” (levedura recuperada e tratada para diminuição do pH e do teor alcoólico). A fermentação do mosto ocorre em tanques denominados dornas de fermentação, pelo pro-

cesso *Melle-Boinot*<sup>9</sup>, que envolve a recuperação das leveduras e seu reuso no processo, após tratamento.

Após um período de 4-12 horas, a fermentação termina gerando um produto final de teor alcoólico entre 7-10%, que é então centrifugado para separação e recuperação da levedura e segue para a destilação, de onde se obtém o álcool hidratado.

**Na etapa** de destilação, o álcool, água (89-93%) e os demais componentes (glicerina, outros alcoóis, furfural, aldeído acético, ácidos succínico e acético, bagacilho, leveduras, bactérias, açúcares mais complexos, sais minerais, albuminóides, CO<sub>2</sub> e SO<sub>2</sub>) são separados de acordo com seus respectivos pontos de ebulição, em três etapas seqüenciais. Na destilação propriamente dita, o álcool é separado do vinho fermentado em duas fases: a flegma (vapores com 40 a 50° GL) e a vinhaça (com menos de 0,03° GL). No processo de retificação a flegma é concentrada até obter um grau alcoólico de 96° GL em sua saída e retirar impurezas como alcoóis homólogos superiores, aldeídos, ésteres, aminas, ácidos e bases. Separa-se ainda o óleo fúsel, composto rico em álcool amílico e isoamílico, usados com aditivos na indústria química.

Finalmente, parte do álcool então produzido passa pelo processo de desidratação com monoetilenoglicol, que reduz a volatilidade da água e permite a evaporação do etanol, que segue separado. Tem-se então um produto com 99,9° GL, o álcool anidro.

<sup>8</sup> Lei Estadual nº 10.547, de maio de 2000, que define procedimentos, proibições e estabeleceu regras de execução e medidas de precaução a serem obedecidas quando do emprego do fogo em práticas agrícolas e Lei Estadual nº 11.241, de 19 de setembro de 2002, que dispõe sobre a eliminação gradativa da queima da palha da cana-de-açúcar.

<sup>9</sup> O processo fermentativo segue a reação de Gay-Lussac:





**Figura 7** - Processamento da cana para fabricação de etanol. Na seqüência indicada: transporte da cana moída pela colheitadeira até a usina, seguida de lavagem em esteira. A cana moída é então prensada e separada em bagaço e caldo. O mosto segue para as dornas de fermentação e, posteriormente, o líquido fermentado é purificado na torre de destilação, e em seguida retificado. Como resíduos restam o bagaço e a palha (no canto inferior esquerdo), que são queimados nas caldeiras para geração de vapor e bioeletricidade, e a vinhaça, que pode ser acumulada em lagoas impermeabilizadas e usada para fertirrigação do canavial. Fotografias de Rodrigo Campanha.

Cerca de 140 kg de açúcar ou 86 L de etanol podem ser obtidos de uma tonelada de cana. A figura 8 resume o sistema paralelo de fabricação de açúcar e etanol a partir da cana:

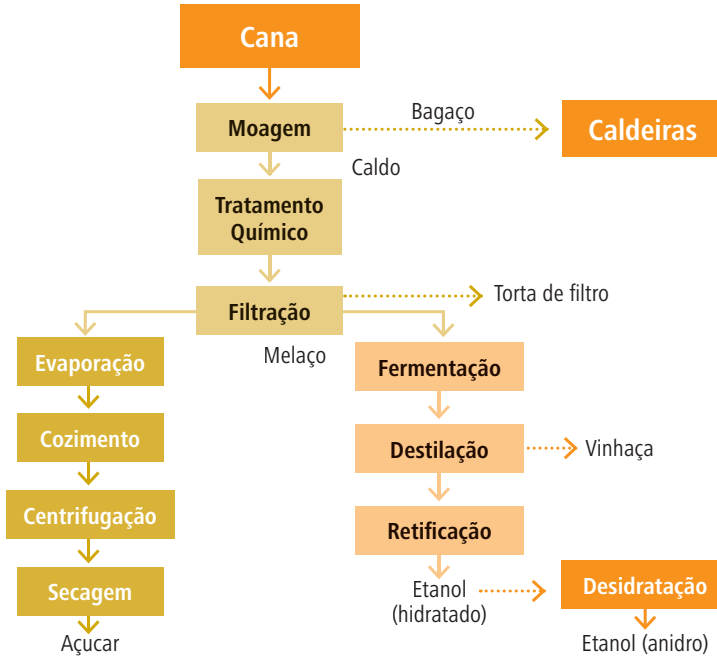


Figura 8 - Fluxograma da produção de açúcar e etanol de cana (adaptado de SEABRA, 2008)

O etanol pode também ser fabricado a partir de outras culturas, com menor rendimento por hectare plantado e com maiores impactos ambientais, como ocorre em outros países.

Tabela 3 - Rendimento da produção de etanol por cultura:

Ciclo Fotossintético	Cultura	L etanol/ha	Observações
C3	Beterraba (Europa)	Até 7500 L/ha	Dependência de energia externa para processamento (DEEP)
	Mandioca	Até 3060 L/ha	Resultados não satisfatórios durante o Proálcool.
	Trigo	Até 1800 L/ha	Importante fonte de alimento; DEEP.
C4	Cana (Brasil)	6800 L/ha	Usinas auto suficientes em energia, melhor rendimento produtivo.
	Milho (EUA)	4198 L/ha	Cerca de 80% da produção é destinada à alimentação humana e animal; DEEP.
	Sorgo	Até 2500 L/ha	Possibilidade de ser utilizado em consórcio com a cana, ainda com poucos resultados; baixa adaptabilidade e resistência.



### 3.2. Subprodutos da Fabricação de Açúcar e Etanol a Partir da Cana

Uma série de produtos é gerada paralelamente aos processos tradicionais de fabricação do açúcar e etanol, com finalidades diversas. Além do bagaço, utilizado para alimentação bovina e como combustível para as caldeiras, destacam-se:

- Levedura, usada na fabricação de pão e suplementos alimentares;
- Melado de cana, composto de açúcares mais complexos e rico em ferro, utilizado na alimentação humana;
- Aditivos para a indústria alimentícia, como glutamato monossódico e aromatizantes;
- Aminoácidos;
- Aditivos e ingredientes para ração animal;
- Óleo fúsel, composto por pentanol, álcool amílico e iso-amílico, utilizados na indústria química.
- Papel, produzido por uma tecnologia inovadora que reaproveita a celulose contida no bagaço da cana e em aparas de papel.

Com o avanço da tecnologia no setor sucroenergético e com a fabricação de etanol por outros processos, novos produtos entrarão neste rol.





A large, stylized graphic of corn leaves in shades of light beige and cream, filling the background of the page. The leaves are layered and curved, creating a sense of movement and depth.

0 Etanol

4

## 4. O Etanol

### 4.1. Histórico

Ao longo da história da humanidade, o álcool teve múltiplas funções, atuando como princípio psicoativo em bebidas cerimoniais, veículo de remédios e perfumes, desinfetante e, finalmente, biocombustível.

A ingestão de álcool pelos seres humanos por muito tempo ocorreu através do consumo de frutos e grãos fermentados. No entanto, foi com o início da agricultura e com a organização da sociedade em classes que o álcool passou a ser produzido e utilizado de forma mais sistemática, em festas religiosas e tribais, nas quais a euforia provocada pelas bebidas fermentadas era importante para manter a coesão do grupo. Os registros gráficos mais antigos de consumo de cerveja datam dos Sumérios, há cerca de 6.500 anos, mesma época em que o pão começou a fazer parte da alimentação humana. No entanto, existem indícios arqueológicos indiretos (grandes vasos e almofarizes) que sugerem que o ser humano dominou a técnica de fermentação para produção de bebidas alcoólicas há pelo menos 10.000 anos.<sup>10</sup>

No Brasil, a fabricação de etanol está intimamente relacionada à produção de açúcar. Martim Afonso iniciou o cultivo da cana no Brasil em 1532, com o propósito de implantar engenhos de açúcar similares aos então existentes nos Açores.

Com a excelente adaptação da cana ao clima e solo brasileiros, floresceu a monocultura da cana, praticada em grandes propriedades agrícolas. Dezenas de engenhos funcionaram ao longo da costa brasileira, sobretudo no Recôncavo Baiano e em Pernambuco, alimentados por lenha da mata atlântica, que cobria todo nosso litoral. O período áureo da produção açucareira se estendeu até o século XVII, quando houve a expansão da agroindústria açucareira nas Antilhas e em Cuba após a expulsão dos holandeses do Nordeste brasileiro, resultando na queda da participação brasileira no mercado internacional.

<sup>10</sup> Cayman, 2009

Já nos primeiros anos de cultivo da cana no Brasil, os escravos dos engenhos perceberam que ocasionalmente, o caldo fervido da cana, que seria processado até ser transformado em rapadura, fermentava. Como eles tinham que se alimentar dos restos de alimentos dos engenhos, perceberam os efeitos psicoativos do caldo que chamavam de “cagaça”, e passaram a aproveitá-la para suportar a carga de trabalho extenuante a que eram forçados. Após notarem o potencial inebriante da bebida, os senhores de engenho decidiram investir em seu aprimoramento; processos de filtração e destilação purificaram a bebida que ficou conhecida como cachaça, e após altos e baixos, ela se consolidou como uma bebida 100% nacional.

A agroindústria canvieira intensificou sua expansão no Sudeste do Brasil após o declínio do ciclo do café, na década de 1930. Motivado pela infestação dos canaviais paulistas pela praga do mosaico, o Governo de São Paulo decidiu importar uma variedade de cana javanesa resistente à praga, ao mesmo tempo em que avançavam as pesquisas sobre cana por entidades como a Coopersucar, a Estação Experimental da Cana, o Instituto Agrônomo de Campinas e o Programa Nacional de Melhoramento da Cana-de-açúcar. Esses fatos, potencializados pela existência dos férteis solos vermelhos do interior de São Paulo, aumentaram a produtividade agrícola da cana.



**Figura 9** - Canavial sobre solo de terra roxa, um dos mais férteis do mundo.

A fabricação de etanol para fins de combustão partiu do mesmo princípio fermentativo da cachaça, impulsionada pela necessidade de desenvolver um combustível alternativo cujo processo de fabricação tornasse possível o equilíbrio da oferta interna e do preço do açúcar. Esse processo foi estimulado pelo governo de Getúlio Vargas, que em 1932 ofereceu um prêmio em dinheiro à destilaria mais produtiva, e tornou obrigatória a adição de 5% de álcool à gasolina importada. Na mesma época foram criadas a Comissão de Estudos do Álcool Motor (CEAM), para avaliar a viabilidade do álcool como combustível e aditivo para a gasolina, e a Comissão de Defesa da Produção de Açúcar (CDPA), para elaborar estatísticas e projeções de produção e sugerir medidas para a manutenção do equilíbrio do mercado de açúcar. Dois anos depois essas comissões se fundiram em um único órgão, o Instituto do Açúcar e Álcool (IAA).

A criação do IAA, em 1933, foi reflexo do esforço do governo brasileiro em proteger a economia brasileira das flutuações do mercado exterior, como ocorreu durante a quebra da Bolsa de Nova York em 1929. Através do estabelecimento de um sistema de cotas de produção para as unidades produtoras de açúcar e álcool bastante rigoroso, buscou-se fixar uma oferta de produtos para o mercado que manteve o preço dos produtos relativamente estáveis. Isso provocou a concentração do processamento da cana em grandes usinas e o agrupamento de empresas do setor, buscando maior rendimento das lavouras e barateamento dos custos, além da modernização dos processos produtivos. Na década de 1990, houve o desmonte do IAA e conseqüentemente, o governo deixou de definir o preço da cana, do açúcar e do álcool, lançando o setor sucroalcooleiro em uma fase de modernização, marcada por autonomia nos processos produtivos, dinamismo, responsabilidade social e ambiental, reflexos dos avanços na profissionalização dos dirigentes e colaboradores, da negociação de contratos de longo prazo com o mercado interno e externo e da demanda mundial por combustíveis renováveis.

## 4.2. O Proálcool

O Programa Nacional do Álcool - Proálcool foi criado pelo Decreto-Lei nº 76.593 de 14 de novembro de 1975, como uma iniciativa governamental para fazer frente aos sucessivos aumentos do preço do petróleo no mercado internacional, após a primeira crise mundial do petróleo, em 1973. O programa teve como objetivo garantir o suprimento de etanol no processo de substituição da gasolina, por meio da expansão da oferta de matéria-prima, com especial ênfase no aumento da produção agrícola e no desenvolvimento tecnológico da indústria sucroalcooleira.

Até 1979 o foco do programa foi a produção de etanol anidro para ser adicionado à gasolina; num segundo momento, objetivou-se a produção de etanol hidratado e o desenvolvimento de motores adaptados para o uso deste combustível.

Segundo dados da Agência Nacional do Petróleo (ANP), entre 1983 e 1988, mais de 90% dos automóveis vendidos no País eram movidos a etanol. Em resposta à baixa dos preços do petróleo no mercado internacional no final da década de 1980, a produção de etanol hidratado declinou, de modo que no final dos anos 1990, somente cerca de 1% dos automóveis vendidos eram movidos a álcool. Ainda assim, o etanol manteve sua significativa participação na matriz energética brasileira, propiciada principalmente pela adição de etanol anidro à gasolina e pelo crescimento da frota de automóveis flex. Embora tenha variado em proporção ao longo do tempo, desde julho de 2007, o etanol é adicionado na proporção de 25% em toda gasolina vendida no Brasil, de modo que o consumo deste biocombustível ultrapassou o da gasolina.<sup>11</sup>

**Para combater fraudes** - tais como a adição de água ao etanol anidro para ser vendido como hidratado (mistura conhecida como “álcool molhado”) - a ANP estabeleceu, por meio da Resolução nº 36/2005, a obrigatoriedade de adição de corante de cor laranja ao etanol anidro. Como o etanol hidratado é incolor, o corante denuncia se houver presença de água no combustível.

<sup>11</sup> Portaria nº 143 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, de 27 de junho de 2007.



Além da determinação política para criar infra-estrutura de biocombustíveis, outros fatores podem ser mencionados para o sucesso do etanol no Brasil:

- Apoio das empresas de distribuição de combustíveis, e da Petrobras que durante anos se responsabilizou pela aquisição, mistura e distribuição do etanol hidratado ou em mistura com a gasolina;
- Ampla cobertura geográfica do mercado produtor e consumidor;
- Existência de ampla malha de abastecimento: todos os 35.000 postos de combustíveis cadastrados no Brasil comercializam o etanol.

### 4.3. A Tecnologia dos Motores a Etanol e as Vantagens do Etanol Combustível

Os motores de ciclo Otto, como os movidos à gasolina e/ou a etanol, funcionam com ignição por centelha. Os motores a etanol, em particular, funcionam com um sistema auxiliar de partida a frio. Para se chegar aos motores ideais, foram necessários muitos anos de pesquisa, além de muita determinação e criatividade, atributos comuns ao povo brasileiro.

Os primeiros motores a etanol foram desenvolvidos no Brasil nos anos 1970 pelo engenheiro brasileiro Urbano Ernesto Stumpf, professor e pesquisador da Universidade de São Paulo, da Universidade de Brasília e do Instituto Tecnológico de Aeronáutica. Suas pesquisas foram iniciadas em 1951, mas só ganharam a devida atenção em 1973, com a primeira crise do petróleo, quando foi encarregado de realizar estudos técnicos sobre o etanol na Divisão de Motores do Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento, do Centro Técnico Aeroespacial (CTA) de São José dos Campos. Lá Stumpf realizou experiências com diversos tipos de motores até 1976, adaptando-os para o uso do etanol. Seus resultados, apresentados ao Presidente Ernesto Geisel em 1975, foram decisivos para a criação do Proálcool. O primeiro automóvel brasileiro com motor movido a etanol foi o Fiat 147, lançado em julho de 1979, alguns meses após os primeiros postos de combustível terem começado a receber o etanol.



**Figura 10** - Urbano Ernesto Stumpf, o inventor dos motores a etanol. Fotografia gentilmente cedida pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica e Associação dos Engenheiros do ITA. Todos os direitos reservados.



**Figura 11** - Fiat 147, o primeiro carro movido a etanol produzido em série. Fotografia gentilmente cedida pela Fiat Automóveis S.A. Todos os direitos reservados.

Em relação ao consumo de combustível, por ter um menor poder calorífico o etanol ainda tem maior consumo que a gasolina por quilômetro rodado. No entanto, com a evolução da engenharia de motores, estima-se que em médio prazo, alterações nos motores a etanol hidratado poderão propiciar maior rendimento do combustível, podendo até superar os valores obtidos em motores a gasolina pura.

### 4.3.1. Qualidade das emissões

Embora o etanol tenha menor poder calorífico que a gasolina, suas características físico-químicas propiciam uma combustão mais limpa e um melhor desempenho dos motores, contribuindo assim para melhorar a qualidade das emissões, pela menor temperatura na admissão e pelo maior volume dos produtos de combustão. A principal vantagem do etanol combustível é possuir maior octanagem que a gasolina, ou seja, maior resistência à auto-ignição e à detonação. Sendo adicionado a ela, substitui aditivos prejudiciais à saúde como o MTBE (Metil Terc-butil Éter) e o chumbo tetraetila, ainda empregados em alguns países para aumentar a octanagem da gasolina.

A combustão do etanol não gera óxidos de enxofre, já que o etanol é composto apenas por carbono, hidrogênio e oxigênio; as emissões de monóxido de carbono, hidrocarbonetos e, dependendo das características do motor, de óxidos de nitrogênio também são menores que as resultantes da combustão da gasolina. Embora gere mais aldeídos que a gasolina, com o uso dos catalisadores, utilizados no Brasil a partir de 1997, a emissão média de aldeídos nos veículos novos brasileiros é metade do valor máximo fixado em lei<sup>12</sup>. Comparado ao óleo diesel, o etanol também produz menores quantidades de aldeídos.

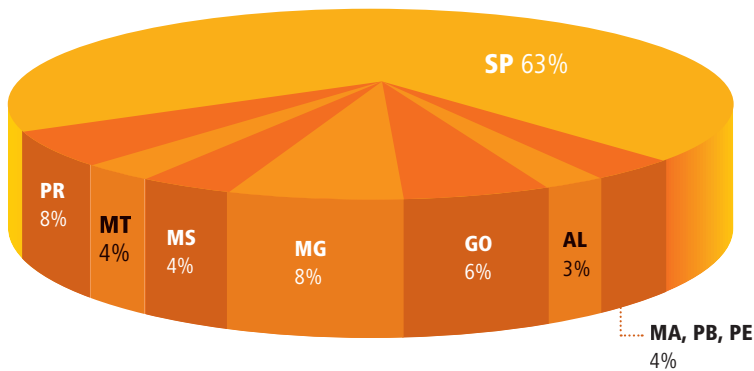
### 4.3.2. Motores flex

Adaptando-se às tendências e oscilações do mercado de energia, desde 2003 as montadoras de automóveis no Brasil disponibilizaram uma grande frota de veículos com a tecnologia *flex-fuel*, que permite rodar com gasolina+etanol anidro, etanol hidratado ou quaisquer proporções entre os dois combustíveis. Esses veículos corresponderam à maioria dos veículos vendidos no Brasil desde 2005, representando liberdade de escolha de combustível e economia para o consumidor brasileiro.

## 4.4. Produção de etanol

O Brasil produziu 27,5 bilhões de litros de etanol (anidro + hidratado) em 2008, cerca de 42% de todo o etanol (inclusive o de milho) produzidos no mundo. A maioria do etanol que produzimos é consumida no mercado interno (cerca de 80%), e esse consumo vem aumentando: em 2008, o consumo de etanol foi 28% maior que no ano anterior.

Os maiores Estados produtores de etanol no Brasil são São Paulo, Paraná, Minas Gerais e Goiás, seguidos por Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Alagoas, fazendo com que o Centro-Sul do Brasil responda por mais de 90% da produção nacional de etanol.



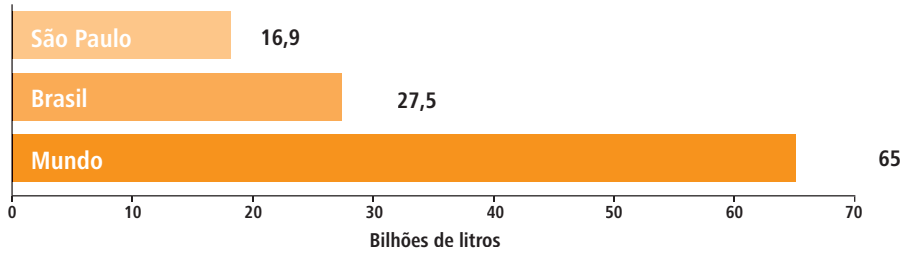
**Gráfico 2** - Produção de etanol pelos maiores Estados produtores, nas safras 08/09, quando a produção brasileira total de etanol foi de 27,5 bilhões de litros.

**Para manter-se** atualizado sobre os números da cana-de-açúcar e da sustentabilidade do etanol, visite o web site do Projeto Ambiental Estratégico Etanol Verde:

<http://homologa.ambiente.sp.gov.br/etanolverde/default.asp>

12 BNDES, 2008.

A produção de etanol no Estado de São Paulo no mesmo ano foi de 16,9 bilhões de litros. São Paulo tem respondido em média, por 60% do etanol produzido no Brasil, e por mais de 25% da produção mundial de etanol de cana.<sup>13</sup>



**Gráfico 3** - Produção de etanol total em São Paulo e no Brasil (de cana) e no mundo (cana+milho+beterraba), na safra 08/09.<sup>14</sup>

#### 4.5. O Etanol e a Produção de Alimentos

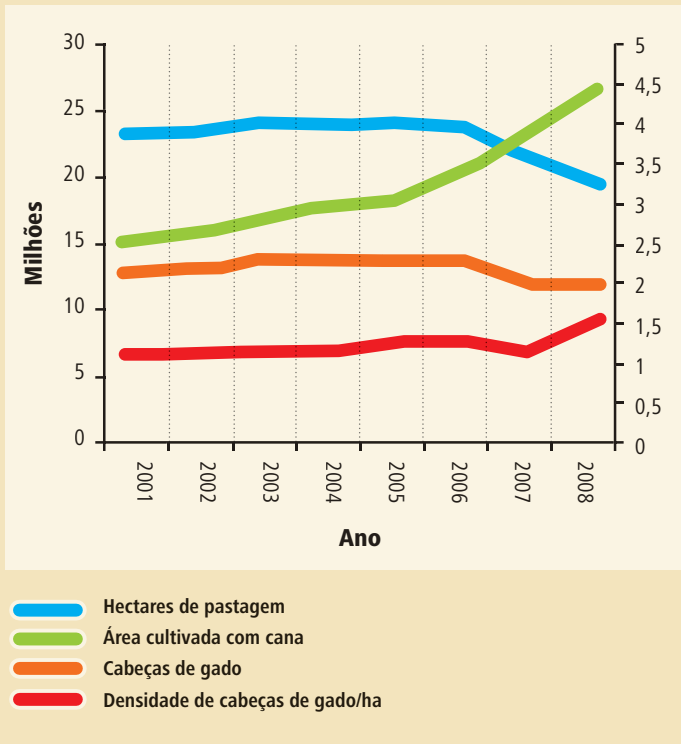
A idéia difundida no exterior de que a produção de biocombustíveis no Brasil é responsável pela crise mundial na produção de alimentos não procede, pois não considera o impacto do aumento do preço dos combustíveis fósseis no preço dos alimentos (custos do transporte, da fabricação e da matéria-prima de agroquímicos derivados do petróleo), nem a realidade da produção agrícola brasileira. Mesmo com o avanço da cana sobre outras áreas de cultivo, a produção de alimentos no Brasil dobrou na última década, devido à maior eficiência de produção agrícola.

O Brasil cultiva uma área de cana em torno de 7 milhões de hectares, com crescente aumento da produtividade (em torno de 4% ao ano). Para produzir etanol, usamos metade dessa área (cerca de 1% das terras aráveis do Brasil, figura 12), gerando uma quantidade de etanol que equivale, em termos energéticos, à metade da demanda do país por gasolina. São Paulo tem 27% de sua área agrícola cultivada com cana, respondendo pela geração de 61% do etanol brasileiro, e ainda assim produz alimentos e protege suas florestas.

<sup>13</sup> MAPA, 2009

<sup>14</sup> Unica, FAO, MAPA

**No Estado de São Paulo**, a partir de 2001, verificou-se uma diminuição da área de pastagens com um aumento da densidade de cabeças de gado por hectare, ao passo em que a área de cultivo de cana aumentou. Esse efeito foi perceptível sobretudo após 2006, como resposta de mercado ao despertar do mundo para a questão dos biocombustíveis e das mudanças climáticas. Nesse mesmo período, houve o IPCC (2007), a visita do então presidente dos Estados Unidos George Bush ao Brasil, o Zoneamento Agroecológico para o Setor Sucroalcooleiro do Estado de São Paulo, a instituição dos Projetos Estratégicos Mata Ciliar e Etanol Verde e o aumento da oferta de carros com motores *flex*.

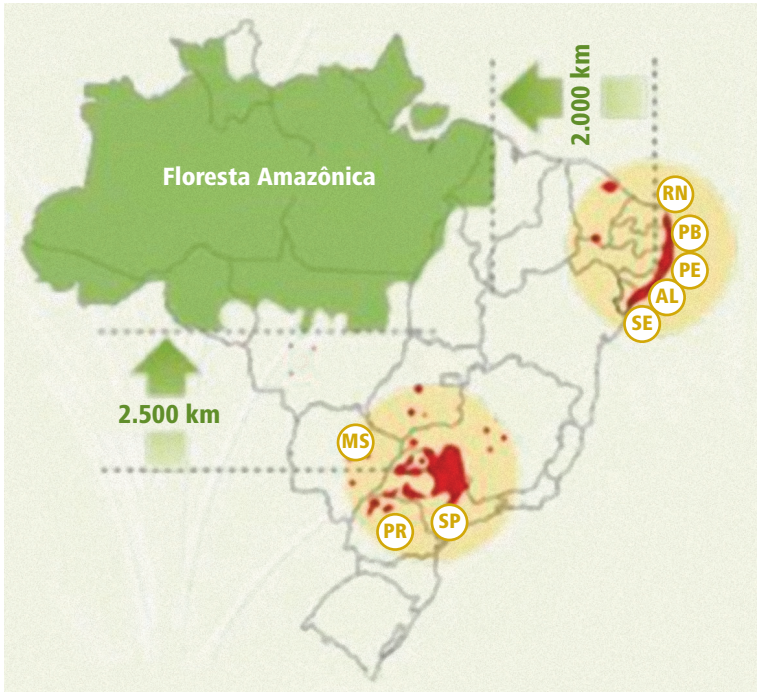


**Gráfico 4** - Evolução da pecuária no Estado de São Paulo, com o aumento da concentração de cabeças de gado por hectare

Para suprir a demanda mundial de etanol, que inclui o acréscimo de 10% em volume à gasolina (E10) nos Estados Unidos até 2010 e até 2020 nos países membros da Comunidade Econômica Européia, serão necessários cerca de 200 bilhões de litros de etanol, o que poderá ser alcançado em um prazo de até 15 anos avançando a cultura da cana sobre áreas de pastagem degradadas e otimizando a criação de gado. Hoje existe uma média nacional de 1 cabeça de gado por hectare de pastagem; no Estado de São Paulo, este número chega a 1,56 cabeças de gado/ha. Se a média paulista, que ainda é bastante pequena for empregada no restante do Brasil, teremos cerca de 65 milhões de hectares disponíveis, que serão suficientes para atendermos a demanda internacional de etanol, além de suprir o mercado interno brasileiro, sem necessitar de aumentar a área de pastagem nem de diminuir a produção de alimentos<sup>15</sup>.

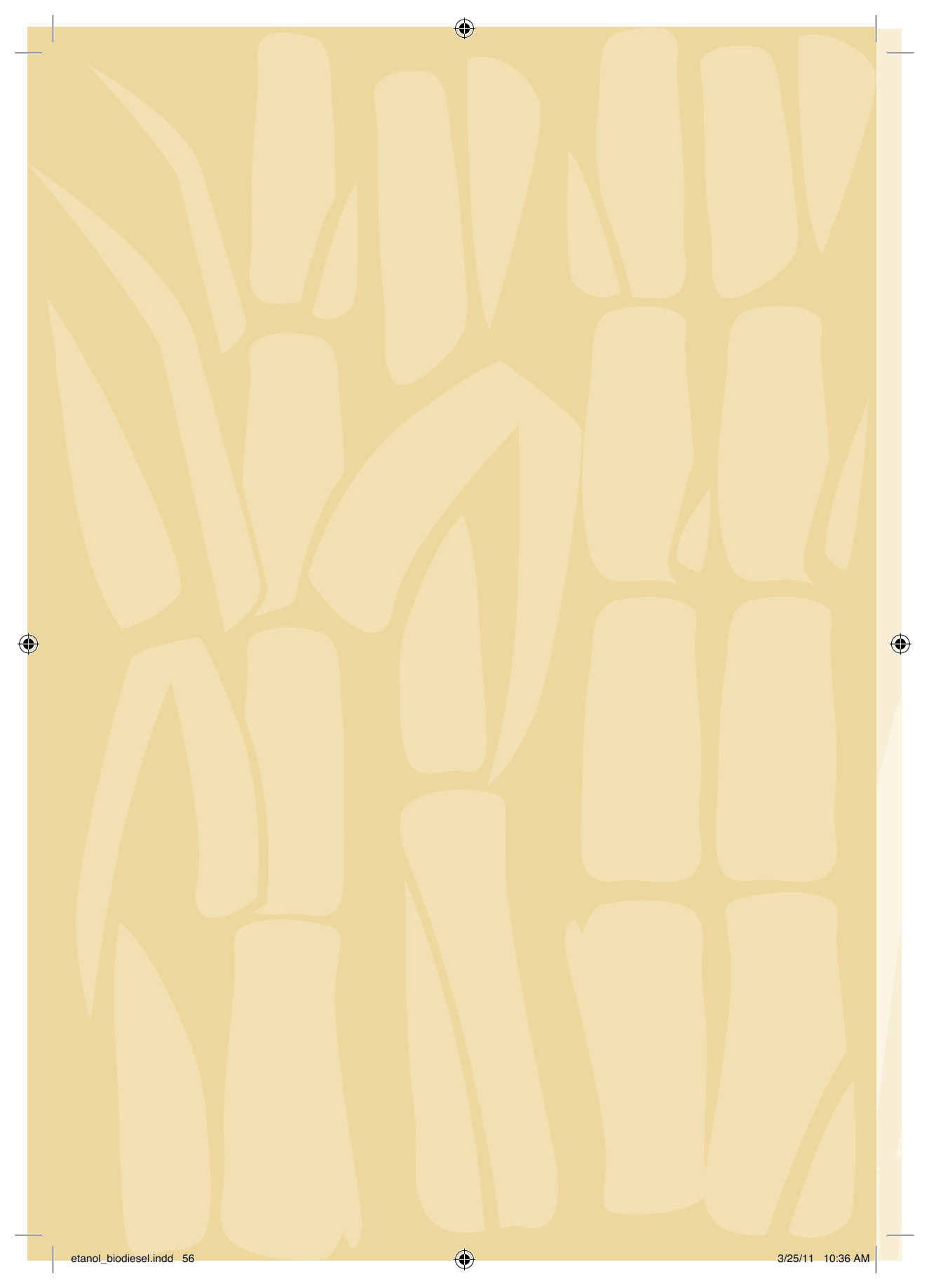
Com o Zoneamento Agroecológico da Cana no Estado de São Paulo e no Brasil, a área de expansão da cana foi limitada, respeitando-se os limites das Unidades de Conservação e suas áreas de entorno, áreas importantes para a diversidade biológica brasileira como a Amazônia e o Pantanal, bem como corredores de vida selvagem. Foram considerados ainda os aspectos edafoclimáticos adequados ao cultivo da cana, e a vulnerabilidade dos aquíferos, como veremos mais adiante. Deve-se salientar que, ao contrário do imaginado por muitas pessoas, o clima úmido da região amazônica é incompatível com o cultivo da cana, que precisa de duas estações bem definidas para crescer e acumular açúcar, condições existentes no Sudeste e em parte do Nordeste brasileiro.

<sup>15</sup> COELHO, 2009, baseado em NIPE-Unicamp, IBGE e CTC.



**Figura 12** - Localização das culturas de cana, em vermelho, com sua área de influência (em alaranjado), em relação à Floresta Amazônica <sup>12</sup>.





A large, stylized graphic of a leaf or plant stem, rendered in a light beige color, dominates the left and center of the page. The leaf has several pointed, overlapping sections that create a sense of movement and growth. The background is a solid, light beige color.

0 Biodiesel

5

## 5. O Biodiesel

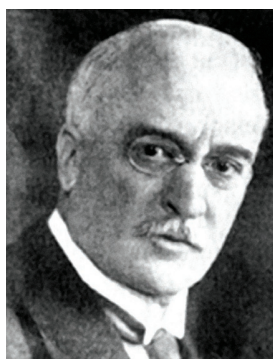
### 5.1. Histórico

Pode-se dizer que os motores e os combustíveis evoluíram juntos, à medida que a disponibilidade e variedade de combustíveis aumentaram. Os primeiros motores a diesel datam do final do século XIX, cerca de 40 anos após a perfuração dos primeiros poços comerciais de petróleo.

Rudolf Diesel (1858-1913), o criador dos motores com ignição por compressão, mostrou que era possível utilizar óleos vegetais puros como combustível em situações de emergência, o que foi comum nos anos 30 e 40, em razão da escassez provocada pela guerra<sup>16</sup>. Ele disse:

***“O motor diesel pode ser alimentado com óleos vegetais e isso ajudará consideravelmente no desenvolvimento da agricultura dos países que o usarem”.***

E ainda



***“O uso de óleos vegetais como combustíveis de motores pode parecer insignificante hoje. Mas esses óleos poderão se tornar ao longo do tempo tão importantes quanto os produtos do petróleo e do carvão são nos dias de hoje”.***

**Figura 13** - Rudolf Diesel, criador do motor com ignição à compressão e idealizador do biodiesel Fotografia de Physics Daily, 2009.

<sup>16</sup> SHAY, 1993

Ele estava certo. No Brasil, os primeiros registros de uso de óleos vegetais puros como combustíveis remontam aos anos 1940, quando foi proibida a exportação de óleo de algodão para que seu preço baixasse e se tornasse possível usá-lo como combustível em trens, o que pode ser considerado o primeiro programa governamental de biocombustíveis.

Paralelamente à substituição parcial de gasolina por etanol promovida pelo Proálcool, o Governo Federal criou na década de 1980 o Proóleo, visando a substituição de 30% de volume do diesel por óleos vegetais ou seus derivados e sua total substituição a longo prazo. Com a queda no preço do petróleo em 1986, o programa foi abandonado e só retomado duas décadas mais tarde, no que ficou conhecido como Probiodiesel. O Governo Brasileiro incluiu o biodiesel na matriz energética brasileira em 2005<sup>17</sup>, quando também ampliou as competências da ANP e a tornou responsável por estabelecer as normas regulatórias, autorizar e fiscalizar as atividades relacionadas à produção, armazenagem, importação, exportação, distribuição, revenda e comercialização de biodiesel no Brasil.

A ANP fixou a adição crescente obrigatória de biodiesel ao diesel combustível, começando com 2% em volume (B2) em 2008 até 5% em 2013 (B5)<sup>18</sup>. Desde 1º de julho de 2009, todo o óleo diesel comercializado no Brasil já contém 4% de biodiesel, o que demonstra o compromisso com as metas estabelecidas. Os níveis de mistura BX estabelecidos pela ANP demonstraram não haver necessidade de qualquer ajuste ou alteração nos motores e veículos a diesel, conforme programa de testes coordenado pelo Ministério de Ciência e Tecnologia e assistido pela Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (Anfavea).

O Brasil iniciou a produção comercial desse combustível em 2005, com 736 m<sup>3</sup> de biodiesel; já em 2008, esse número saltou para 1.167.128 m<sup>3</sup> (gráfico 5). Deste total, o Estado de São Paulo foi responsável por pouco menos de 16%. A capacidade de produção instalada de biodiesel no Brasil em janeiro de 2009 foi de 3,7 milhões de metros cúbicos, o que faz do Brasil um dos maiores produtores e consumidores mundiais de biodiesel.

<sup>17</sup> Lei Federal no 11.097, de 13 de janeiro de 2005

<sup>18</sup> Resolução ANP N° 42 de 24 de novembro de 2004

Para estimular a produção de biodiesel em quantidade suficiente para abastecer as refinarias e distribuidoras, que devem realizar a mistura BX determinada por lei, a ANP realiza desde 2005 os Leilões de Biodiesel.

### Produção de biodiesel B100 em milhares de m<sup>3</sup>

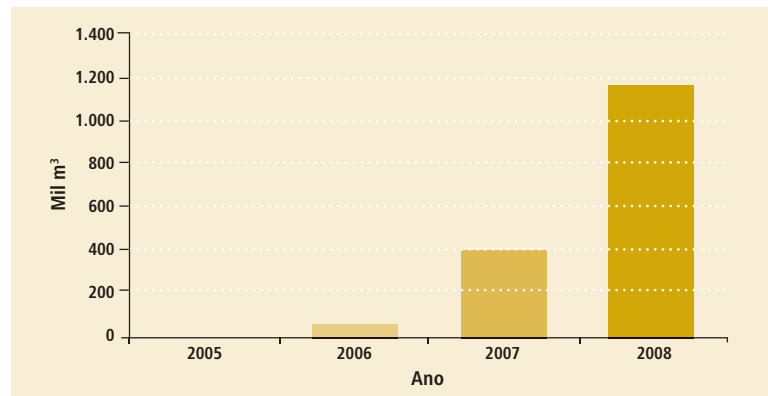


Gráfico 5 - Evolução da produção de biodiesel no Brasil, desde 2005. Fonte: ANP, 2009

## 5.2. Processos de Fabricação

O biodiesel pode ser definido como um mono-álquil éster de ácidos graxos derivado de fontes renováveis, como óleos vegetais e gorduras animais (Gráfico 6), produzido principalmente pelo processo de transesterificação<sup>19</sup>. A fabricação de biodiesel deve ocorrer em instalações autorizadas pela ANP e cumprir com as especificações legais.<sup>20</sup>



Gráfico 6 - Matérias primas utilizadas para a produção de biodiesel no Brasil em 2008<sup>21</sup>

O processo de transesterificação de óleos vegetais surgiu da necessidade de se modificar quimicamente os óleos vegetais, para permitir que motores a diesel funcionassem por longo período com esse tipo de combustível. Quando do uso de óleos vegetais puros, começaram a surgir problemas como depósito de goma na câmara de combustão do motor, formação de coque nos bicos injetores, depósitos de carbono, espessamento e gelificação do óleo lubrificante, causados pela reatividade das ligações insaturadas, alta viscosidade e baixa volatilidade características dos óleos vegetais.

Também chamado de alcoólise, o processo de transesterificação envolve a reação de um óleo ou gordura com álcool (geralmente, metanol ou etanol), na presença de um catalisador (ácido ou alcalino) que aumenta a taxa e abrangência da reação, para formar ésteres e glicerol. Matérias primas diferentes demandam mudanças no processo de fabricação, como alterações nos catalisadores, temperatura e tempo de duração da reação, pelas diferenças intrínsecas das propriedades físico-químicas dos variados óleos e gorduras.



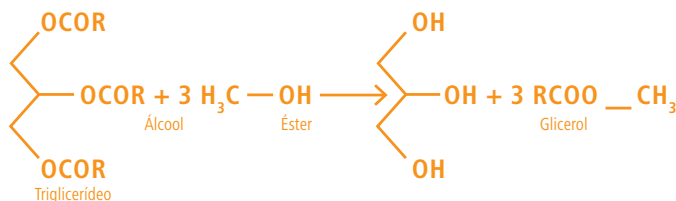
**Figura 14** - Pequena fábrica de biodiesel. Fotografia de Kleber Halley Guimarães

<sup>19</sup> O biodiesel também pode ser produzido pelos processos de microemulsões e craqueamento térmico.

<sup>20</sup> Resolução ANP nº 7/2008.

<sup>21</sup> Brieu, 2009

A figura abaixo ilustra o processo típico de formação de biodiesel através do processo de transesterificação.



**Figura 15** - Reação de transesterificação típica de triglicerídeos, com catalisador alcalino.

A separação de glicerol do biodiesel costuma ser um processo complexo, determinante da qualidade do produto final. O glicerol recuperado, após purificação, pode ser utilizado nas indústrias cosmética e farmacêutica.

### 5.3. Aspectos Ambientais, Sociais e Produção de Alimentos

Em comparação com o diesel de petróleo, o biodiesel tem significativas vantagens ambientais. Estudos do National Biodiesel Board<sup>22</sup> (associação que representa a indústria de biodiesel nos Estados Unidos) demonstraram que a queima de biodiesel pode emitir em média 48% menos monóxido de carbono, 47% menos material particulado e 67% menos hidrocarbonetos que o diesel fóssil, sendo mais perceptível esse efeito quanto maior for a proporção de biodiesel adicionada ao combustível fóssil.

Há que se salientar a importância do biodiesel como potencial fomentador do desenvolvimento regional e gerador de emprego e renda. Foram previstas na Lei No 11.097/05 a redução das desigualdades regionais e a participação preferencial da agricultura familiar no fornecimento de matérias primas para a fabricação de biodiesel, incentivados pelo Plano Nacional de Produção de Biodiesel (PNPB). Para obter o Selo de Combustível Social e participar do sistema de benefícios fiscais vinculados ao Plano, as usinas produtoras de biodiesel devem comprar matéria-prima da agricul-

tura familiar em percentual mínimo de 50% nas regiões Nordeste e Semi-Árido, 10% nas regiões Norte e Centro-Oeste e 30% nas regiões Sudeste e Sul. Em 2008, a produção das 29 usinas detentoras do Selo representou 99% do total de biodiesel produzido no Brasil, dos quais 23% foram provenientes da agricultura familiar, o que ainda é pouco se for considerado o lucro resultante para cada uma das 97 mil famílias cadastradas no programa, que chega à média a um quarto de salário mínimo por mês. De um modo geral, estima-se que o biodiesel já gerou cerca de 600 mil postos de trabalho, desde sua inserção na matriz energética.

**Apenas** no ano de 2008, o uso do biodiesel evitou a importação de 1,1 bilhões de litros de diesel fóssil, o que gerou divisas para o país e resultou em uma economia de cerca de US\$ 976 milhões.

A grande crítica ao biodiesel é devida ao uso de matérias primas com potencial alimentício para a fabricação de combustível, principalmente em um país em que ainda existem milhões de pessoas passando fome. Embora houvesse a expectativa de participação significativa de culturas que promovessem a inclusão familiar, como o dendê (9%) e a mamona de (15%) na produção de biodiesel, esses valores ficaram muito abaixo do esperado, como mostrado anteriormente no **gráfico 6**, enquanto a soja se sobressaiu. Foi marcante a presença de sebo bovino, principalmente na região Sudeste, por falta de outra matéria-prima competitiva.

Existem grandes perspectivas de melhora no perfil do programa brasileiro de biodiesel, principalmente com o avanço das pesquisas no setor agroenergético, com as políticas públicas e com a possibilidade de se gerar biodiesel de oleaginosas cultivadas durante o período de reforma dos canaviais.







# O Cenário Energético Global e os Biocombustíveis

# 6

## 6. O Cenário Energético Global e os Biocombustíveis

Enquanto a matriz energética global é extremamente dependente do petróleo e provém 86% de fontes energéticas não-renováveis, cerca de 45% da energia e 18% dos combustíveis consumidos no Brasil já são renováveis, como se verifica nos gráficos abaixo. No mundo, a média de consumo de energia de fontes renováveis é de 13%.

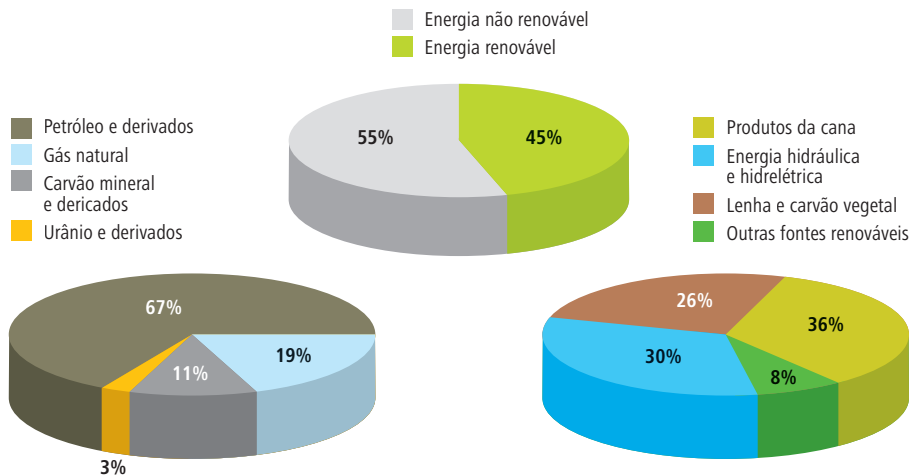


Gráfico 7 - Participação das diferentes fontes na oferta interna de energia do Brasil<sup>23</sup>

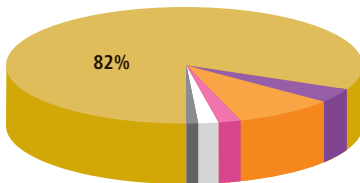
O Brasil possui mais de 2000 empreendimentos de geração de energia em operação, representando mais de 105 GW de potência instalada (1 GigaWatt = 1 bilhão de watts), dos quais 331 geram energia elétrica a partir da biomassa (6,5 GW). O bagaço da cana-de-açúcar contribui para a geração de 4% da energia elétrica do país (gráfico 8), devendo duplicar sua contribuição assim que os empreendimentos em construção e outorga iniciarem sua operação<sup>24</sup>.

<sup>23</sup> EPE 2009, ANP 2009

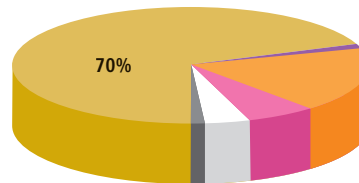
<sup>24</sup> ANEEL 2009

**O Estado** de São Paulo possui atualmente 521 empreendimentos em operação, correspondentes a 22.635 MW de potência instalada, oriundos principalmente de usinas hidrelétricas (78%) e de usinas termelétricas (21%). Estão previstos mais 4.300 MW na capacidade de geração do Estado, quando os empreendimentos em processo de construção e outorga começarem a operar. Então, as usinas termelétricas a bagaço contribuirão em 33% para a geração de energia elétrica no Estado, em detrimento das usinas hidrelétricas, com 66%.

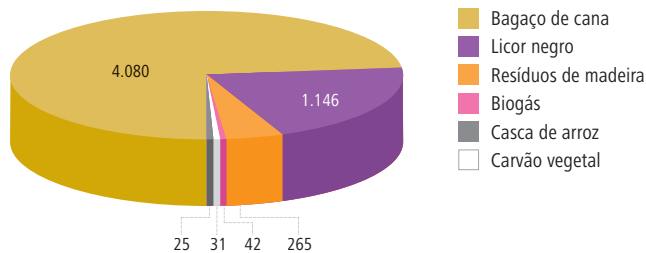
### Empreendimentos existentes



### Empreendimentos em construção/outorga



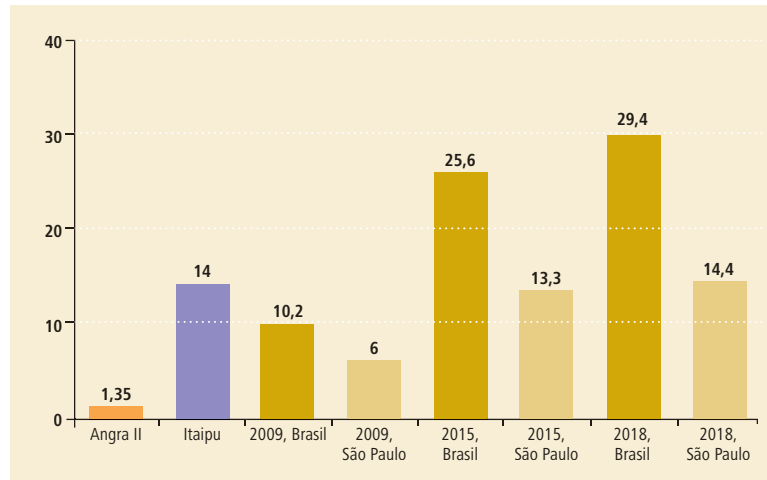
### Potência Instalada MW



**Gráfico 8** - Perfil da indústria de produção de energia a partir de biomassa<sup>24</sup>

Nos últimos anos cresceu a utilização de bagaço e palha para geração de vapor e energia nas usinas de açúcar e álcool. Através do aprimoramento da técnica e da modernização do maquinário, tem se gerado excesso de energia, que é em alguns casos exportada para a rede pública. Embora exista um estoque imenso de energia nos canaviais (**Gráfico 9**), renovado anualmente na

época da colheita, são necessários investimentos na modernização das caldeiras existentes e na criação de um modal descentralizado de distribuição dessa energia elétrica excedente, para que o potencial de geração de energia seja plenamente aproveitado.

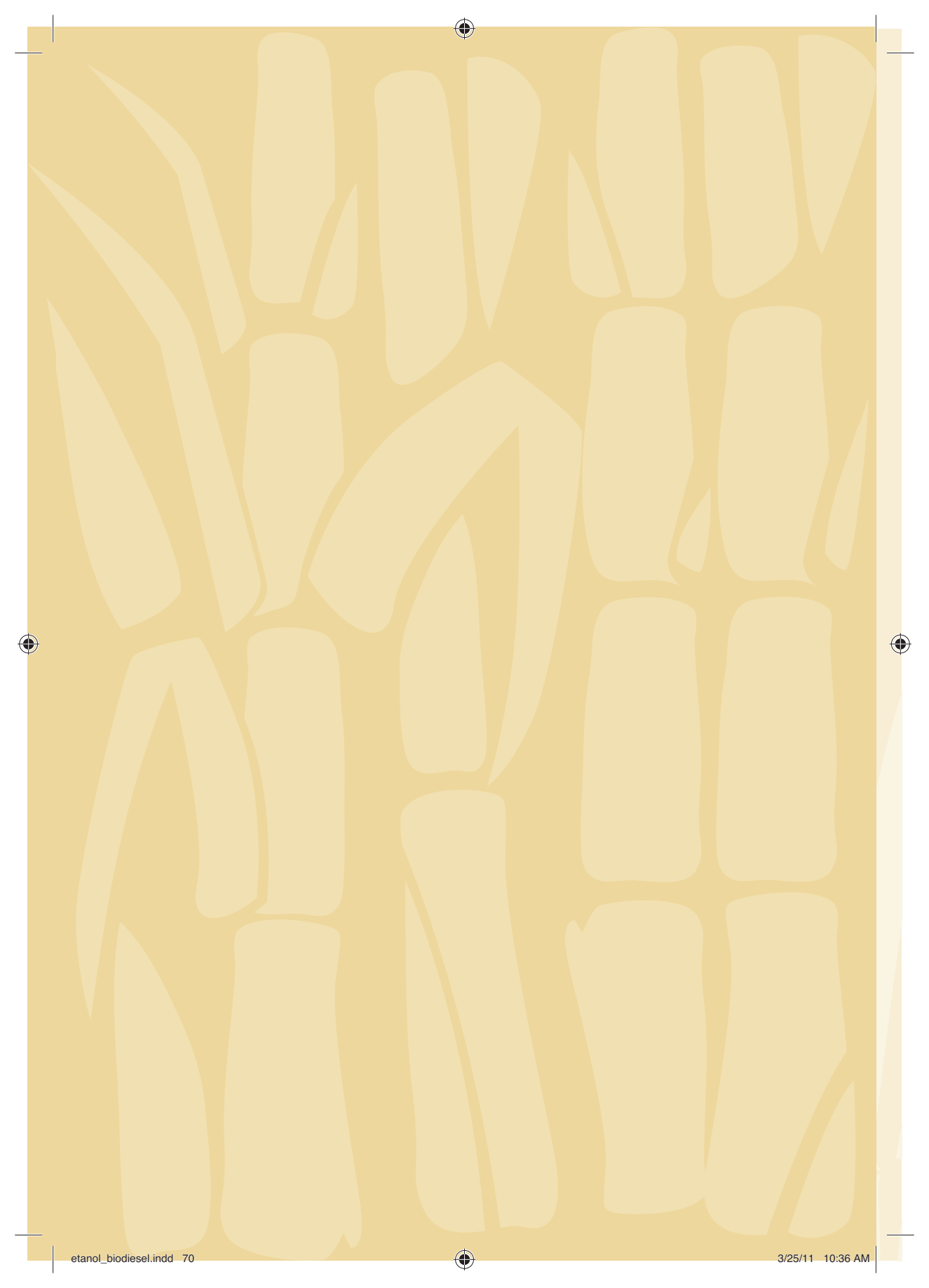


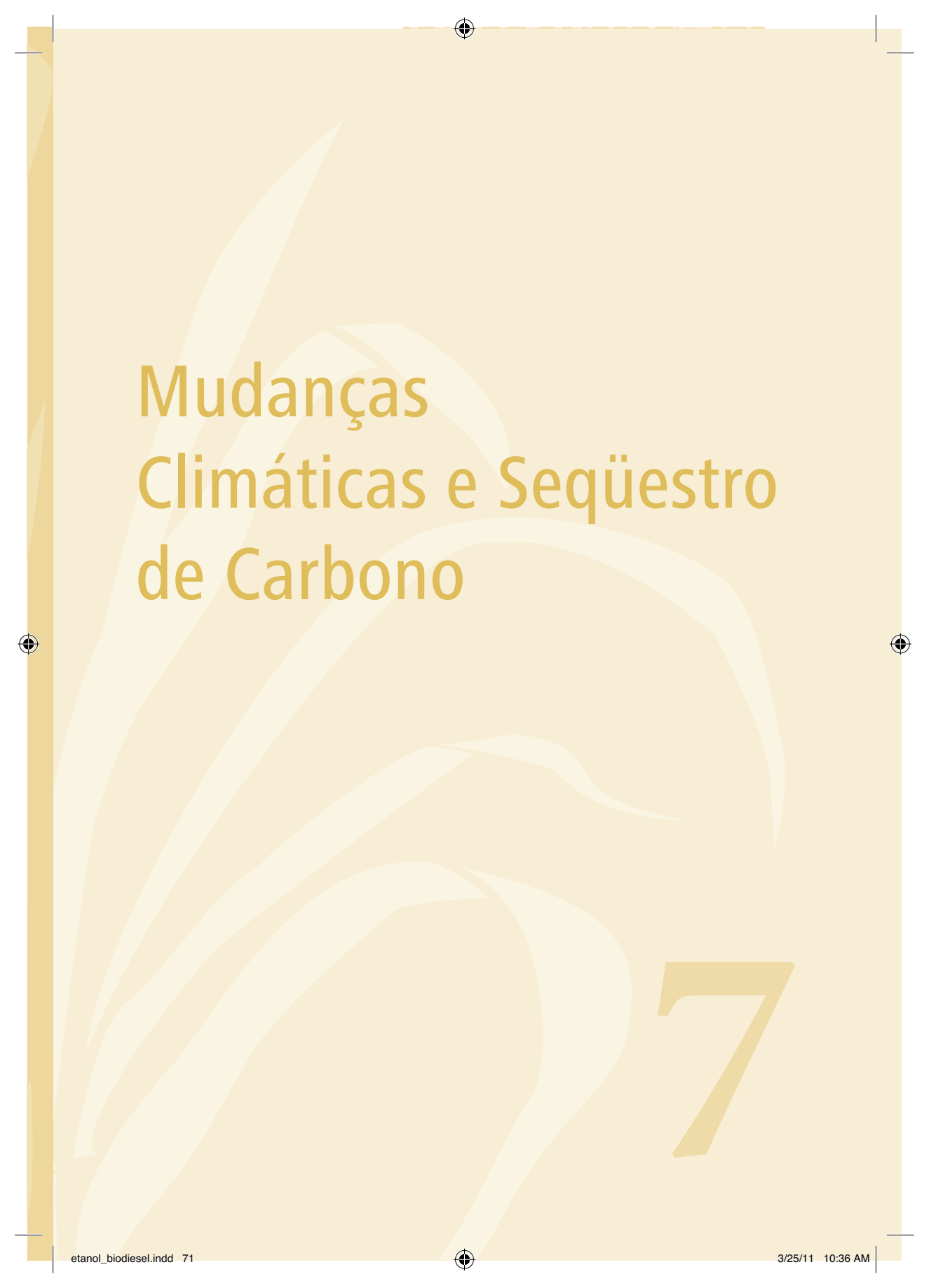
**Gráfico 9** - Capacidade instalada de geração de energia elétrica em 2009 em Angra II e Itaipu e estimada pela co-geração à partir de bagaço e palha de cana em São Paulo. Fonte: Silvestrin, 2009.



**Figura 16** - Usina com caldeiras alimentadas com bagaço e palha de cana. Nota-se o monte de resíduos de cana aguardando queima nas caldeiras à direita. Fotografia de Rodrigo Campanha.

Segundo dados do Plano Energético Nacional de 2008, houve um aumento no total de energia consumida no Brasil de 5,6% em relação ao ano anterior, causado pelo maior consumo de gás natural, cana-de-açúcar e petróleo, que juntos responderam por 79% do incremento. Esse aumento acompanhou o crescimento do PIB, de 5,1%, mostrando como o desenvolvimento de um país implica no crescimento de seu consumo energético. Prover o mercado com fontes renováveis de energia torna-se assim uma questão estratégica para o desenvolvimento do país, com estratégias e metas a serem cumpridas a curto e médio prazos.





# Mudanças Climáticas e Seqüestro de Carbono

7



## 7. Mudanças Climáticas e Seqüestro de Carbono

### 7.1. A Atmosfera

A atmosfera terrestre é um sistema dinâmico que levou bilhões de anos para se formar. Esse sistema é regulado pela radiação solar, pela gravidade da Terra e pelos próprios processos terrestres, que acarretam mudanças em sua composição e geram fenômenos como as correntes marítimas e atmosféricas. Através da circulação atmosférica e dos ciclos de água, matéria e energia, são criados padrões de temperatura, precipitação e luminosidade espaço-temporais que caracterizam o clima de uma determinada região.

A densidade da atmosfera aumenta de acordo com a proximidade da superfície; os gases predominantes na sua composição são o nitrogênio, o oxigênio, o argônio e o dióxido de carbono, com outros gases presentes em menor proporção:

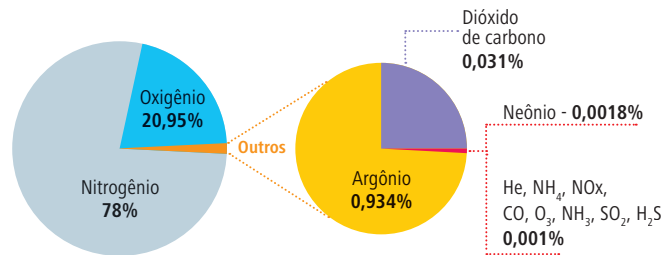


Gráfico 10 - Composição percentual atmosférica média por tipo de gás

Dentre as funções importantes da atmosfera estão filtrar a radiação solar que chega à superfície (na camada de ozônio), proteger a superfície da Terra do impacto de meteoros e partículas espaciais e refletir a radiação infravermelha liberada pela Terra, como resultado do aquecimento solar (Figura 17). Essa última função, conhecida como efeito estufa, foi que propiciou a manutenção da temperatura e umidade do ar que mantiveram a vida, em seu processo de

evolução, em nosso planeta. Não fosse o efeito estufa natural, a temperatura média da atmosfera terrestre cairia de 15° C para -18° C, o que inviabilizaria a vida na Terra, tal como a conhecemos.

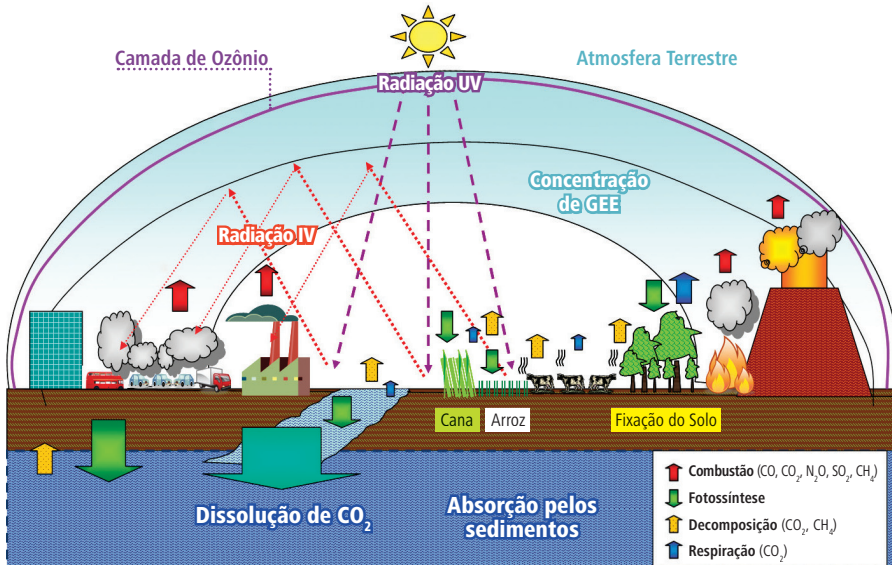


Figura 17 - Esquema simplificado do efeito estufa

## 7.2. Os Gases de Efeito Estufa e Seu Papel no Aquecimento Global

As mudanças na concentração relativa de gases de efeito estufa (GEE) e aerossóis na atmosfera, na radiação solar e nas propriedades da superfície da Terra alteram o sistema de balanço climático.

Por sua abundância e importância evolutiva na Terra, pode-se dizer que o dióxido de carbono é um elo entre processos biológicos, físicos e antropogênicos.

A concentração atmosférica de dióxido de carbono atual, que saltou de 280 ppm (partes por milhão) em 1965 para 379 ppm em 2005, excede de longe a velocidade de variação natural dos últimos 650.000 anos, de 180 ppm a

300 ppm<sup>25</sup>. Essa variação pré-histórica na concentração atmosférica global de CO<sub>2</sub> se deveu a eventos climáticos naturais, como glaciações, rebaixamento do nível do mar e maior atividade vulcânica/tectônica. A principal fonte do aumento da concentração atmosférica atual de CO<sub>2</sub> foi o uso de combustíveis fósseis.

**A prova** irrefutável de que o aumento das temperaturas globais pelo efeito estufa é resultante da ação humana está na variação da razão C<sup>13</sup>/C<sup>12</sup> (base de cálculo para a assinatura isotópica) do carbono atmosférico, que diminuiu cerca de 1,5 ‰ nos últimos 200 anos (de 0,0111073 para 0,0110906). Ora, o δC<sup>13</sup> dos combustíveis fósseis varia entre -26 e -30 ‰ (etanol da cana possui um δC<sup>13</sup> de cerca de -10 ‰); portanto, o CO<sub>2</sub> oriundo da queima desses combustíveis possui um δC<sup>13</sup> igualmente baixo, diminuindo conseqüentemente os valores médios da atmosfera, ao se difundir por ela<sup>26</sup>.

Segundo o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas, para estabilizar o aumento da temperatura média global em até 2° C, no melhor cenário, será necessário limitar as emissões e promover o seqüestro de CO<sub>2</sub> de modo que a concentração atmosférica de CO<sub>2</sub> atinja um pico de 480 ppm, para depois se estabilizar em 400 ppm. Para isso, serão necessários esforços coordenados de governos, setores produtivos e sociedade.

Não existem certezas sobre os impactos das mudanças climáticas globais nos ecossistemas brasileiros, embora se acredite que haverá intensificação de processos naturais de secas e enchentes, bem como aumento das temperaturas de um modo geral e do nível do mar. Por afetar padrões de circulação atmosférica e conseqüentemente, de temperatura e umidade, deverá haver mudanças na distribuição espacial e na abundância das espécies vegetais, gerando uma seqüência de eventos cujas variáveis não são bem conhecidas. Daí a importância das pesquisas científicas, das ações governamentais e da conscientização e mudança dos hábitos da população como um todo, pois quanto mais distantes estivermos do cenário climático e ambiental do século passado, mais variáveis entrarão na equação das mudanças climáticas, e mais difícil será prever os resultados que elas trarão.

<sup>25</sup> IPCC, 2007.

<sup>26</sup> GOSH & BRAND, 2003

**Ao longo** da história da Terra ocorreram episódios de grandes mudanças ambientais, com reflexos nas comunidades biológicas então existentes (**Anexo 1**). Essas mudanças ambientais deixaram registros fósseis, tornando possível à geoquímica forense interpretá-las e inferir sobre as condições ambientais que as provocaram. A mais drástica dessas mudanças foi a transição Permiano-Triássico, há cerca de 251 milhões de anos, num período relativamente curto na escala geológica (8 mil-100 mil anos). Nesse evento, mais de 95% da biodiversidade estimada foi extinta, num processo atualmente explicado por três hipóteses:

- A evolução dos oceanos do mega continente Pangéia, no final do Paleozóico, quando houve uma regressão do nível do mar que provocou alterações nos padrões climáticos e de correntes oceânicas;
- Uma gigantesca sequência de erupções vulcânicas no que é hoje o território da Sibéria, que derramou cerca de 1,5 milhões de quilômetros cúbicos de lava (1,5 milhões de vezes mais que o vulcão Santa Helena, em 1980). As imensas quantidades de dióxido de carbono e outros gases lançadas na atmosfera foram responsáveis por disparar um mecanismo que aumentou em 5° C a temperatura global e provocou a sublimação de uma grande quantidade de metano do fundo dos oceanos para a atmosfera, acrescentando mais 5° C à temperatura da Terra.
- A queda de um asteróide do tamanho do Monte Everest (6-12 km) foi recentemente evidenciada por cientistas da NASA, que encontram em rochas da transição Permiano-Triássico moléculas com gases e elementos leves típicos do espaço sideral. Esse asteróide não foi o mesmo que possivelmente extinguiu os dinossauros, há 65 milhões de anos.

Durante os últimos 800.000 anos, no Pleistoceno Superior e no subsequente Holoceno, o clima da Terra oscilou entre quente e frio muitas vezes. As variações na quantidade de radiação solar recebida pela Terra em função das alterações orbitais e nas concentrações atmosféricas de CO<sub>2</sub> são os principais fatores que podem explicar essas mudanças, junto com as mudanças provocadas na circulação oceânica devidas ao avanço-retrocesso das geleiras. No entanto, sabe-se hoje que as concentrações atmosféricas de dióxido de carbono, metano e óxido de nitrogênio aumentaram principalmente como resultado das atividades humanas após a Revolução Industrial (~1750), conforme análises de gases aprisionados em testemunhos de gelo de milhares de anos, devido principalmente à queima de combustíveis fósseis e mudanças de uso da terra.

**Figura 18** - Fósseis da transição Permiano-Triássico, há 250 milhões de anos, quando houve a maior extinção em massa da história da Terra. Em sentido horário, a partir do canto superior esquerdo: Mesossaurídeo (lagarto aquático) da Formação Irati (Coleção IG no V-237); Coquina (aglomerado de conchas bivalves) da Formação Corumbataí, Rio Claro, SP (Coleção IG no I-36); Estromatólitos (colônias de cianófitas em matriz mineral) da Formação Estrada Nova. Fotografias de Willian Sallun Filho, Instituto Geológico.



### 7.3. Seqüestro de Carbono

Quando pensamos na geoengenharia do carbono - a manipulação deliberada do clima para conter o aquecimento global, verificamos que existe um intrincado sistema de absorção, fixação e emissão de carbono, cujo funcionamento apenas começa a ser compreendido. Ainda assim, já sabemos que, controlando nossas emissões de gases de efeito estufa como o CO e o CO<sub>2</sub>, contendo o desmatamento e fixando carbono em compartimentos ambientais, estamos contribuindo para frear um processo disparado por séculos de imprudência e desconhecimento. Esses processos de absorção, fixação e emissão podem ser otimizados de modo a obtermos a máxima eficiência ambiental.

Contextualizando a realidade brasileira, vemos que nos últimos anos, a cana mostrou-se um excelente *bioinstrumento* para a captura e fixação de carbono, agregando eficiência em todas as etapas da cadeia produtiva. A cana captura carbono durante seu crescimento, transferindo-o para a palha e fixando parte desse carbono no solo quando parte da palha é usada na cobertura e proteção do solo dos canaviais. Do total de carbono que a cana absorve durante seu crescimento, cerca de 3,5% são fixados no solo.



**Figura 19** - Solo de canavial de colheita mecânica coberto por palha. A colheita mecânica evita as emissões de carbono da queima da palha e ainda propicia a fixação de carbono no solo. Fotografia de Rodrigo Campanha.

Essas propriedades da cana fazem com que no balanço energético total da cadeia produtiva e de consumo do etanol combustível seja evitada a emissão de uma grande quantidade de carbono, que decorre praticamente do uso de combustíveis fósseis no maquinário usado na colheita mecânica e no transpor-

te da cana e do etanol. Com a criação de um novo modal de distribuição de etanol, através de dutos, e da substituição de combustíveis fósseis por biocombustíveis no maquinário pesado utilizado no cultivo-colheita da cana, essas emissões deverão diminuir ainda mais. A figura a seguir resume o balanço de emissões durante a fabricação do etanol:

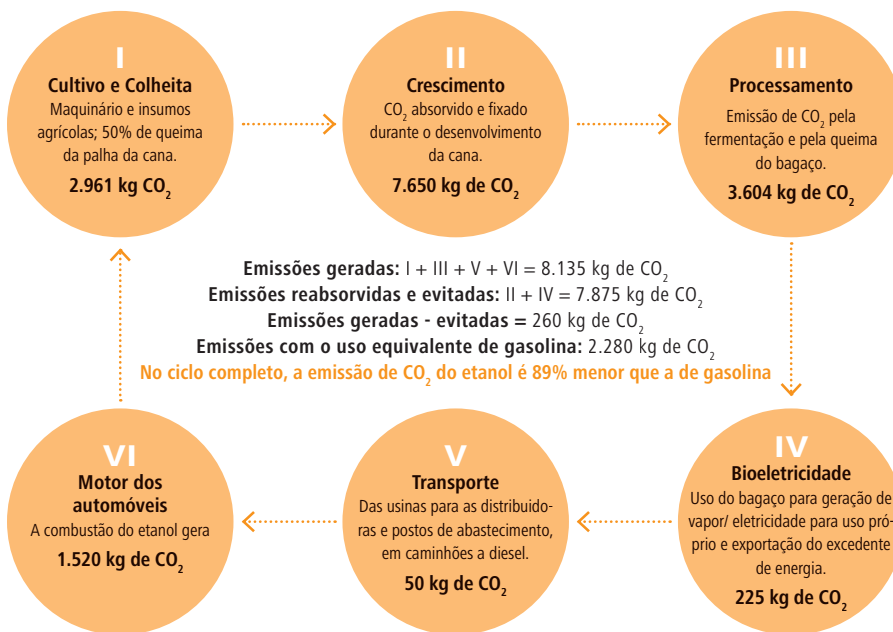
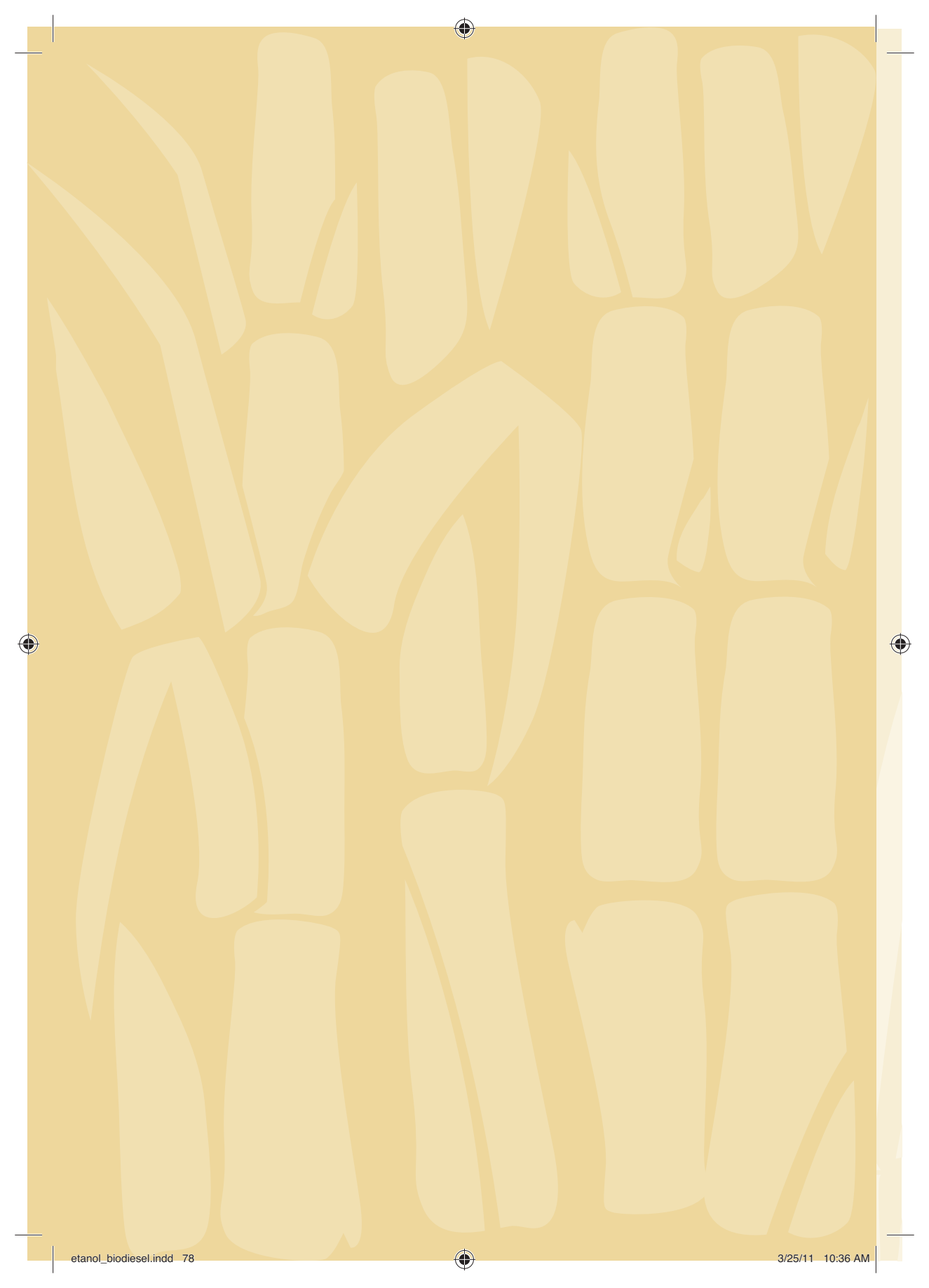


Figura 20 - Balanço das emissões de CO<sub>2</sub> para cada mil litros de etanol de cana produzido e consumido<sup>27</sup>

<sup>27</sup> MACEDO e SEABRA, 2008.



A large, stylized graphic of a leaf or plant stem, rendered in shades of light beige and cream, occupies the left and center of the page. The leaf is composed of several overlapping, curved shapes that suggest movement and growth. The background is a solid, light beige color.

# Políticas públicas e sustentabilidade

8



## 8. Políticas públicas e sustentabilidade

No mundo todo, a partir dos anos 90, os governos começaram a dedicar maior atenção à sustentabilidade de suas economias e sociedades e estabelecer políticas públicas que disciplinassem o desenvolvimento de suas regiões. Através de eventos internacionais como a Rio-92 e de protocolos como o de Montreal (eliminação dos gases que destroem a camada de ozônio) e Kyoto (redução das emissões de gases de efeito estufa), começou-se a estabelecer metas de redução de emissões e agendas de comprometimento de melhorias sociais e ambientais, como a Agenda 21.

Paralelamente, as ciências ambientais trouxeram informações mais detalhadas sobre o funcionamento da ecosfera, e sobre os impactos das ações humanas sobre seus compartimentos. Quando a proporção das alterações provocadas por mais de dois séculos de crescimento desenfreado foi percebida, tornou-se necessária a ação imediata para tentar disciplinar a relação entre sociedades, economias e meio ambiente.

**A sustentabilidade** dos biocombustíveis depende da observação de princípios como visão de um futuro sustentável, justiça ambiental, interesse social, autonomia e economia ecológica.

Num país como o Brasil, em que quase metade da energia utilizada provém de fontes renováveis, tem sido dada grande importância a políticas públicas e privadas que favoreçam o desenvolvimento sustentável regional e aos processos de licenciamento de empreendimentos para geração de energia, visando garantir que a energia necessária para o desenvolvimento do país esteja disponível sem comprometer seus recursos ambientais.

No Estado de São Paulo foi dada atenção especial para o cultivo da cana, por sua importância sócio-econômica. Foi nesse contexto que surgiu o Projeto Etanol Verde.

## 8.1. O Projeto Etanol Verde

O Projeto Ambiental Estratégico Etanol Verde foi criado pela Secretaria do Meio Ambiente em 2007, com os objetivos principais de antecipar o prazo para eliminação da queima da palha da cana, previsto na Lei Estadual 11.241/02, de 2021 para 2014, nas áreas mecanizáveis, e de 2031 para 2017, nas áreas não mecanizáveis, proteger e recuperar as matas ciliares, gerenciar os resíduos e racionalizar o uso da água, promovendo o desenvolvimento sustentável do Estado, através de seus dois produtos, o Protocolo Agroambiental e o Zoneamento Agroambiental.



### 8.1.1. O Protocolo Agroambiental

O Protocolo Agroambiental surgiu como um acordo inédito entre o Governo do Estado de São Paulo, representado pela Secretaria do Meio Ambiente, e pela Secretaria da Agricultura e Abastecimento e o Setor Sucroenergético, representado pela União da Indústria da Cana-de-açúcar (UNICA) e pela Organização dos Plantadores de Cana da Região Centro-Sul do Brasil (ORPLANA), visando criar mecanismos para estimular e consolidar o desenvolvimento sustentável da indústria da cana no Estado de São Paulo.

O Protocolo prevê o reconhecimento dos esforços das usinas e associações de plantadores e fornecedores de cana em atender as Diretivas Técnicas do Protocolo por meio de um Certificado de Conformidade Agroambiental, renovado anualmente mediante atualização das informações constantes no Plano de Ação, que é entregue pelos interessados durante o processo de adesão ao Protocolo.

Os pontos abordados pelo Protocolo abrangem as principais práticas industriais e de cultivo relacionadas às usinas e aos fornecedores, distinguindo as ações de acordo com as atividades e responsabilidades de cada um. São

tratadas questões de adequação florestal através da recuperação e proteção das áreas de nascentes e de mata ciliar; proposição e implantação de planos de conservação de solo e recursos hídricos; gerenciamento dos resíduos do processo industrial e de poluentes atmosféricos e da redução do prazo legal da utilização da prática de queima<sup>28</sup>.

A proposta de um acordo voluntário através de um protocolo de boas práticas foi uma alternativa para acelerar as metas da legislação vigente e propor outras ações de estímulo a atitudes positivas, reconhecendo o setor como um forte parceiro na busca da sustentabilidade sócio-ambiental. A voluntariedade da adesão ao Protocolo e sua elaboração com a participação do setor, de acordo com sua realidade, representam uma nova forma de desenvolver e alavancar políticas públicas.



**Figura 21** - Espécie pioneira em área de reflorestamento de canavial. Fotografia de Rodrigo Campanha.

Com a adesão de mais usinas e o cumprimento dos planos de ação das usinas já signatárias do Protocolo, a área de proteção e recuperação das matas ciliares continuará aumentando, contribuindo para a manutenção da biodiversidade dos fragmentos florestais, dos próprios ambientes de produção e para a produção de água nas bacias hidrográficas do Estado. A eliminação da queima da cana melhorará muito a qualidade do ar nas regiões produtoras de açúcar, álcool e bioenergia, além de proporcionar a estocagem de carbono nos solos dos canaviais e aumentar a oferta de energia renovável no Estado de São Paulo, por disponibilizar a palha da cana para geração de energia. Com qualidade ambiental, oferta de energia limpa e geração de empregos, o Estado de São Paulo está caminhando na vanguarda do desenvolvimento sustentável, consolidando as ações visionárias de cientistas, governantes e trabalhadores em um modelo referencial para o mundo.

### **8.1.2. O Zoneamento Agroambiental**

O Zoneamento Agroambiental para o Setor Sucroalcooleiro no Estado de São Paulo foi estabelecido em 2008, por uma Resolução Conjunta da Secretaria do Meio Ambiente e da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado<sup>29</sup>, visando cumprir com as determinações do Protocolo Agroambiental, aprimorar os procedimentos de licenciamento ambiental e a gestão das áreas agricultáveis, estimulando o desenvolvimento sustentável do Estado. Esse Zoneamento foi atualizado em setembro de 2009.

Equipes multidisciplinares da Secretaria do Meio Ambiente, da Secretaria de Agricultura e Abastecimento e da CETESB trabalharam em conjunto para gerar um multimapa que classifica o território paulista

<sup>28</sup> Maiores detalhes podem ser obtidos no website do Projeto Etanol Verde <http://www.ambiente.sp.gov.br/etanolverde>

<sup>29</sup> Resolução Conjunta SMA-SAA n° 004, de 18 Setembro de 2008, alterada pela Resolução Conjunta SMA/SAA-006, de 24 de Setembro de 2009.

em relação à aptidão para o cultivo da cana (Figura 22). Esse mapa foi desenvolvido por meio de técnicas de geoprocessamento, que sobrepueram uma série de mapas temáticos do Estado de São Paulo para chegar a uma informação integrada, que classifica as terras do Estado de São Paulo nas seguintes séries:

- I. Adequada**, que corresponde ao território com aptidão edafoclimática favorável para o desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar e sem restrições ambientais específicas;
- II. Adequada com Limitações Ambientais**, que corresponde ao território com aptidão edafoclimática favorável para cultura da cana-de-açúcar e incidência de Áreas de Proteção Ambiental (APA); áreas de média prioridade para incremento da conectividade, conforme indicação do Projeto BIOTA-FAPESP; e as bacias hidrográficas consideradas críticas;
- III. Adequada com Restrições Ambientais**, que corresponde ao território com aptidão edafoclimática favorável para a cultura da cana-de-açúcar e com incidência de zonas de amortecimento das Unidades de Conservação de Proteção Integral - UCPI; as áreas de alta prioridade para incremento de conectividade indicadas pelo Projeto BIOTA-FAPESP; e áreas de alta vulnerabilidade de águas subterrâneas do Estado de São Paulo, conforme publicação IG-CETESB-DAEE - 1997; e
- IV. Inadequada**, que corresponde às Unidades de Conservação de Proteção Integral - UCPI Estaduais e Federais; aos fragmentos classificados como de extrema importância biológica para conservação, indicados pelo projeto BIOTA-FAPESP para a criação de Unidades de Conservação de Proteção Integral - UCPI; às Zonas de Vida Silvestre das Áreas de Proteção Ambiental - APAs; às áreas com restrições edafoclimáticas para cultura da cana-de-açúcar; e às áreas com declividade superior a 20%.

# ESTADO DE SÃO PAULO - ZONEAMENTO AGROAMBIENTAL PARA O SETOR SUCROALCOOLEIRO

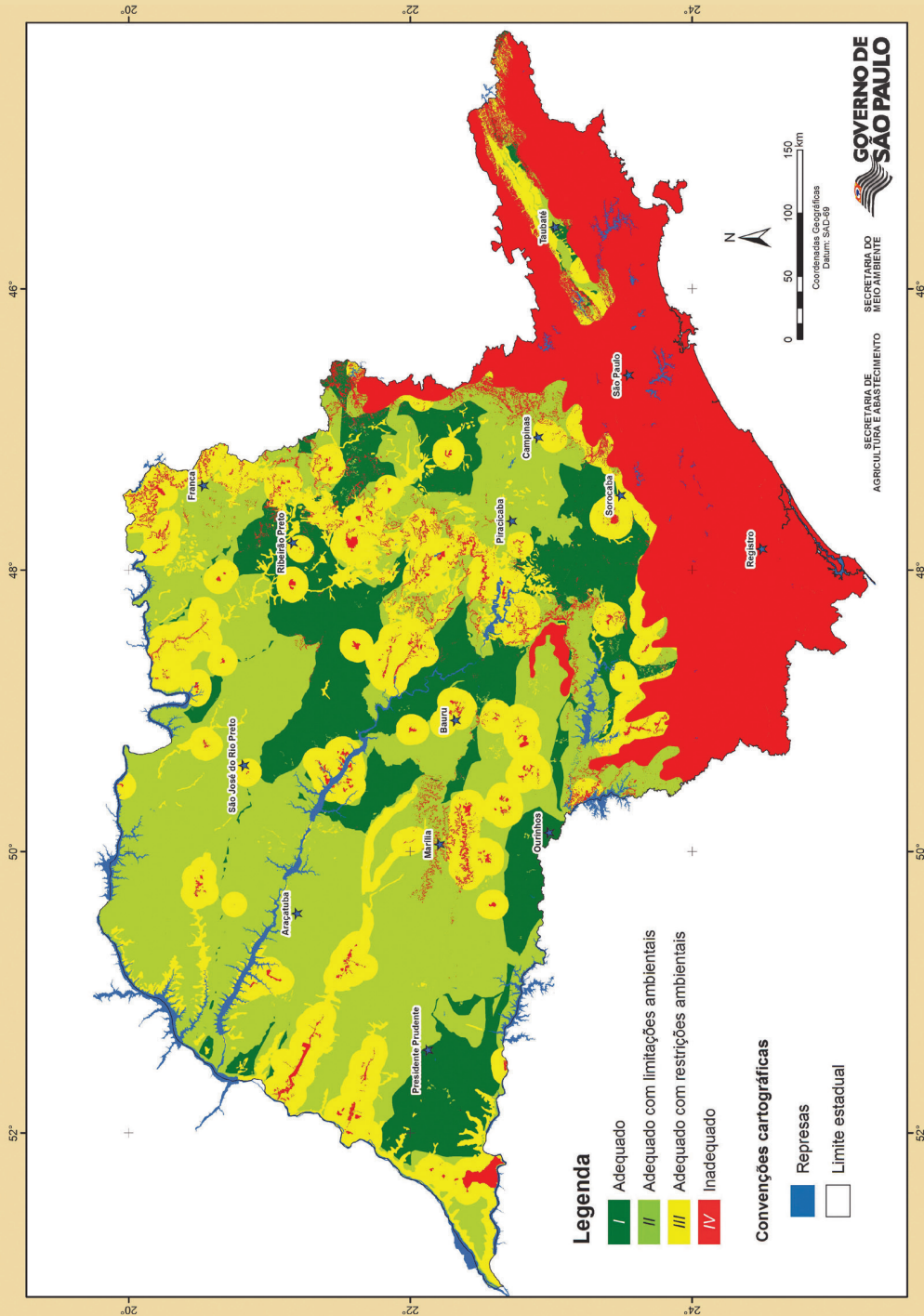


Figura 22 - Zoneamento Agroambiental para o Setor Sucrialcooleiro do Estado de São Paulo. A aptidão das áreas para o cultivo de cana segue a legenda: verde escuro, áreas adequadas; verde claro, áreas adequadas com limitações ambientais; amarelo, áreas adequadas com restrições ambientais; vermelho, áreas inadequadas<sup>30</sup>.

Para essas classes de aptidão, estão estabelecidas diretrizes técnicas para o licenciamento ambiental de novos empreendimentos e para a ampliação de empreendimentos existentes, cujo rigor aumenta de acordo com o nível de restrição para o cultivo de cana<sup>31</sup>.

## 8.2. Certificação

Na sociedade de consumo globalizada e veloz em que vivemos, nem sempre é fácil obter informações a respeito do sistema de produção e organização de trabalho por trás dos bens e serviços que consumimos. Mas essas informações interessam para parcelas mais informadas da população, e também para muitos países que importam bens produzidos no Brasil.

Em relação aos biocombustíveis não é diferente: com as metas de redução de emissões de GEE acordadas pelos países signatários do Protocolo de Kyoto, cresceu o interesse dos países desenvolvidos pelo etanol brasileiro<sup>32</sup>, já que esses países precisam suprir suas demandas por biocombustíveis a médio prazo. Contudo, as certificações tem sido impostas como barreiras não tarifárias para importação de alguns bens de consumo, como os biocombustíveis.

Basicamente, os sistemas de certificação confirmam que num sistema produtivo, determinadas regras foram cumpridas e determinados parâmetros considerados, de acordo com um código pré-estabelecido. Para que a certificação tenha validade, a entidade certificadora deve ser acreditada por um órgão acreditador nacional ou internacional, ou a certificação pode ser concedida diretamente pelo próprio órgão acreditador.



**Figura 23** - Estrutura funcional de sistemas de certificação.

Como exemplo, o INMETRO é o órgão acreditador/certificador de equipamentos de proteção individual (EPI) no Brasil; e acreditador de certificações da série ISO-9000, da mesma forma que instituições internacionais como o BSI.

Para garantir que a produção observou boas práticas sociais e ambientais, existem cerca de 60 sistemas de certificação na área de bioenergia e biocombustíveis no mundo. Cada sistema tem as suas peculiaridades, o que impede que sejam universalmente aplicáveis. No Brasil, a primeira iniciativa de certificação da cadeia produtiva do etanol foi o selo Etanol Verde do Protocolo Agroambiental Paulista.

Na discussão internacional por um sistema unificado de certificação, algumas questões parecem ser colocadas para dificultar a participação do etanol brasileiro no mercado externo. A principal delas é o conceito questionável de “efeitos indiretos”, de acordo com o qual a expansão das culturas para biocombustíveis deslocaria outras culturas para áreas ambientalmente sensíveis, inclusive de outros países. Muitos pesquisadores brasileiros acreditam que esses efeitos indiretos não existem para o etanol brasileiro, que se expande principalmente sobre pastagens degradadas, e os que acreditam na existência desses efeitos indiretos defendem a idéia de que a mensuração desses efeitos é muitíssimo complicada, principalmente quando se supõe que haveria o deslocamento de uma cultura para outro país, de modo que a magnitude real desses “efeitos indiretos” é, na melhor das hipóteses, incerta.

<sup>30</sup> O mapa e os shapefiles que o geraram podem ser visualizados em melhor escala no website do Projeto Etanol Verde (<http://homologa.ambiente.sp.gov.br/etanolverde/zoneamento.asp>).

<sup>31</sup> Resolução SMA nº 88, de 19 de dezembro de 2008

<sup>32</sup> O setor de transportes foi apontado pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente em 2008 como responsável por 25% das emissões mundiais de dióxido de carbono.





A large, stylized graphic of a leaf or plant stem, rendered in a light beige color, dominates the left and center of the page. The leaf is composed of several overlapping, curved shapes that create a sense of movement and growth. The background is a solid, light beige color.

# Perspectivas para o Futuro

9

## 9. Perspectivas para o Futuro

A população mundial está se tornando cada vez mais consciente das questões ambientais, principalmente em tempos em que somos diretamente atingidos pelos impactos das nossas ações em relação ao meio ambiente. O cidadão comum já percebe que o lixo que seu vizinho joga na rua vai entupir os bueiros e provocar sua inundação durante os temporais, cada vez mais intensos. Também percebe que as estações estão mudando, que o clima está ficando mais quente, mais seco, que as coisas estão ficando diferentes. A explicação para essas alterações é unânime: somos responsáveis pelas alterações que causamos no planeta.

Da mesma forma que o cidadão percebe que pode provocar mudanças negativas, percebe que pode evitá-las e ser proativo nas questões ambientais. Percebe seu poder de consumidor consciente, e começa a cobrar das empresas e instituições produtos e serviços ambientalmente corretos. Essa tendência tem crescido no Brasil e no mundo todo, provendo o desenvolvimento de tecnologias mais limpas e de produtos amigos do ambiente.

### 9.1. Inovações na Indústria de Transporte

Acompanhando as tendências de mercado, a indústria de transportes tem investido em tecnologia para melhorar o desempenho e versatilidade dos motores a etanol, tornando esse combustível passível de utilização em outros setores de transporte:

- O avião agrícola Ipanema é produzido no Brasil, desde 2005, pela Embraer. Esse avião é projetado para usar o etanol hidratado como combustível. A Embraer também desenvolve sistemas *flex-fuel* para motores aeronáuticos e fornece kits para conversão para etanol de aviões agrícolas movidos a gasolina. É possível ainda utilizar o etanol em motores que trabalhem pelo ciclo Diesel, desde que o combustível seja corretamente aditivado, através do uso de co-solventes.

- A Suécia possui há cerca de 20 anos uma frota regular de ônibus coletivos que rodam com etanol hidratado aditivado, somando esforços à promoção do transporte coletivo em dez metrópoles do mundo, feita pelo BEST (Bioethanol for Sustainable Transport). Na mesma vanguarda, o Brasil já testa o uso de biodiesel e etanol como biocombustíveis em transportes públicos, na cidade de São Paulo. Desde 2007, ônibus do Projeto BEST fazem regularmente o percurso São Mateus-Jabaquara em São Paulo, devendo se expandir para outras localidades.
- A Moto Honda da Amazônia lançou em março de 2009 a primeira motocicleta flex do mundo, a um custo competitivo. O modelo CG-150 TITAN MIX veio com a proposta de trazer maior economia para os motociclistas e melhor desempenho ambiental, já que também conta com injeção eletrônica e catalisador; os fabricantes estimam que sejam vendidas 200 mil unidades do modelo por ano.



**Figura 24** - CG-150 TITAN MIX, a primeira motocicleta do mundo com tecnologia flex. Fotografia gentilmente cedida pela Moto Honda da Amazônia S.A.

- A experiência acumulada no mercado brasileiro permitiu às montadoras internacionais desenvolver em outros países versões de motores que rodem com 10 % (E10) e até de 20% (E20) de etanol na gasolina. De um modo geral, a *Worldwide Fuel Chart* (WWFC), que representa as especificações para combustíveis veiculares preparadas por associações de fabricantes de automóveis dos Estados Unidos, da Europa e do Japão, aceita a presença de até 10% de etanol como aditivo para a gasolina, desde que ele cumpra com as especificações de qualidade, sem prejuízo do desempenho dos motores. Essa questão é muito importante para garantir o cumprimento das metas de incorporação de etanol nos combustíveis fósseis desses países.

## 9.2. Inovações na agroindústria

- A atual tecnologia de cogeração “pura” das usinas, com ciclos convencionais de vapor de 22 bar é capaz de suprir a demanda interna de vapor e energia elétrica da usina e ainda exportar até 10 kWh por tonelada de cana. Essa tecnologia deverá ser gradativamente substituída por sistemas mais eficientes, como caldeiras com maior pressão de vapor (65-90-100 bar) e processos mais integrados, permitindo exportar maiores quantidades de energia elétrica (> 100 kWh/t de cana), o que transformará as regiões produtoras de cana em verdadeiros pólos produtores e exportadores de energia;
- Com a disponibilização da tecnologia para escala industrial, o resíduo à base de lignina e celulose resultante do processamento da cana poderá ser empregado para fabricação de mais etanol, por meio da tecnologia de conversão bioquímica (gerando ainda mais energia através de ciclos combinados), ou convertido via termoquímica em combustíveis de síntese (como a ‘gasolina verde’ e outros análogos de derivados de petróleo);
- No início de 2008, pesquisadores do Programa de Catálise e Biocatálise da *National Science Foundation* (NSF), nos Estados Unidos <sup>33</sup> anunciaram ter descoberto um processo mediante o qual é possível obter gasolina e óleo

<sup>33</sup> Agência FAPESP, 2009

diesel de açúcares derivados da biomassa vegetal. Segundo esse processo, catalisadores podem transformar açúcares e carboidratos vegetais de uma pasta aquosa em moléculas de carbono mais simples, que são recombina- das para formar hidrocarbonetos similares aos obtidos no processamento de petróleo, podendo ser transformados em combustíveis de diversos tipos para o setor de transportes. O processo já foi testado em plantas piloto, e está relativamente avançado; estima-se que a tecnologia esteja pronta para licenciamento em 2011 e que a “gasolina verde” poderá estar sendo vendida dentro de sete anos. No Brasil essa tecnologia de conversão de açúcares em hidrocarbonetos interessa sobretudo à indústria de transportes pesados, que depende de combustíveis com alta densidade energética, como a gasolina.

### 9.3. Capacitação de mão de obra e melhoria das condições de trabalho

- Ao mesmo tempo em que investe na modernização da colheita, o setor sucroenergético está investindo na capacitação da mão de obra deslocada pela mecanização dos canaviais. A União da Indústria da Cana-de-açúcar, em parceria com o Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) fizeram uma parceria que vai injetar US\$ 625 mil em um programa de qualificação de 3,5 mil trabalhadores do corte de cana em 118 usinas associadas à entidade, para o setor sucroenergético e para outros setores da economia como parte do Programa Renovação, que tem como meta qualificar 7 mil trabalhadores até meados de 2010. Iniciativas similares estão surgindo em todas as regiões produtoras, fazendo com que 30 mil trabalhadores do setor já participem de algum programa de qualificação em todo o país;
- No Estado de São Paulo, a Secretaria do Emprego e Relações do Trabalho (SERT) também lançou em 2009 um programa para capacitação dos cortadores de cana, que vai oferecer cursos em parceria com as usinas a partir de 2010;
- O Governo Federal lançou em junho de 2009 o Compromisso Nacional para

Aperfeiçoar as Condições de Trabalho na Cana-de-Açúcar, um documento de adesão voluntária que prevê a melhoria das condições de trabalho no cultivo manual da cana e a valorização e disseminação das melhores práticas empresariais, contemplando tópicos como contrato de trabalho, assistência ao trabalhador migrante, saúde e segurança do trabalho, transporte e alimentação do trabalhador, incentivo à organização sindical e negociações coletivas e responsabilidade do empreendedor no desenvolvimento da comunidade, bem como fortalecimento de ações e serviços sociais nas regiões exportadoras de trabalhadores para atividades sazonais do cultivo manual da cana-de-açúcar.

#### 9.4. Parcerias e reconhecimento no mercado internacional

- O Brasil está trabalhando para divulgar a sustentabilidade do etanol no mercado externo e desmistificar questões que atravancam a participação plena do Brasil no mercado internacional. Paralelamente, já estamos nos preparando para o futuro, com projetos de dutos que levarão o etanol dos maiores centros produtores até o Porto de Santos, onde ele deverá ser escoado. Isso contribuirá para diminuir as emissões de GEE associadas ao transporte rodoviário do etanol, melhorando ainda mais seu perfil de sustentabilidade;
- O aprimoramento dos processos produtivos, de logística, e da agrotecnologia para fabricação de biodiesel em contextos de maior sustentabilidade devem permitir que esse combustível cumpra seu papel socioambiental e o cumprimento da meta de 5% de adição no diesel BX em 2013, sem prejudicar a produção de alimentos;
- Parcerias estão sendo feitas entre o Brasil e governos de países da África para incentivar a produção de etanol e gerar emprego e renda nesses países, promovendo seu desenvolvimento sustentável. Nada mais justo que levar o ouro verde à África. A diversificação de países produtores e

exportadores de etanol deve inclusive beneficiar o Brasil, por criar mecanismos de mercado que possam pôr fim às barreiras comerciais impostas ao nosso produto.

As iniciativas para a sustentabilidade dos biocombustíveis continuam a todo vapor ao redor do mundo; espera-se que todas possam ter em seus respectivos países o sucesso que teve a cana no Brasil.

Ainda há pontos a serem aprimorados em relação aos biocombustíveis no Brasil; acredita-se que com investimentos em ciência e tecnologia, políticas públicas voltadas para o desenvolvimento sustentável, diálogo com o setor produtivo e a sociedade estas questões possam ser resolvidas, e a eficiência ambiental de nossos produtos e processos melhorada, exportando mais uma vez o exemplo do Brasil para o mundo.

**Para manter-se** atualizado com os últimos resultados do Protocolo Agroambiental do Estado de São Paulo e com notícias relacionadas à energia, preservação ambiental e sustentabilidade, visite o website do Projeto Etanol Verde:

<http://homologa.ambiente.sp.gov.br/etanolverde/default.asp>



## Glossário

**Agroenergia** - energia renovável proveniente do ambiente de produção agrícola, como o etanol, o biodiesel, a energia elétrica gerada pela queima de biomassa etc.

**Agroquímicos** - substâncias sintéticas utilizadas como defensivos agrícolas (agrotóxicos) ou fertilizantes. Quando não observadas as normas de aplicação e de dosagem dos órgãos regulamentadores e do fabricante, podem provocar danos ambientais e problemas de saúde nos trabalhadores rurais e consumidores.

**Aspectos Edafoclimáticos** - aspectos relacionados ao solo e ao clima, importantes para o desenvolvimento das espécies vegetais. Cada espécie tem exigências de solo e clima características, para ter um desenvolvimento ótimo.

**Biocombustível** - todo combustível oriundo de energia acumulada em processos fotossintéticos recentes, como a lenha, o carvão vegetal, o etanol, o biodiesel, o biogás etc.

**Cana Bisada** - toda cana prevista para ser colhida, mas que foi deixada no campo, por motivos diversos.

**Ciclos biogeoquímicos** - mecanismos naturais de ciclagem de matéria e energia, que promovem a passagem de nutrientes ao longo das cadeias alimentares e dos processos naturais da Terra: chuva, vulcanismo, evaporação, intemperismo etc.

**Cloroplastos** - organelas das células vegetais que contêm clorofila e são responsáveis por executar o processo de fotossíntese.

**Controle biológico** - técnica que envolve o emprego de inimigos naturais de pragas no controle de infestações no ambiente agrícola, como joaninhas no combate de pulgões e vespas no controle de lagartas.

**Combustível fóssil** - todo combustível oriundo de processos fotossintéticos antigos, de milhares a milhões de anos, como o petróleo e seus derivados, o gás natural, o carvão mineral e a turfa.

**Ecosfera** - parcela do planeta que suporta a vida, incluindo a crosta terrestre, os oceanos e a atmosfera, além da própria fauna e flora.

## Glossário

**Ecossistema** - parcela da ecosfera com características peculiares, com fauna e flora típicas, associadas a um clima e um solo que as determinam.

**Etanol anidro** - etanol isento de água, com pureza maior que 99,3%; é adicionado de corante laranja para ser adicionado como aditivo à gasolina, na proporção de 25%.

**Etanol hidratado** - etanol que possui teor de água de até 4%, utilizado diretamente como combustível em motores de ciclo Otto a etanol ou flex.

**Evapotranspiração** - processo que envolve a ciclagem de água entre os vegetais superiores e o solo, expresso pela soma total da água que evapora do solo depois de passar pelas plantas e a água resultante da transpiração foliar, geralmente expressa em milímetros por unidade de tempo. Ecossistemas como a Floresta Amazônica possuem alta taxa de evapotranspiração.

**Gases de efeito estufa (GEE)** - gases existentes na atmosfera terrestre, passíveis de refletir a radiação infra-vermelha da Terra de volta para ela, provocando aquecimento. O efeito estufa existe naturalmente em nosso planeta e é responsável por manter a temperatura adequada para a manutenção da vida em sua superfície. No entanto, a alteração da concentração desses gases, provocada sobretudo pela queima de combustíveis fósseis, tem aumentado a retenção de calor na superfície da Terra e uma cascata de conseqüências, que incluem a alteração da circulação oceânica e o degelo das calotas polares. São considerados gases de efeito estufa: o vapor de água, o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), o metano ( $\text{CH}_4$ ), o óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), os hidrofluorcarbonos (HFCs), os perfluorcarbonos (PFCs) e o hexafluoreto de enxofre ( $\text{SF}_6$ ).

**Gás de síntese (syngas)** - gás oriundo da quebra de moléculas de celulose por conversão termoquímica, que pode ser utilizado na síntese de novas moléculas de hidrocarbonetos, como os encontrados na gasolina.

**Isótopos** - átomos de um mesmo elemento que possuem números de massa diferentes, por conterem mais ou menos nêutrons em seus núcleos. O carbono 12 possui massa atômica 12 (6 prótons+6 nêutrons), enquanto o carbono 13 possui massa atômica 13(6 prótons+7 nêutrons). O  $\text{C}^{13}$  é isótopo do  $\text{C}^{12}$ .

## Glossário

**Melhoramento genético** - processo pelo qual são selecionadas as variedades mais interessantes do ponto de vista agrícola, através de sucessivos cruzamentos de indivíduos de linhagens conhecidas até se obter variedades com maior rendimento, resistência a determinadas pragas etc. Por meio do melhoramento genético são selecionados os melhores indivíduos de uma determinada espécie. Não confundir com transgênicos.

**Níveis tróficos** - níveis das cadeias alimentares, por onde circulam matéria e energia: produtor, consumidor primário, consumidor secundário, consumidor terciário, decompositores.

**Plâncton** - conjunto de organismos que formam a base da cadeia alimentar dos ecossistemas aquáticos, vivendo livremente na coluna de água durante toda ou parte de sua vida e possuindo baixa capacidade de locomoção. O plâncton é formado por variedades de espécies que diferem de acordo com as condições ambientais da região, e é classificado em fitoplâncton (formado por algas unicelulares, diatomáceas e dinoflagelados) e zôoplâncton (que engloba formas larvares e juvenis de organismos aquáticos de maior porte e também espécies animais que habitam o plâncton durante todo seu ciclo de vida).

**Reforma do canavial** - procedimento agrícola que prepara uma parcela de canavial com rendimento empobrecido em uma nova área de plantio de cana, mediante remoção das soqueiras, preparação do solo, adubação e finalmente, plantio. No Brasil, geralmente é feita a reforma do canavial a cada 6 anos.

**Silvicultura** - ciência que cuida do planejamento e manejo corretos de sistemas florestais, nativos ou exóticos, voltados para exploração comercial ou para a conservação.

**Soqueiras de cana** - porção da cana que permanece no solo após a colheita, formada basicamente por raízes e restos de caules. Do seu rebrotamento se obtém a cana-soca, que possui menor rendimento agrícola que a cana planta original, podendo ser colhida por até 4 anos, após os quais já não se desenvolvem com tanto vigor, justificando a reforma do canavial.

**Sucroenergético** - nome recentemente dado ao setor sucroalcooleiro, que além de produzir açúcar e álcool, também está produzindo e exportando energia elétrica, por meio da co-geração de energia do bagaço e da palha da cana.

## Bibliografia

A História da Cachaça - Alambique da Cachaça. Disponível em [http://www.alambiquedacachaca.com.br/cachaca\\_historia.php](http://www.alambiquedacachaca.com.br/cachaca_historia.php). Acesso em 19 de Ago. de 2009.

AGÊNCIA FAPESP - Especiais - Gasolina Verde. Disponível em <http://www.agencia.fapesp.br/materia/10894/gasolina-verde.htm>. Acesso em 11 de Ago. de 2009.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Banco de Informações de Geração - Combustível Biomassa. Disponível em <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/CombustivelPorClasse.asp?Classe=Biomassa>. Acesso em 14 de Ago. de 2009.

ANP - AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS  
Resolução ANP Nº 42 de 24/11/04, que estabelece a especificação para a comercialização de biodiesel que poderá ser adicionado ao óleo diesel na proporção 2% em volume. Publicada no DOU a 9/12/2004 - Retificada no DOU a 19/4/2005

ANP - AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS.  
RESOLUÇÃO ANP Nº 7, DE 19.3.2008. *Dispões sobre especificações do biodiesel a ser comercializado pelos diversos agentes econômicos autorizados em todo o território nacional e dá outras providências.* Publicada no DOU 20.3.2008

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Disponível em <http://www.anp.gov.br/biocombustiveis/etanol.asp>. Acesso em: 04/08/09.

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Produção de Biodiesel B100 por Produtor. Disponível em [http://www.anp.gov.br/doc/dados\\_estatisticos/Producao\\_de\\_biodiesel\\_m3.xls](http://www.anp.gov.br/doc/dados_estatisticos/Producao_de_biodiesel_m3.xls). Acesso em 10 de Ago de 2009.

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Disponível em <http://www.anp.gov.br/biocombustiveis/biocombustiveis.asp#impacto>. Acesso em 10 de Ago. de 2009.

ARRIGONI, E. D. B. & ALMEIDA, L. C. "Defensivos (pesticidas e outros)". In: Macedo, I. C. (org.). A energia da cana-de-açúcar: doze estudos sobre a agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e a sua sustentabilidade. São Paulo: Unica, 2005.

BEST. Bioethanol for Sustainable Transport. Disponível em <http://www.best-europe.org/>

## Bibliografia

BNDES. Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável. Organização BNDES e CGEE. Rio de Janeiro: BNDES, 2008. 316 pp.

BRIEU, T. P.; PARENTE, V. Programa Nacional de Produção de Biodiesel: um balanço da primeira fase até 2008. **Biodieselbr**. Ano 2, no 12, Ago/Set 2009. pp 62-64

CAIMAN. Brasil: A humanidade e a cerveja: entrevista de Josef H. Reichholf. Disponível em [http://www.caiman.de/06\\_09/art\\_5/index\\_pt.shtml](http://www.caiman.de/06_09/art_5/index_pt.shtml). Acesso em: 7 de agosto de 2009.

COELHO, S. T. **Current and Future Biomass Utilization in Brazil and the Effect of Landscape Utilization**. Apresentado no Congresso Internacional "Biomass in Future Landscapes: Sustainable Use of Biomass and Spatial Developments", em Berlim, 31 de Março de 2009. Disponível em <http://cenbio.iee.usp.br/documentos/apresentacoes.htm>. Acesso em 31 de Ago de 2009.

CRAIG, H. The Geochemistry of the Stable Carbon Isotopes. **Geochem. Cosmochim. Acta** 3, 53., 1953.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Informe à imprensa: resultados preliminares - BEN 2009**. Disponível em [http://www.epe.gov.br/Estudos/Documents/Estudos\\_13/20090415\\_1.pdf](http://www.epe.gov.br/Estudos/Documents/Estudos_13/20090415_1.pdf). Acesso em 04 de Agosto de 2009.

GOSH, P.; BRAND, W. A. **Stable isotope ratio mass spectrometry in global climate change research**. International Journal of Mass Spectrometry 228, 2003. pp 1-33.

ICS - INTERNATIONAL COMMISSION ON STRATIGRAPHY. International Stratigraphic Chart 2008. Disponível em <http://www.stratigraphy.org/upload/ISChart2008.pdf>. Acesso em 20 de Ago de 2009.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. **Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.

JANSSENS, M. J. J. et al. **The role of photosynthesis and bio-productivity on bioenergy yields**. Bonn: University of Bonn, Institute of Crop Science and Resource Conservation, 2007.

## Bibliografia

**LEI ESTADUAL no 10.547, de 02.05.2000** - Define procedimentos, proibições, estabelece regras de execução e medidas de precaução a serem obedecidas quando do emprego do fogo em práticas agrícolas, pastoris e florestais, e dá outras providências correlatas. Publicada no DOE em 03.05.2000.

**LEI ESTADUAL no 11.241, de 19.09.2002** - Dispõe sobre a eliminação gradativa da queima da palha da cana-de-açúcar e dá providências correlatas. Publicada no DOE em 20.09.2002.

**LEI FEDERAL no 11.097, de 13.1.2005** - Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira; altera as Leis n<sup>os</sup> 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.847, de 26 de outubro de 1999 e 10.636, de 30 de dezembro de 2002; e dá outras providências. Publicada no DOU em 14.1.2005.

MACEDO, I. ; SEABRA, J. E. **De ponta a ponta. Como e porque o álcool combustível melhora a sua vida e do planeta.** Cartilha Educativa da Única. pp 6-7.

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Anuário Estatístico da Agroenergia. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Secretaria de Produção e Agroenergia, 2009.

MARCHESE, J. A. et al. **Composição dos isótopos do carbono e anatomia foliar como ferramenta para caracterizar o mecanismo fotossintético de *Artemisia annua* L.** Brazilian Journal of Plant Physiology. [online]. 2005, vol.17, n.1, pp. 187-190

MORET, A.; RODRIGUES; D., ORTIZ, L. **Critérios e Indicadores de Sustentabilidade para a Bioenergia.** GT Energia do Fórum Brasileiro de ONGs e Movimentos Sociais (FBOMS).Fev. 2006, 11 pp.

PAIS, J. Tempo Geológico - História da Terra. Disponível em [http://domingos.home.sapo.pt/temp\\_geol\\_3.html](http://domingos.home.sapo.pt/temp_geol_3.html). Acesso em 20 de Ago. de 2009.

PHYSICS DAILY. Rudolf Diesel. Disponível em [www.physicsdaily.com/physics/Rudolf Diesel](http://www.physicsdaily.com/physics/Rudolf_Diesel). Acesso em 25 de Ago de 2009.

**PORTARIA MAPA No143, de 27 de junho de 2007** - Dispõe sobre a adição de álcool etílico anidro combustível à gasolina. Publicada no DOU em 29.06.07

## Bibliografia

**RESOLUÇÃO CNPE Nº 2, DE 27 de abril de 2009** - *Estabelece em quatro por cento, em volume, o percentual mínimo obrigatório de adição de biodiesel ao óleo diesel comercializado ao consumidor final, de acordo com o disposto no art. 2º da Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005.* Publicada no DOU em 18.5.2009

**RESOLUÇÃO CONJUNTA SMA-SAA Nº 4, de 18 de Setembro de 2008** - *Dispõe sobre o Zoneamento Agroambiental para o setor sucroalcooleiro no Estado de São Paulo.* Publicada no DOE em 20.09.08 - Seção I - Pág. 93-94.

RESOLUÇÃO SMA No 88, de 19 de dezembro de 2008 - Define as diretrizes técnicas para o licenciamento de empreendimentos do setor sucroalcooleiro no Estado de São Paulo. Publicada no DOE em 20.12.08, Seção I - Pág 160.

RICCI JR, A. "Proteção de nascentes e cursos de água." In: Macedo, I. C. (org). A energia da cana-de-açúcar: doze estudos sobre a agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e a sua sustentabilidade. São Paulo: Unica, 2005b.

SEABRA, J. E. A. Análise de opções tecnológicas para uso integral da biomassa no setor de cana-de-açúcar e suas implicações. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, 2008 (Tese de Doutorado).

SHAY, E. G. Diesel fuel from vegetable oils: status and opportunities. **Biomass and Bioenergy**, vol 4, pp 227 - 242, 1993.

SILVA, O; Fischetti, D. **Etanol, a Revolução Verde e Amarela**. 1ª Edição, São Paulo: Bizz Comunicação e Produções, 2008.

SILVESTRIN, C. **Bioeletricidade - Reduzindo emissões e agregando valores ao sistema elétrico nacional**. Apresentado no Seminário "Bioenergia: Desafios e Oportunidades de Negócios"; CENBIO: Universidade de São Paulo, São Paulo, 26 e 27 de Agosto de 2009.

UNICA. União da Indústria de Cana-de-açúcar. Dados e cotações estatísticas. Disponível em <http://www.unica.com.br/dadosCotacao/estatistica/>. Acesso em 21 de Ago de 2009.

WALTER, A. C. S. & HORTA NOGUEIRA, L. A. "Produção de eletricidade a partir da biomassa." In: CPRTEZ, L. A. B. & Lora, E.E.S. *Tecnologias de conversão energética da biomassa*. 2ª Ed. Manaus: Universidade do Amazonas, 2007.

## Ficha Técnica

### Cadernos de Educação Ambiental

#### Coordenação Geral

Silvana Augusto

#### Equipe

José Énio Casalecchi - colaboração  
Roberta Buendia Sabbagh  
Evelyn Araripe  
Valéria Duarte

### Caderno Etanol e Biodiesel

#### Autoria

Carolina Roberta Alves de Matos - Departamento de Desenvolvimento Sustentável  
- Coordenadoria de Biodiversidade e Recursos Naturais

#### Concepção das Figuras

Carolina Roberta Alves de Matos

#### Execução das Figuras

Juliana Gusson Roscito - Departamento de Desenvolvimento Sustentável - DDS - CBRN

#### Revisão Técnica

Oswaldo dos Santos Lucon - Gabinete da Secretaria do Estado do Meio Ambiente  
Paulo Henrique Barros Silva - CETESB

#### Colaboração Técnica

Aline Maria Zigiotto de Medeiros - Bióloga Marinha  
André Elia Neto - Centro de Tecnologia Canaveira  
Andréa Mayumi Chin Sendoda - DDS - CBRN  
Araci Kamiyama - DDS - CBRN  
Camila Matias Goes de Abreu - DDS - CBRN  
Carlos Eduardo Beduschi - DDS - CBRN  
Cássia Callegari - DDS - CBRN  
Daniel Lobo - Unica  
Francisco Antonio Barba Linero - Centro de Tecnologia Canaveira  
Hélio Martins Lamônica - Centro de Tecnologia Canaveira  
Juliana Gusson Roscito - DDS - CBRN  
Luis Ricardo Viegas de Carvalho - DDS - CBRN  
Luiz Felipe Lomanto Santa Cruz - DDS - CBRN  
Maitê de Souza Sandoval - DDS - CBRN  
Rafael Frigério - DDS - CBRN  
Rodrigo César Finardi Campanha - Fundação Florestal  
Sérgio Murilo D'Arruiz Santana - DDS - CBRN  
Zilmar de Souza - Unica

#### Projeto Gráfico

Vera Severo

#### Revisão do Texto

Lauro Toledo

#### Diagramação

Percepção Programação Visual

#### CTP, Impressão e Acabamento

Imprensa Oficial do Estado de São Paulo

**Fotografias cedidas por:** Rodrigo Campanha, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Associação dos Engenheiros do ITA, Fiat Automóveis S.A., Kleber Halley Guimarães, Wilian Sallun Filho (Instituto Geológico), Moto Honda da Amazônia S.A.

#### SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE

Av. Professor Frederico Hermann Junior, 345  
CEP: 05459-900 São Paulo, SP  
Tel. 11 3133 3000  
www.ambiente.sp.gov.br

**Disque Ambiente: 0800 11 3560**



## ANEXO 1

Escala geológica da Terra, baseada na Tabela Cronoestratigráfica Internacional. Cores não-oficiais.

Eon	Era	Período	Época	Milhões de anos atrás	Paleogeografia e Paleobiologia		
<b>FANEROZÓICO</b>	<b>CENOZÓICO</b>	<b>QUATERNÁRIO</b>	Holoceno	0,0117	Fauna e flora atuais, primeiras manifestações de arte, sepulturas mais antigas		
			Pleistoceno	1,806	Extinção de mastodontes e dinotérios		
		<b>NEOGENO</b>	Plioceno	5,332	Aparecimento de bois, cavalos, primeiros utensílios de pedra	Ligação das duas Américas	
			Mioceno	23,03	Aparecimento dos primeiros hominídeos		
		<b>PALEOGENO</b>	Oligoceno	33,9 ± 0,1	Primeiros proboscídeos.	Separação Austrália-Antártida. Início da elevação dos Himalaias. Conclusão do processo de abertura do Atlântico Norte	
			Eoceno	55,8 ± 0,2	Primeiros roedores e eqüídeos		
			Paleoceno	65,5 ± 0,03	Rápida diversificação dos mamíferos, primeiros primatas.		
		<b>MEZOZÓICO</b>	<b>CRETÁCEO</b>		145,5 ± 4,0	Primeiras angiospermas, grande extinção em massa (dinossauros, etc)	Processo de abertura do Atlântico Sul; separação da América do Sul e África.
			<b>JURÁSSICO</b>		199,6 ± 0,6	Aparecimento dos primeiros monotremados, marsupiais e placentários	
			<b>TRIÁSSICO</b>		251,0 ± 0,4	Primeiros dinossauros, répteis mamalianos e primeiras aves.	Início da separação do mega-continente Pangéia.
	<b>PALEOZÓICO</b>	<b>PERMIANO</b>		299,0 ± 0,8	Maior extinção em massa da Terra no final do período: 95% das espécies conhecidas.		
		<b>CARBONÍFERO</b>		359,2 ± 2,5	Aparecimentos dos répteis		
		<b>DEVONIANO</b>		416,0 ± 2,8	Primeiras gimnospermas e anfíbios		
		<b>SILURIANO</b>		443,7 ± 1,5	Primeiras plantas e animais terrestres, primeiros peixes		
		<b>ORDOVICIANO</b>		488,3 ± 1,7	Primeiros nautilóides		
		<b>CAMBRIANO</b>		542,0 ± 1,0	Primeiros metazoários com exoesqueleto; explosão de biodiversidade, fauna Ediacariana.		
	<b>PROTEROZÓICO</b>				1.000	Aparecimento da reprodução sexuada	
					1.400	Primeiros depósitos de carvão (algas)	
					1.800	Oxigênio livre na atmosfera.	
					2.000	Aparecimento dos eucariontes	
				2.500	Organismos fotossintéticos		
<b>ARQUEANO</b>				3.100	Primeiros microorganismos (cianofícias, bactérias)		
				3.500	Primeiros vestígios de vida (estromatólitos)		
				4.000	Final do bombardeamento meteórico e constituição das planícies lunares, resfriamento da Terra.		
<b>HADEANO</b>				4.600	Formação da Terra		

Fontes: ICS, 2009 e PAIS, 2009