Cadernos de Educação Ambiental

ETANOL E BIODIESEL

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO
SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE

11

11

Cadernos de Educação Ambiental

Etanol e Biodiesel

2ª Edição

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO
SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE
SÃO PAULO
2014

Governo do Estado de São Paulo
Governador *Geraldo Alckmin*

Secretaria do Meio Ambiente
Secretário *Rubens Rizek Jr.*

Coordenadoria de Biodiversidade e Recursos Naturais
Coordenador *Daniel Glaessel Ramalho*

Coordenadoria de Educação Ambiental
Coordenadora *Yara Cunha Costa*

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar e o Estado de São Paulo é responsável por mais de 62% dessa produção. O etanol, produto derivado da cana-de-açúcar, é a segunda maior fonte de energia do país. O bagaço e a palha da cana, resíduos na produção do etanol, podem ser usados para a geração de vapor e de energia elétrica nas usinas de açúcar e álcool modernas. Com as inovações no processo produtivo, algumas usinas passaram a exportar energia para a rede pública e esse potencial de produção energética é renovado anualmente. Dessa forma, a participação das energias renováveis na nossa matriz energética é cada vez mais expressiva e nos coloca em posição de destaque mundial em termos de economia verde.

O biodiesel é um tipo de combustível renovável obtido a partir de óleos vegetais e gorduras animais e tem uma série de vantagens quando comparado ao diesel de petróleo. A queima do biodiesel pode emitir, em média, 48% menos monóxido de carbono, 47% menos material particulado e 67% menos hidrocarbonetos que o diesel de origem fóssil, e quanto maior for a proporção de biodiesel acrescentado ao combustível fóssil, maior será esse efeito positivo.

Para a produção dos biocombustíveis, são necessárias áreas extensas de plantio, que por vezes utilizam técnicas muito impactantes e prejudiciais ao meio ambiente. Tradicionalmente, a monocultura da cana-de-açúcar, por exemplo, utiliza a queima da palha da cana para facilitar a colheita manual, empobrecendo o solo e trazendo muitos transtornos sociais e ambientais. Por esse motivo, a Secretaria Estadual do Meio Ambiente criou, em 2007, o Projeto Etanol Verde, que visava estimular a produção sustentável de etanol, com respeito aos recursos naturais, responsabilidade social e controle da poluição. O projeto levou à assinatura do Protocolo Agroambiental Paulista, parceria entre a Secretaria do Meio Ambiente, a Secretaria de Agricultura e Abastecimento e as associações de produtores de açúcar e etanol paulistas, buscando a eliminação da prática da queima da palha da cana-de-açúcar no Estado, dentre outras diretivas voltadas ao estímulo à produção sustentável

de etanol. Desde a sua criação, o Protocolo Agroambiental tem acumulado sucessivos ganhos ambientais.

Este Caderno de Educação Ambiental apresenta ao leitor a temática dessas importantes fontes de energias renováveis, trazendo desde dados históricos até informações mais técnicas voltadas à produção agrícola e industrial dos biocombustíveis. Esperamos que a leitura do material auxilie na difusão das informações sobre essas importantes fontes de energia renovável, que são responsáveis por um impacto bastante positivo na questão global das mudanças climáticas.

Rubens Rizek Jr.
Secretário de Estado do Meio Ambiente

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO • 9

1. UMA BREVE HISTÓRIA DA ENERGIA • 11
1.1. A fotossíntese • 15

2. BIOMASSA E PRODUÇÃO ENERGÉTICA • 19

3. A CANA-DE-AÇÚCAR • 23
3.1. Processamento da cana-de-açúcar • 29
3.2. Outros produtos da cana-de-açúcar • 32

4. O ETANOL • 35
4.1. Histórico • 36
4.2. O Proálcool • 39
4.3. A tecnologia dos motores a etanol e as vantagens do etanol combustível • 40
4.3.1. Qualidade das emissões • 42
4.3.2. Motores *flex* • 43
4.4. Produção de etanol • 43
4.5. O etanol e a produção de alimentos • 44

5. O BIODIESEL • 49
5.1. Histórico • 50
5.2. Processos de fabricação • 52
5.3. Aspectos ambientais, sociais e produção de alimentos • 54

6. ENERGIAS RENOVÁVEIS E BIOELETRICIDADE • 57

7. MUDANÇAS CLIMÁTICAS E SEQUESTRO DE CARBONO • 63
7.1. A atmosfera • 64
7.2. Os gases de efeito estufa e seu papel no aquecimento global • 65
7.3. Sequestro de carbono • 68

8. POLÍTICAS PÚBLICAS E SUSTENTABILIDADE • 71
8.1. O Projeto Etanol Verde • 73
8.1.1. O Protocolo Agroambiental • 73
8.1.2. O Zoneamento Agroambiental • 82
8.2. A Operação Corta Fogo • 85

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. Certificação • 94
9.5. Parcerias e reconhecimento no mercado internacional • 95

BIBLIOGRAFIA • 97

GLOSSÁRIO • 105

ANEXO • 109

INTRODUÇÃO

Somos personagens relativamente recentes na história da Terra. Contudo, no breve período que estamos 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[1] 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.

1 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.

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 de 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 modernas de açúcar e álcool. Com a modernização das caldeiras e investimentos nos sistemas de cogeração, mais da metade das usinas paulistas já está exportando para a rede pública uma quantidade de energia equivalente a cerca de 22% do consumo residencial paulista[2]. 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.

2 Protocolo Agroambiental e Balanço Energético 2013.

UMA BREVE HISTÓRIA DA ENERGIA

1

1. UMA BREVE HISTÓRIA DA ENERGIA

Ao longo de sua evolução, o ser humano transformou as condições ambientais por meio 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 por meio 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 possível 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.

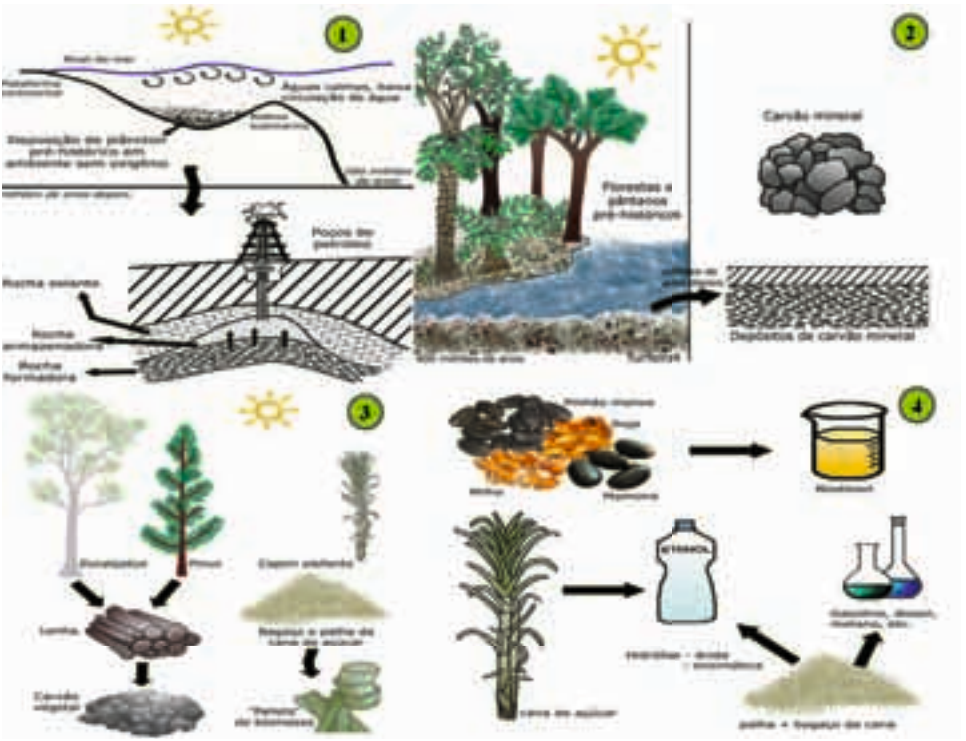


Figura 1 – Síntese e transformação de bioenergia nas principais fontes usadas pela humanidade. Em 1 e 2 é ilustrada a síntese dos combustíveis fósseis, respectivamente o petróleo e o carvão mineral; já em 3 e 4, os biocombustíveis, representados respectivamente pela biomassa e pelo etanol e biodiesel.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

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

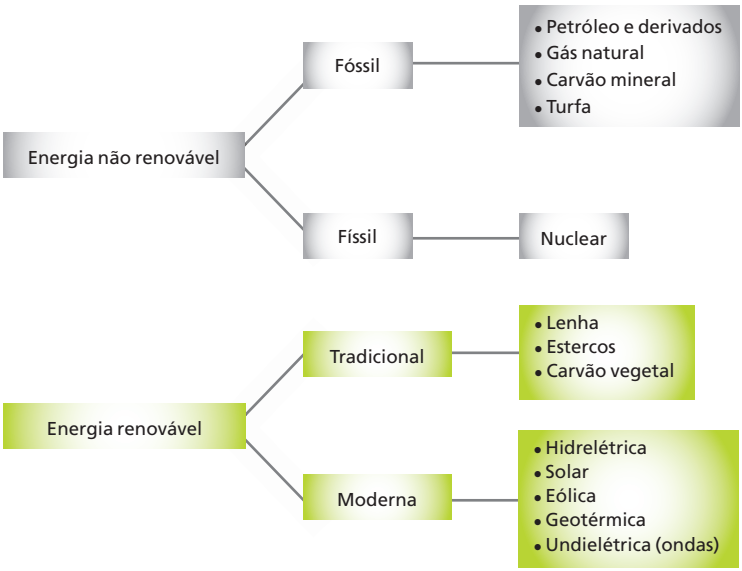


Figura 2 – Formas de energia e classificação de acordo com sua origem. Colaboração de Oswaldo Lucon.

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.[3]

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 o milho (tabela 1).

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

3 De forma simplificada, a fotossíntese segue a equação $6H_2O + 6CO_2 \xrightarrow{\text{luz solar}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2$ 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_2 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).

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 ($g.dm^{-2}.dia^{-1}$)	1	4
dC^{13} 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.

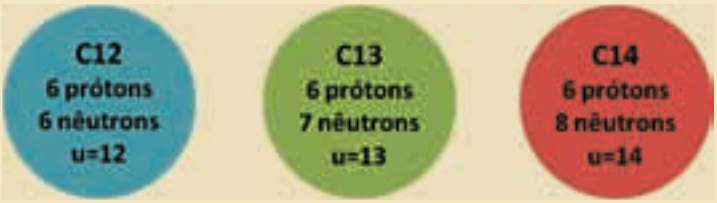
Fonte: Jansens, 2007.

As[4] plantas de ciclos fotossintéticos distintos possuem diferenças metabólicas e anatômicas. Além dessas características o δC^{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.[5]

4 MARCHESE et al, 2005.
5 CRAIG, 1953

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.[3] Expressa em partes por mil (‰), leva em consideração a razão C13/C12 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 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 $\delta C13$. Assim, a assinatura isotópica do carbono das plantas C3 é de 28‰ e das plantas C4, -14 ‰.[4]

BIOMASSA E PRODUÇÃO ENERGÉTICA

2

2. BIOMASSA E PRODUÇÃO ENERGÉTICA

Biomassa 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:

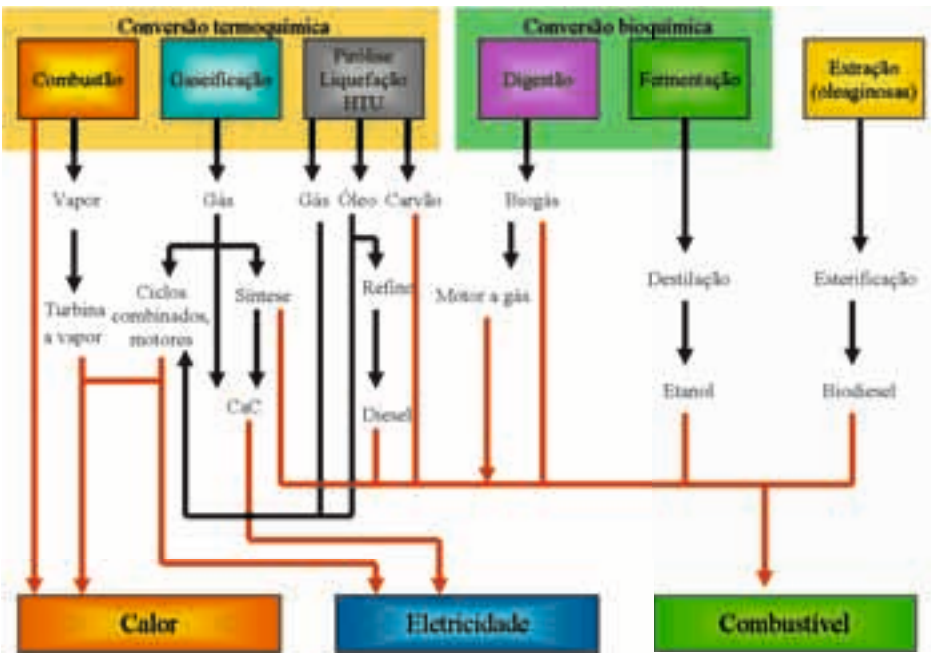


Figura 4 – Principais rotas de conversão da biomassa (adaptado de SEABRA, 2008).

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 terceiro produto de consumo energético doméstico no Brasil (24,2% do consumo residencial), ficando atrás do gás liquefeito de petróleo (GLP, com 27,5%) e da eletricidade (45,3%).[6]

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 7,6 % da energia elétrica produzida no Brasil já é proveniente da combustão da biomassa, com o bagaço da cana respondendo por cerca de 75% desse total[6].

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.

6 EPE, Balanço Energético Nacional 2014.

A CANA-DE-AÇÚCAR

3

3. A CANA-DE-AÇÚCAR

A cana é uma planta semiperene 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:

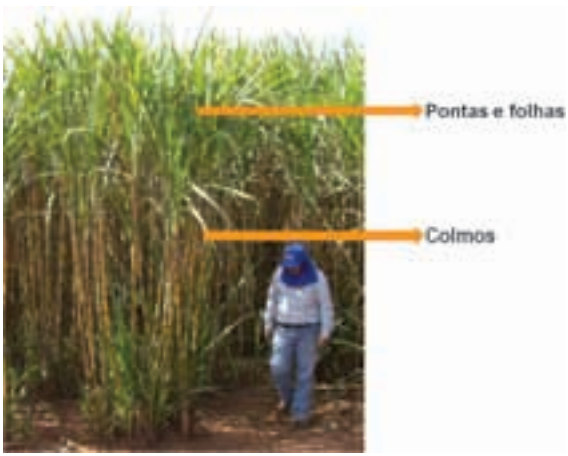


Figura 5 – Estrutura e aspectos típicos da cana. À direita, nota-se o porte de uma linhagem moderna de cana, em comparação com um homem de estatura mediana. A expansão vertical da biomassa por meio do melhoramento genético foi um dos fatores responsáveis pelo aumento da produtividade agrícola da cana. Fotografias 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 agrotóxicos na produção da cana-de-açúcar, a quantidade utilizada é menor do que a aplicada em outras culturas[7] (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.

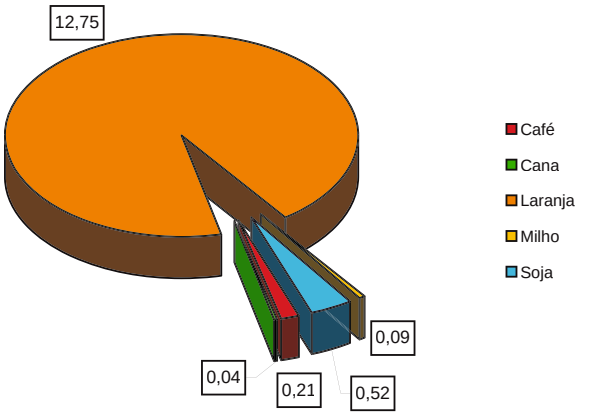


Gráfico 1 – Uso de agrotóxicos nas principais culturas do Brasil (kg ingredientes ativos/ha) [7]

O controle biológico de pragas é comum nas lavouras de cana-de-açúcar: os parasitoides *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 parasitoide *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, em verde.

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

7 Arrigoni & Almeida, 2005; Ricci Jr, 2005.

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, por meio 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 "boias-frias", embora na atualidade as condições de trabalho estejam sensivelmente melhores, principalmente por força da NR-31. A atuação dos órgãos governamentais, a mobilização dos trabalhadores rurais da cana e a sensibilização da sociedade civil foram fundamentais nesse processo, da mesma forma que tem sido com a questão da queima da palha 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, como as frentes de colheita mecanizada, e para outros setores da economia, como a construção civil e os serviços, por meio de parcerias entre o setor produtivo, os sindicatos de classe e o Governo do Estado de São Paulo.

No Estado de São Paulo, foram implementados dispositivos legais para disciplinar a questão da prática de queimadas nas lavouras de cana, nas quais o fogo era utilizado como método despalhador e facilitador do corte8. Dentre outras providências, estabeleceu-se que, nas áreas mecanizáveis a prática de queima da cana deveria cessar totalmente até 2021, enquanto que para as áreas não mecanizáveis (com declividade superior a 12%), esse prazo deveria terminar em 2031.
O Protocolo Agroambiental do Setor Sucroenergético Paulista, que será tratado mais adiante, antecipou esses prazos para 2014 e 2017, respectivamente, para as usinas e fornecedores de cana signatários e comprometidos com as boas práticas agroambientais. Como resultado, na safra 2013/2014, 83,7% da colheita da cana já foram realizados sem o emprego do fogo.

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 com treminhão. Fotografias de Rodrigo Campanha.

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 treminhão, que carrega cerca de 55 toneladas de cana e o rodotrem, com capacidade para transportar 75 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. [8]

8 Lei Estadual nº 11.241 e Decreto Estadual n° 47.700/2003.

3.1. Processamento da cana-de-açúcar

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 processo *Melle-Boinot* [9], 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_2 e SO_2) são separados de acordo com seus respectivos pontos de ebulição, em três etapas sequenciais. Na destilação propriamente dita, o álcool é separado do vinho fermentado em duas fases: a flegma (vapores com 40 a 50º GL) e a vinhaça (com menos de 0,03º GL). No processo de retificação a flegma é concentrada até obter um grau alcoólico de 96º 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 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 99,9º GL, o álcool anidro.

9 O processo fermentativo segue a reação de Gay-Lussac:

$$\underset{\text{Sacarose}}{C_{12}H_{22}O_{11}} + \underset{\text{Água}}{H_2O} \rightarrow \underset{\text{Glicose / frutose}}{C_6H_{12}O_6} \rightarrow \underset{\text{Glicose / frutose}}{C_6H_{12}O_6} \rightarrow \underset{\text{Álcool}}{2H_3CH_2OH} + \underset{\text{Gás carbônico}}{2CO_2} + \underset{\text{Calor}}{23,5kcal}$$

Figura 7 – Processamento da cana para fabricação de etanol. Na sequencia 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 autossuficientes 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. Outros produtos da cana-de-açúcar

Uma série de produtos é gerada paralelamente aos processos tradicionais de fabricação do açúcar e etanol, com finalidades diversas. Dentre eles, 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 meio de uma tecnologia inovadora que reaproveita a celulose contida no bagaço da cana e em aparas de papel;

– Etanol de segunda geração, obtido a partir da fermentação dos açúcares presentes na palha e no bagaço de cana, após pré-tratamento e hidrólise enzimática dessa biomassa;

O 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 com o 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.[10]

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 pela 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 agroin-

10 Cayman, 2009.

dústria açucareira nas Antilhas e em Cuba após a expulsão dos holandeses do Nordeste brasileiro, resultando na queda da participação brasileira no mercado internacional.

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.

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

A agroindústria canavieira intensificou sua expansão no Sudeste do Brasil após o declínio do ciclo do café, na década de 30. Motivado pela infestação da praga do mosaico, nos canaviais paulistas, o Governo de São Paulo decidiu importar uma variedade de cana javanesa, resistente à praga, ao mesmo tempo em que avançava nas pesquisas sobre cana,

realizadas por entidades como a Coopersucar, a Estação Experimental da Cana, o Instituto Agronômico 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.

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 Instituto do Açúcar e Álcool – 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. Com o 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 90, houve o desmonte do IAA e, consequentemente, 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 negocia-

ção 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 80, a produção de etanol hidratado declinou, de modo que, no final dos anos 90, 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.[11]

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

Para combater fraudes – tais como a adição de água ao etanol anidro para ser vendido como hidratado (mistura conhecida como "álcool molhado", já que o etanol anidro tem tributação menor que o hidratado) – a ANP estabeleceu, por meio da Resolução nº 36/2005, a obrigatoriedade de adição de corante laranja ao etanol anidro. Como o etanol hidratado é incolor, o corante denuncia se houver presença de etanol anidro diluído em água no combustível vendido nas bombas.

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

– Apoio das empresas de distribuição de combustíveis, e da Petrobrás 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 mais de 38.000 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 70, 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 Desenvol-

vimento, 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 à 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 autoignição 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[12]. Comparado ao óleo diesel, o etanol também produz menores quantidades de aldeídos.

12 BNDES, 2008.

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 mais 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 27,7 bilhões de litros de etanol (anidro + hidratado), em 2013, cerca de 33% do etanol produzido no mundo. A maioria do etanol que produzimos é consumida no mercado interno (cerca de 80%), e esse consumo vem aumentando, acompanhando o crescimento da frota de automóveis *flex* do país.

Os maiores Estados produtores de etanol no Brasil são: São Paulo, Goiás, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Paraná, Mato Grosso e Alagoas, fazendo com que o Centro-Sul do Brasil responda por mais de 93% da produção nacional de etanol.

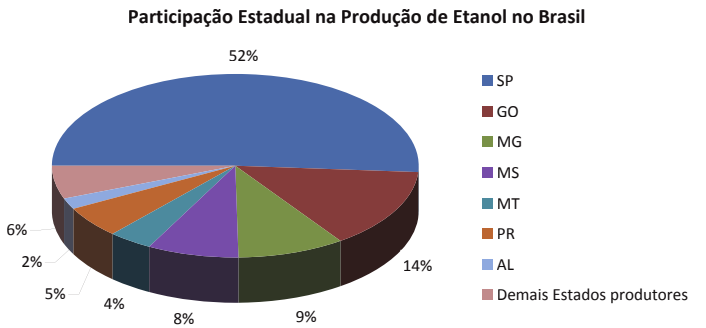


Gráfico 2 – Produção de etanol pelos maiores estados produtores na safra 2013/2014, quando a produção brasileira total de etanol foi de 27,5 bilhões de litros[13].

A produção de etanol no Estado de São Paulo, no mesmo ano, foi de 14,13 bilhões de litros. São Paulo tem respondido, em média, por 55% do etanol produzido no Brasil, e por mais de 16,7% da produção mundial de etanol de cana.[13]

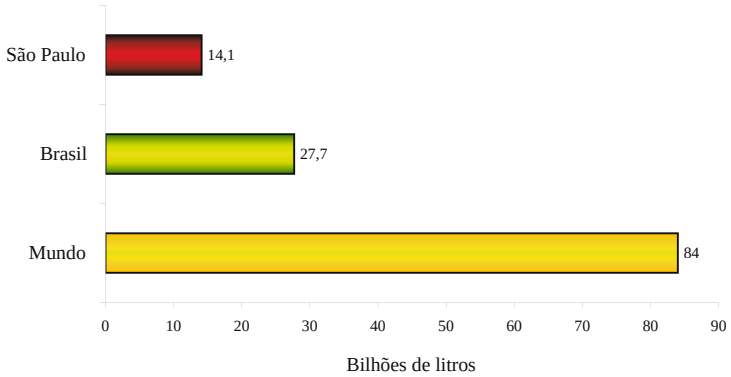


Gráfico 3– Produção de etanol total em São Paulo e no Brasil (de cana) e no mundo (cana+milho+beterraba), na safra 2013/2014.[14]

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

http://www.ambiente.sp.gov.br/etanolverde/

4.5. O etanol e a produção de alimentos

A ideia 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

13 CONAB, 2013.
14 Unica, FAO, CONAB.

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 10 milhões de hectares, com crescente aumento da produtividade (em torno de 4% ao ano). Para produzir etanol, usamos metade dessa área (cerca de 1,3 % 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 28% de sua área agrícola cultivada com cana, respondendo pela geração de 51% do etanol brasileiro, e ainda assim produz alimentos e protege suas florestas. Apenas nas áreas de cana, na reforma de canaviais da safra 2013/2014, foram cultivados mais de 82 mil hectares com culturas alimentícias, como soja e amendoim.

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 Agroambiental e o Protocolo Agroambiental do Setor Sucroenergético Paulista e o aumento da oferta de carros com motores *flex*.

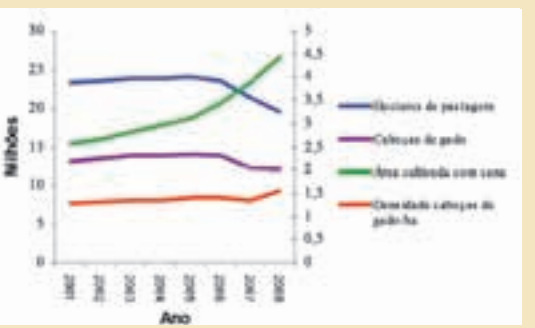


Gráfico 4 – Evolução da pecuária no Estado de São Paulo, com o aumento da concentração de cabeças de gado por hectare.

Fonte: Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo e COELHO, 2009.

Para suprir a demanda mundial de etanol, que inclui o acréscimo de 10% em volume à gasolina (E10), nos Estados Unidos, até 2010; e nos países membros da Comunidade Econômica Europeia, até 2020, 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.[15]

Os Zoneamentos Agroambientais da Cana do Estado de São Paulo e do Brasil disciplinaram a área de expansão da cana e o licenciamento ambiental das usinas, 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.

15 COELHO, 2009, baseado em NIPE-Unicamp, IBGE e CTC.

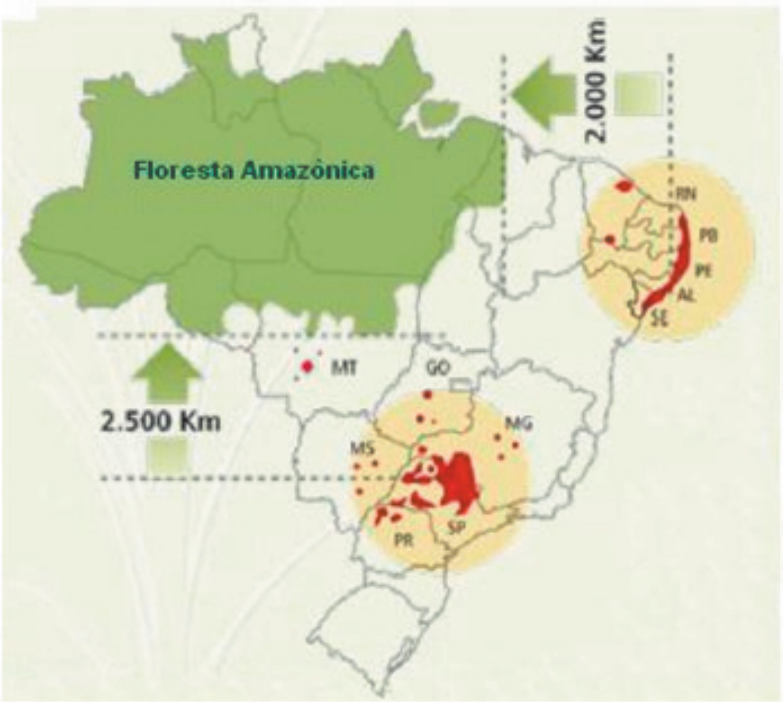


Figura 12 – Localização das culturas de cana, em vermelho, com sua área de influência (em alaranjado), em relação à Floresta Amazônica[15].

O 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[16]. 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.

16 SHAY, 1993.

Ele estava certo. No Brasil, os primeiros registros de uso de óleos vegetais puros como combustíveis remontam aos anos 40, 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 80, o Proóleo, visando a substituição de 30% de volume do diesel por óleos vegetais ou seus derivados e sua total substituição em 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[17], 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)[18]. 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^3 de biodiesel; já em 2013, esse número saltou para 2.917.488 m^3, número esse 7,4% superior ao volume disponibilizado no ano anterior para o mercado interno do país. A soja continua como principal matéria-prima da produção nacional de biodiesel, com participação de 68,6%, seguida do sebo bovino, com 17,3%[6].

17 Lei Federal nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005.
18 Resolução ANP Nº 42, de 24 de novembro de 04.

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.

5.2. Processos de fabricação

O biodiesel pode ser definido como um mono-alquil éster de ácidos graxos derivado de fontes renováveis, como óleos vegetais e gorduras animais (Gráfico 5), produzido principalmente pelo processo de transesterificação.[19] A fabricação de biodiesel deve ocorrer em instalações autorizadas pela ANP e cumprir com as especificações legais.[20]

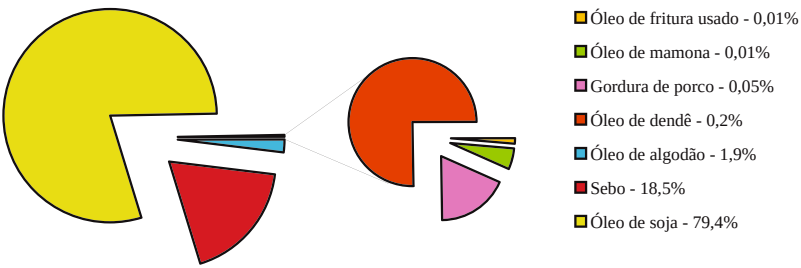


Gráfico 5 – Matérias-primas utilizadas para a produção de biodiesel no Brasil, em 2008.[21]

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 gelifica-

19 O biodiesel também pode ser produzido pelos processos de microemulsões e craqueamento térmico.
20 Resolução ANP nº 7/2008.
21 Brieu, 2009.

ção 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.

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

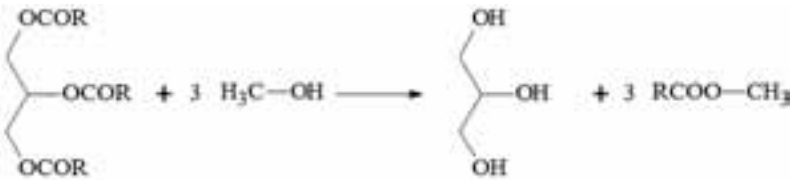


Figura 15 – Reação de transesterificação típica de triglicerídeos, com catalisador alcalino.

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[22] (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 Federal 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 Com-

22 ANP, 2009.

bustível Social e participar do sistema de benefícios fiscais vinculados ao Plano, as usinas produtoras de biodiesel devem comprar matéria-prima da agricultura familiar em percentual mínimo de 50% nas regiões Nordeste e Semiárido, 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 em 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.

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 (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.

O programa brasileiro de biodiesel deverá ser aprimorado com o avanço das pesquisas no setor agroenergético e automotivo, com as políticas públicas para o setor e com o aumento da frota de veículos movidos a B100.

ENERGIAS RENOVÁVEIS E BIOELETRICIDADE

6

6. ENERGIAS RENOVÁVEIS E BIOELETRICIDADE

Enquanto a matriz energética global é extremamente dependente do petróleo e provém de cerca de 86% de fontes energéticas não renováveis, no Brasil, cerca de 46% da oferta interna de energia é proveniente de fontes renováveis, contra 54% de energias não renováveis. No Estado de São Paulo, no ano de 2012, 52,3% da oferta interna de energia foi proveniente de energias renováveis, para as quais os produtos da cana contribuíram com 29,8%, enquanto 47,7% foram provenientes de energias não renováveis, com o petróleo e derivados respondendo por 39%[23], conforme ilustrado pelo Gráfico 6.

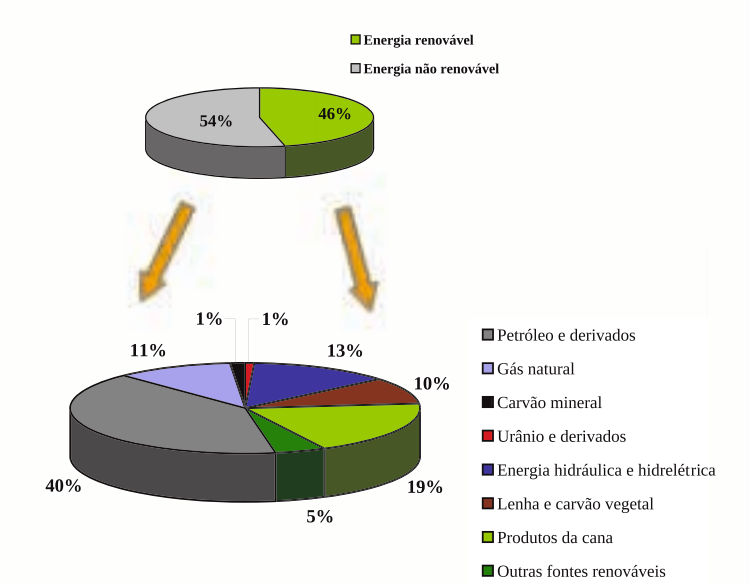


Gráfico 6 – Participação das diferentes fontes na oferta interna de energia do Brasil, em 10^3 tep (toe)[6]

23 Secretaria de Energia do Estado de São Paulo, 2014.

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 Estado de São Paulo possui 506 empreendimentos geradores de energia elétrica em operação, correspondentes a 21.45 MW de potência instalada, oriundos principalmente de usinas hidrelétricas (126 unidades, com 66% da potência instalada) e de usinas termelétricas (380 unidades, com 34% da potência instalada)23, a maioria das quais utilizando bagaço de cana como combustível.

O Gráfico 7 compara a potência instalada das hidrelétricas de Itaipu e Belo Monte e da termonuclear Angra II com a potência instalada existente nas usinas signatárias do Protocolo Agroambiental, sobre o qual trataremos mais adiante.

Fonte: Protocolo Agroambiental, ANEEL

Gráfico 7 – Capacidade instalada de importantes empreendimentos de geração de energia elétrica no Brasil. A capacidade instalada das usinas signatárias corresponde a três vezes a capacidade de Angra II e a 2,75 vezes a capacidade de Itaipu.

Além de produzirem etanol e açúcar, as usinas paulistas realizam cogeração de energia elétrica a partir da queima do bagaço da cana em suas caldeiras, que direcionam vapor para turbogeradores. Além de serem autossuficientes em energia elétrica, 76 das usinas signatárias do Protocolo Agroambiental exportaram energia elétrica para a rede pública de distribuição de eletricidade, em 2013, contribuindo para a segurança energética do Estado com a produção de energia renovável (Gráficos 8 e 9).

A safra da cana atinge seu pico no meio do ano no Estado de São Paulo, período em que os reservatórios de água para geração de energia elétrica se encontram em níveis mais baixos devido à estiagem. Assim, existe a disponibilidade de biomassa nesse período para a geração de energia elétrica de forma descentralizada.

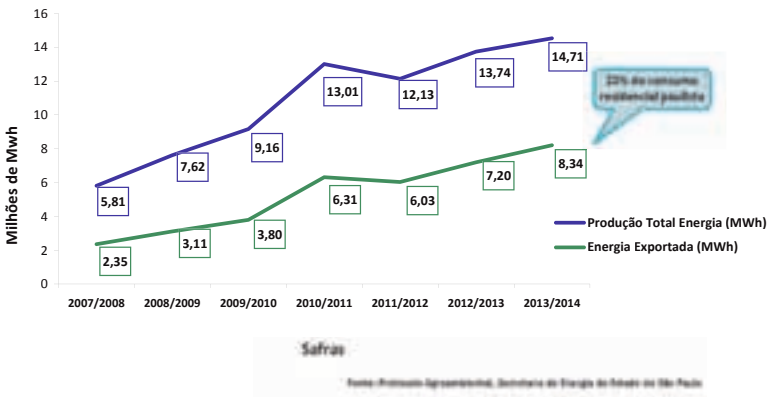


Gráfico 8 – Produção e exportação de energia elétrica pelas usinas signatárias do Protocolo Agroambiental. Nota-se pico de produção e exportação de energia em 2010, quando houve maior processamento de cana nas usinas, em razão da cana bisada de 2009.

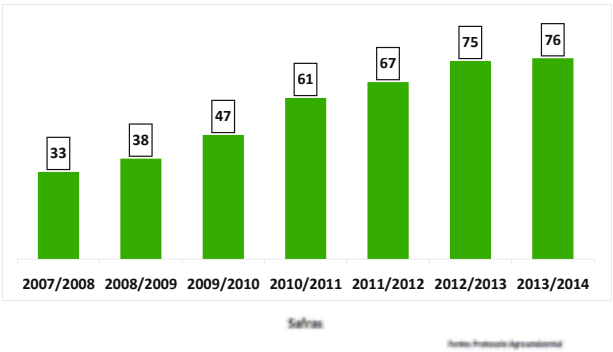


Gráfico 9 – Evolução do número de usinas signatárias exportadoras de energia elétrica. Verifica-se que o seu número dobrou desde o início do Protocolo Agroambiental, demonstrando que a energia elétrica da biomassa está se consolidando como um terceiro produto da cana-de-açúcar.

Figura 16– Usina em operação. Nota-se o monte de bagacilho de cana aguardando queima controlada nas caldeiras à direita. Fotografia de Rodrigo Campanha.

Segundo dados do Balanço Energético Nacional 2014, houve em 2013 um aumento no total de energia consumida no Brasil de 5% em relação ao ano anterior. Prover o mercado com fontes renováveis de energia torna-se assim uma questão estratégica para o desenvolvimento sustentável do país, com estratégias e metas a serem cumpridas a curto e médio prazos.

MUDANÇAS CLIMÁTICAS E SEQUESTRO DE CARBONO

7

7. MUDANÇAS CLIMÁTICAS E SEQUESTRO 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. Por meio 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:

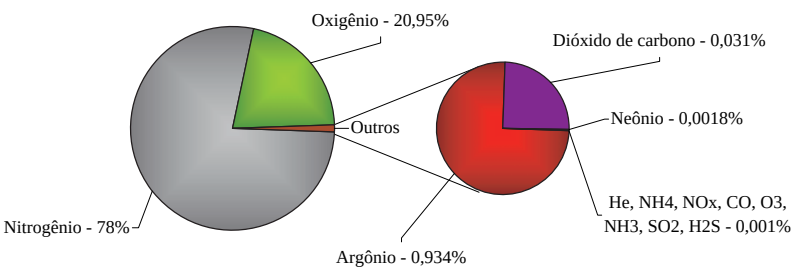


Gráfico 10 – Composição percentual atmosférica média por tipo de gás

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 15º C para -18º C, o que inviabilizaria a vida na Terra, tal como a conhecemos.

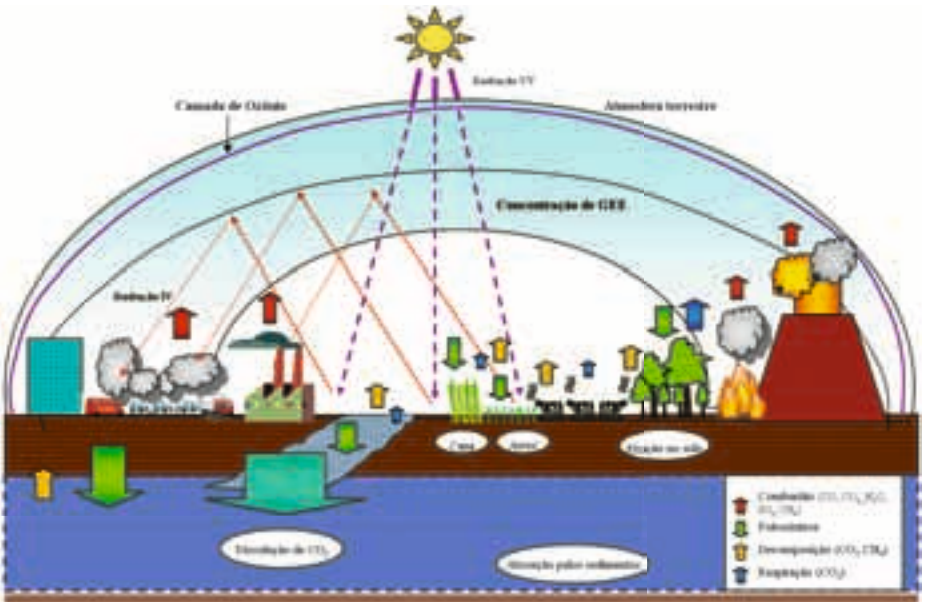


Figura 17 – Esquema simplificado do efeito estufa.

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[24]. Essa variação pré-histórica na concentração atmosférica global de CO_2 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_2 foi o uso de combustíveis fósseis.[25]

A prova irrefutável de que o aumento das temperaturas globais pelo efeito estufa é resultante da ação humana está na variação razão C^{13}/C^{12} (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^{13} dos combustíveis fósseis varia entre -26 e -30 ‰ (etanol da cana possui um δC^{13} de cerca de -10 ‰); portanto, o CO2 oriundo da queima desses combustíveis possui um δC^{13} igualmente baixo, diminuindo, consequentemente, os valores médios da atmosfera, ao se difundir por ela[25].

Segundo o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas, para estabilizar o aumento da temperatura média global em até 2º C, no melhor cenário, será necessário limitar as emissões e promover o sequestro de CO_2 de modo que a concentração atmosférica de CO_2 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

24 IPCC, 2007.
25 GOSH & BRAND, 2003.

padrões de circulação atmosférica e, consequentemente, de temperatura e umidade, deverá haver mudanças na distribuição espacial e na abundância das espécies vegetais, gerando uma sequencia 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.

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 (8mil-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 Pangea, no final do Paleozoico, quando houve uma regressão do nível do mar, que provocou alterações nos padrões climáticos e de correntes oceânicas;

– Uma gigantesca sequência de erupções vulcânicas onde 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 lançados na atmosfera foram responsáveis por disparar um mecanismo que aumentou em 5º C a temperatura global e provocou a sublimação de uma grande quantidade de metano do fundo dos oceanos para a atmosfera, acrescentando mais 5º C à temperatura da Terra.

– A queda de um asteroide 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 4. Esse asteroide 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_2 são os principais fatores que podem explicar essas mudanças, junto com as mudanças provocadas na circulação oceânica devido 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 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 cianoficeas em matriz mineral) da Formação Nova. Fotografias de Willian Sallun Filho, Instituto Geológico.

7.3. Sequestro 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_2, 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 coberto por palha após colheita mecânica, que além de evitar emissões de poluentes e de gases de efeito estufa liberados pela queima da palha, 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, a emissão de uma grande quantidade de carbono, que decorre do uso de combustíveis fósseis no maquinário usado na colheita mecânica e no transporte da cana e do etanol, seja evitada. Com a criação de um novo modal de distribuição de etanol, por meio de dutos, e da substituição de combustíveis fósseis por biocombustíveis no maquinário pesado utilizado no cultivo e na colheita da cana, essas emissões deverão diminuir ainda mais. A figura a seguir resume o balanço de emissões durante a fabricação do etanol:

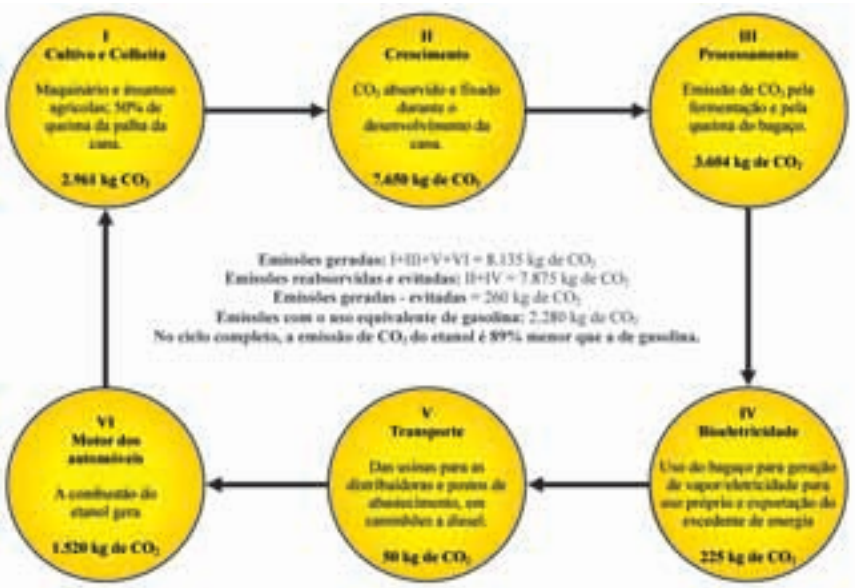


Figura 20 – Balanço das emissões de CO_2 para cada mil litros de etanol de cana produzido e consumido.[26]

26 MACEDO e SEABRA, 2008.

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 a estabelecer políticas públicas, que disciplinassem o desenvolvimento de suas regiões. Com a realização de eventos internacionais, como a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (Rio-92), e protocolos, como o de Montreal (eliminação dos gases que destroem a camada de ozônio) e Kyoto (redução das emissões de gases de efeito estufa), metas de redução de emissões de gases de efeito estufa e agendas de comprometimento de melhorias sociais e ambientais, como a Agenda 21, começaram a ser estabelecidas.

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.

Em um 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 setor sucroenergético, por sua importância social, econômica e ambiental. O setor

passou por uma fase de expansão e modernização observadas, sobretudo, a partir de 2007. 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 n° 11.241/02, do ano 2021 para o ano de 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 setor sucroenergético no Estado, por meio 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 pelas Secretarias do Meio Ambiente (SMA) e da Agricultura e Abastecimento (SAA), 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), com o objetivo de criar mecanismos para estimular e consolidar o desenvolvimento sustentável da produção e da indústria da cana, no Estado de São Paulo. O Protocolo das unidades agroindustriais foi firmado em 2007 com a UNICA, enquanto que o das associações de fornecedores de cana foi firmado com a ORPLANA, em 2008.

O Protocolo prevê o reconhecimento dos esforços das usinas e associações de fornecedores de cana em atender as Diretivas Técnicas do Protocolo, por meio da renovação anual do Certificado Etanol Verde (Figura 21), ocasião em que os dados de acompanhamento do Protocolo são

atualizados pelos signatários. Essas informações complementam o Plano de Ação entregue pelos signatários durante o processo de adesão ao Protocolo e permitem verificar o cumprimento das Diretivas Técnicas.

Os pontos abordados pelo Protocolo abrangem as principais práticas industriais e de cultivo-colheita 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 por meio 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; correta destinação das embalagens de agrotóxicos; e antecipação do prazo legal da utilização da queima da cana como prática de pré-colheita.[27]

Figura 21 – Certificado Etanol Verde, concedido anualmente às usinas e associações de fornecedores de cana signatárias, que demonstrarem o cumprimento das Diretivas Técnicas do Protocolo Agroambiental. A lista das usinas e associações de fornecedores signatárias do Protocolo pode ser consultada no *website* do Etanol Verde[27].

27 Mais informações podem ser consultadas em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/etanolverde>

A proposta de um acordo voluntário por meio 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 socioambiental. 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 22 – Espécie pioneira em área de reflorestamento de canavial. Fotografia de Rodrigo Campanha.

Resultados do Protocolo Agroambiental

A partir de 2007, o setor sucroenergético vivenciou uma grande expansão no Estado de São Paulo, como a instalação de novas unidades agroindustriais e com a expansão dos canaviais. Com a questão ambiental ganhando importância crescente no setor, a maioria das usinas e das associações de fornecedores de cana tornou-se signatária do Protocolo Agroambiental, comprometendo-se a cumprir com suas diretivas técnicas de sustentabilidade. Atualmente, 144 usinas e 27 associações de fornecedores de cana são signatárias do Protocolo, tendo comprometido cerca de 5.180.349 ha com as boas práticas agroambientais, área essa correspondente a 25,3 % da área agricultável do Estado de São Paulo (Gráfico 11).

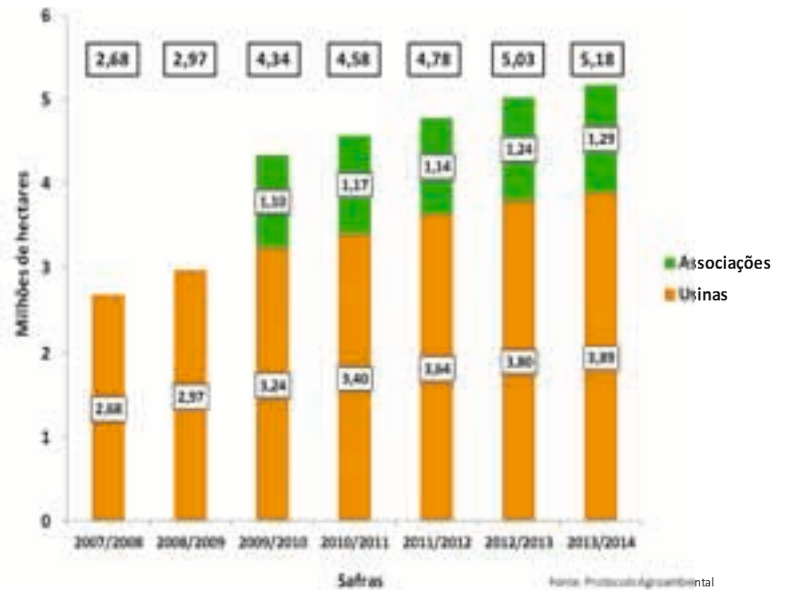


Gráfico 11 – Histórico da área comprometida com boas práticas pelas signatárias do Protocolo Agroambiental. Os dados das associações começaram a ser computados a partir de 2009, quando seus planos de ação foram encaminhados.[28]

28 Protocolo Agroambiental, 2014 (no prelo).

Redução da queima

Na safra 2006/2007, 65,8% dos canaviais do Estado de São Paulo (2,13 milhões de hectares) eram queimados. Isso representava danos ambientais, pela emissão de poluentes (material particulado, monóxido de carbono e hidrocarbonetos) e de gases de efeito estufa (metano e óxido nitroso), além de danos para a saúde da população das regiões canavieiras e para a fauna e flora locais, principalmente quando as queimadas da palha da cana fugiam do controle e se tornavam incêndios florestais. Felizmente, essa situação foi revertida com a participação das usinas e associações de fornecedores de cana no Protocolo Agroambiental, o que reduziu drasticamente o uso do fogo como método de pré-colheita nos canaviais paulistas. Na safra 2013/2014 já foi possível colher 83,7% de cana crua, como mostra o Gráfico 12:

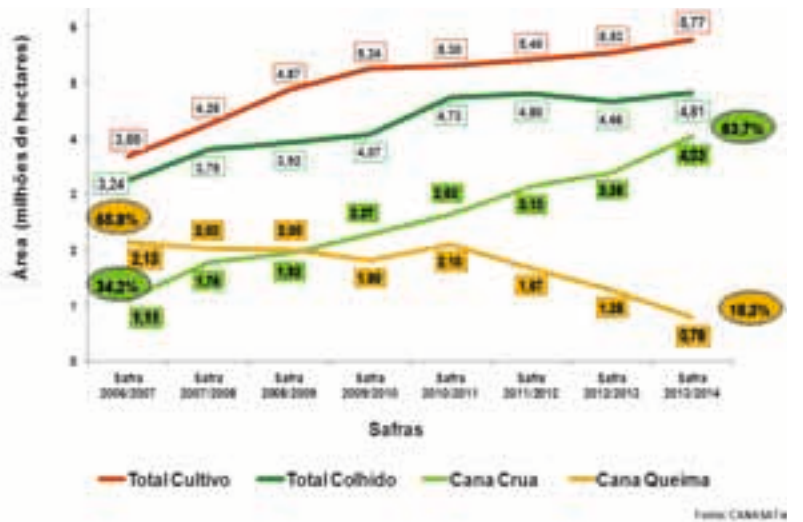


Gráfico 12 – Evolução da colheita da cana no Estado de São Paulo. Nota-se o aumento da colheita crua acompanhando a expansão da cultura da cana, e a queda acentuada da queima a partir da safra 2010/2011. A colheita crua superou aquela realizada com queima na safra 2009/2010.[28]

Com a análise de imagens de satélite, verificou-se que, a partir da safra 2007/2008, teve início a redução gradativa da queima da palha da cana em percentuais maiores que os exigidos pela Lei Estadual nº 11.241/2002 (regulamentada pelo Decreto 47.700/2003). A área acumulada que deixou de ser queimada desde 2006 foi de cerca de 7,16 milhões de hectares, o que resultou na não emissão de mais de 26,7 milhões de toneladas de poluentes e de 4,4 milhões de toneladas de gases de efeito estufa (gráfico 13).

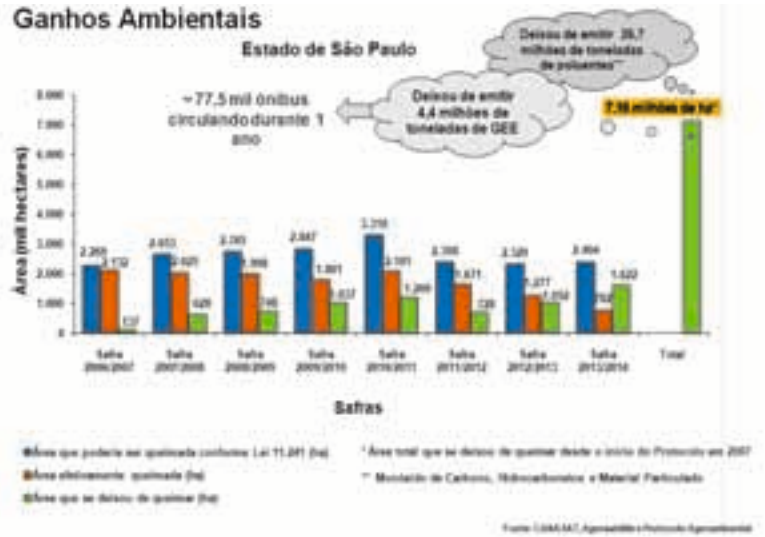


Gráfico 13 – Ganhos ambientais do Estado de São Paulo com a redução da queima. Somadas as áreas que deixaram de ser queimadas em cada safra, deixou-se de queimar 7,16 milhões de hectares de cana desde o início do Protocolo Agroambiental.[28]

Redução do consumo de água

O uso da água no processamento industrial da cana-de-açúcar é disciplinado pelo Zoneamento Agroambiental do Setor Sucroenergético, no âmbito do licenciamento ambiental.

Para atender às metas de redução do consumo de água, que podem assumir patamares de 0,7 ou de 1m^3/tonelada de cana processada, a depender da localização da unidade agroindustrial, as usinas signatárias estão adotando medidas como o fechamento de circuitos e o reuso da água, a lavagem da cana crua a seco e o aprimoramento de processos industriais (Gráfico 14).

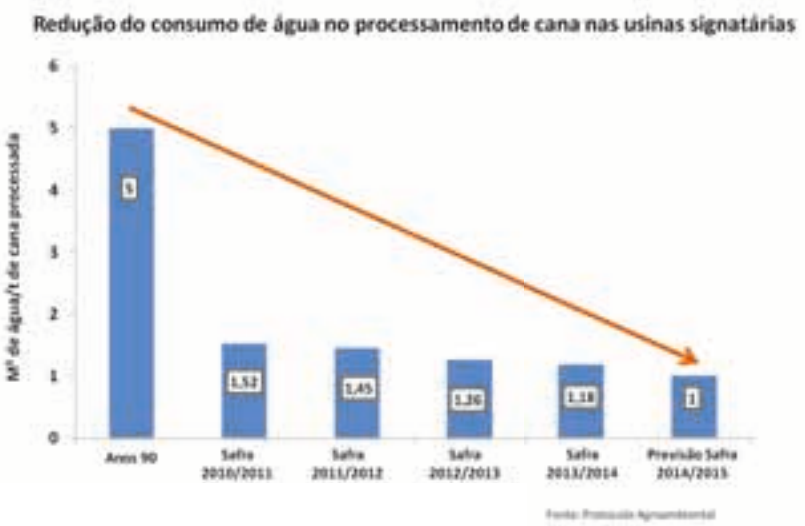


Gráfico 14 – Redução do consumo de água nas usinas signatárias. Como aprimoramento dos processos industriais do setor sucroenergético, a quantidade média de água utilizada no processamento industrial da cana-de-açúcar deve chegar a 1m3/t de cana.[28]

Proteção das áreas de matas ciliares

Por serem as áreas de mata ciliar corredores naturais de biodiversidade, sua proteção é fundamental para aumentar a conectividade entre os fragmentos florestais do Estado, permitindo o fluxo gênico e o aumento e diversificação das populações de fauna e flora.

Embora a cobertura florestal nativa do Estado de São Paulo tenha aumentado nos últimos 20 anos, passando de 13,9%, na década de 90, para 17,5%, em 2010, de acordo com o levantamento realizado pelo Instituto Florestal, no Inventário Florestal de 2010, estima-se que exista um déficit de cobertura florestal de mata ciliar de 1.400.000 há, no Estado de São Paulo. Deste total, aproximadamente 300.000 ha estão em terras do setor sucroenergético, que já se comprometeu com sua proteção (Gráfico 15).

Gráfico 15 – Evolução das áreas ciliares compromissadas com a proteção pelas signatárias do Protocolo Agroambiental. Os dados das associações de fornecedores de cana começaram a ser apresentados em 2009.[28]

Gestão da vinhaça

As ações adotadas pelas usinas signatárias no âmbito da Diretiva Técnica J do Protocolo Agroambiental, que versa sobre o reuso adequado dos resíduos gerados na produção de açúcar e álcool, incluem a apresentação periódica do Plano de Aplicação de Vinhaça à CETESB e o revestimento dos

tanques e canais primários de vinhaça, que vem aumentando desde o início do Protocolo Agroambiental, em conformidade com a legislação vigente [29].

Além da distribuição da vinhaça por meio de canais, outros modais vêm sendo adotados pelas usinas signatárias, como tubulação, caminhões e hidrorolls.

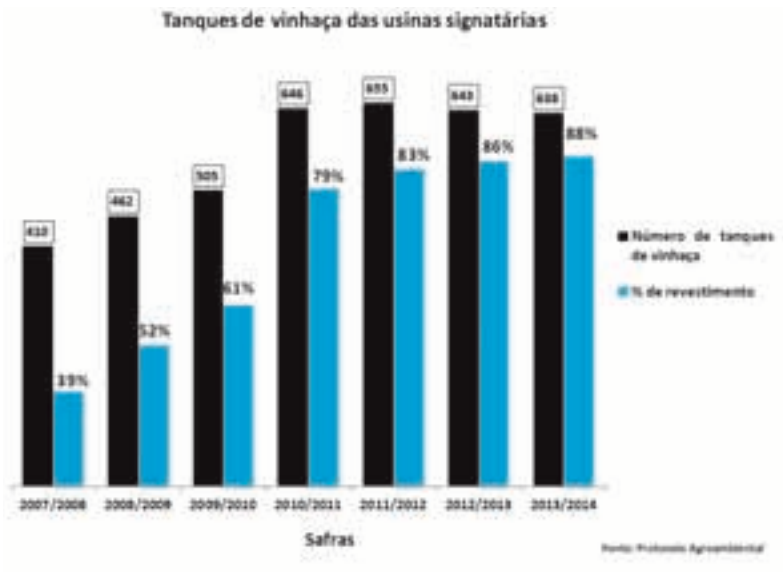


Gráfico 16 – Número de tanques de vinhaça e taxa média de revestimento ao longo das safras. Nota-se um aumento dos tanques de vinhaça e de seu revestimento desde o início do Protocolo Agroambiental [28].

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.

29 Portaria CETESB CTSA 1 de Nov/2005 e a Norma Técnica P4. 231 de Dez/2006.

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[30], 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. Sua versão atualizada pode ser obtida no *website* do Etanol Verde.

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 em relação à aptidão para o cultivo da cana (Figura 23). Esse mapa foi desenvolvido por meio de técnicas de geoprocessamento, que sobrepuseram 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

30 Resolução Conjunta SMA-SAA nº 004, de 18 Setembro de 2008, alterada pela Resolução Conjunta SMA/SAA-006, de 24 de Setembro de 2009.

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 – APA; às áreas com restrições edafoclimáticas para cultura da cana-de-açúcar; e às áreas com declividade superior a 20%.

Figura 23 – Zoneamento Agroambiental para o Setor Sucroalcooleiro 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.[31]

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 ambiental para as agroindústrias.[32]

31 O mapa e os *shapefiles* que o geraram podem ser visualizados em melhor escala no *website* do Etanol Verde (http://www.ambiente.sp.gov.br/etanolverde/zoneamento-agroambiental/).
32 Resolução SMA nº 88, de 19 de dezembro de 2008.

8.2. A Operação Corta Fogo

O ano de 2010 foi considerado um ano atípico, com um período de estiagem bastante prolongado, que resultou em um número elevado de focos de incêndios florestais por todo o Estado, inclusive sobre a palhada de canaviais já colhidos mecanicamente. Esse cenário tornou premente a ação governamental, que buscou articular ações a nível estadual de prevenção e combate a esses incêndios.

O Sistema Estadual de Prevenção e Combate a Incêndios Florestais foi instituído por meio do Decreto Estadual nº 56.571/2010 e da Resolução SMA n° 23/2011 com o objetivo de proteger as áreas de cobertura vegetal contra incêndios, proteger os recursos naturais e desenvolver alternativas seguras ao uso do fogo, quando legalmente autorizado. Para efetivação do sistema foi criada a Operação Corta Fogo, que visa a redução dos focos de incêndio e, consequentemente, a minimização dos impactos que estes acarretam, como o aumento da poluição do ar e da emissão de gases de efeito estufa (GHG), eliminação de áreas florestadas, perdas de vidas humanas, perdas materiais, danos à fauna e à flora, perda de material energético (biomassa), dentre outros.

Esse sistema é coordenado pela Secretaria do Meio Ambiente (SMA), por meio da Coordenadoria de Fiscalização Ambiental (CFA). A Operação envolve e articula, ainda, a ação de diversos órgãos como o Corpo de Bombeiros, a Coordenadoria da Defesa Civil da Casa Militar, a Polícia Militar Ambiental (PAmb), a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), a Fundação Florestal (FF) e o Instituto Florestal (IF). O esforço integrado entre órgãos executivos de governo proporciona a estruturação de planos, projetos e ações eficazes de redução de riscos e resposta emergencial, com o propósito de minimizar os danos ambientais associados aos incêndios em coberturas vegetais.

A Operação Corta Fogo se desenvolve por meio de quatro programas complementares, que possuem objetivos específicos:

Programa de Prevenção: divulgação de medidas preventivas, esclarecendo a população sobre os riscos e prejuízos causados pelos incêndios, por meio de ações educativas e campanhas de comunicação.

Programa de Controle: disciplina o emprego do fogo por meio da Sistemática de Autorização e Controle de Queimadas; monitoramento e fiscalização das autorizações emitidas para Queima Controlada, bem como de incêndios florestais e focos de queimadas ilegais.

Programa de Monitoramento: monitoramento de focos de incêndios e queimadas, bem como das condições climáticas que favoreçam o aumento do risco de fogo, com o objetivo de operar em tempo real, emitindo alertas e fornecendo subsídios aos órgãos participantes da Operação Corta Fogo.

Programa de Combate: planejamento, integração e execução de ações de combate a incêndios florestais; treinamento de brigadas municipais e de Unidades de Conservação e instituição de PAM (Planos de Auxílio Mútuos) vinculados aos Grupamentos do Corpo de Bombeiros. Atualmente, existem cerca de 15 PAM no Estado, os quais contam com a participação de, aproximadamente, 67 municípios e 100 empresas privadas.

São agentes no combate aos incêndios florestais no Estado de São Paulo: Corpo de Bombeiros, Coordenadoria Estadual de Defesa Civil, brigadas municipais, brigadas das unidades de conservação, usinas de açúcar e etanol, empresas do setor florestal e concessionárias de rodovias.

Figura 24 – Incêndios florestais. Da esquerda pra direita e de cima para baixo: área ciliar queimada por incêndio iniciado às margens de rodovia; reflorestamento de 2 anos destruído pelo mesmo evento. Os incêndios florestais não respeitam divisas nem fronteiras. Nesse evento, ocorrido na cidade de Araraquara, o incêndio iniciado à beira de uma rodovia se propagou para dentro da propriedade canavieira, atingindo parte da colônia de trabalhadores residentes na propriedade. Fotografias de Renato Nunes. No canto inferior à direita: ação de combate a incêndio florestal na Estação Ecológica Jataí, em que cerca de 400 hectares foram queimados. Crédito: Fundação Florestal.

A ocorrência de incêndios florestais é atualmente considerada uma das grandes ameaças à biodiversidade e um dos principais problemas de degradação ambiental de áreas protegidas. Além de danificarem a produção agrícola das regiões canavieiras e ameaçarem a população rural, esses incêndios levam poluição às áreas urbanas e prejudicam o tráfego nas rodovias.

Ao avistar fumaça ou focos de incêndio, contate imediatamente o Corpo de Bombeiros. Você pode ajudar a salvar vidas!

Ligue 193

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 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 à gasolina. É possível, ainda, utilizar o etanol em motores que trabalhem pelo ciclo Diesel, desde que o combustível seja corretamente aditivado, com o uso de cossolventes.

– 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, os 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 25 – 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 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 está sendo 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 está transformando as regiões produtoras de cana em verdadeiros polos produtores e exportadores de energia. A energia elétrica da biomassa vem tendo participação crescente nos leilões de energia, além de estar ganhando espaço no mercado *spot* de energia elétrica.

– 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 por meio de ciclos combinados); ou poderá ser 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[33] anun-

33 Agência FAPESP, 2009.

ciaram ter descoberto um processo mediante o qual é possível obter gasolina e óleo 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 recombinados 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 "gasolina verde" poderá ser vendida dentro de alguns 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 e o Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) fizeram uma parceria, que injetou cerca de 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, com a meta de qualificar 7 mil trabalhadores, até meados de 2010. Iniciativas similares estão surgindo em todas as regiões produtoras, fazendo com que mais de 30 mil trabalhadores do setor tenham participado 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, oferecendo cursos em parceria com as usinas a partir de 2010.

– Em junho de 2009 foi lançado 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.

– A observação, pelos empregadores e trabalhadores rurais, da Norma Regulamentadora nº 31, do Ministério do Trabalho e Emprego (NR-31), que trata da Segurança e Saúde do Trabalho na Agricultura, Pecuária, Silvicultura, Exploração Florestal e Aquicultura, aliada à fiscalização de seu cumprimento por agentes da lei, contribuiu para melhorar a qualidade e a segurança do trabalho rural no país, incluindo o trabalho no setor sucroenergético.

9.4. 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[34], já que esses países precisam suprir suas demandas por bio-

34 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.

combustíveis em médio prazo. Contudo, as certificações têm sido impostas como barreiras não tarifárias para importação de alguns bens de consumo, como os biocombustíveis.

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 certificado Etanol Verde do Protocolo Agroambiental Paulista.

9.5. 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 sem prejudicar a produção de alimentos.

– Parcerias estão sendo feitas entre o Brasil e governos de diversos países para incentivar a produção de etanol de cana-de-açúcar e gerar emprego e renda nesses países, promovendo seu desenvolvimento sustentável. 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-de-açúcar no Brasil.

Ainda há pontos a serem aprimorados em relação aos biocombustíveis no Brasil. Acredita-se que, com investimentos em ciência e tecnologia, valorização dos biocombustíveis em relação aos combustíveis fósseis, políticas públicas voltadas para o desenvolvimento sustentável, diálogo com os setores produtivos e a sociedade, esses desafios possam ser superados, resultando na melhoria da eficiência ambiental de nossos produtos e processos, o que tornará possível exportar 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 Etanol Verde:

http://www.ambiente.sp.gov.br/etanolverde/

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

ALAMBIQUE DA CACHAÇA. **A História da Cachaça.** Disponível em: <http://www.alambiquedacachaca.com.br/cachaca_historia.php>. Acesso em: 19 ago. 2009.

AGÊNCIA FAPESP. **Gasolina Verde**. Disponível em: <http://www.agencia.fapesp.br/materia/10894/gasolina-verde.htm>. Acesso em: 11 ago. 2009. (Série Especiais).

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

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. Resolução ANP Nº 42, de 24 de novembro de 2004. Regula o armazenamento de derivados de petróleo e biocombustíveis. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 9 dez. 2004. Retificada em 19 abr. 2005.

_____. Resolução ANP Nº 7, de 19 de março de 2008. Dispõe sobre especificações do biodiesel a ser comercializado pelos diversos agentes econômicos autorizados em todo o território nacional e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 20 mar. 2008.

_____. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/biocombustiveis/etanol.asp>. Acesso em: 4 ago. 2009.

_____. **Produção de Biodiesel B100 por Produtor**. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/doc/dados_estatisticos/Producao_de_biodiesel_m3.xls>. Acesso em: 10 ago. 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: Única, 2005.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL; CENTRO DE GESTÃO DE ESTUDOS ESTRATÉGICOS (Org.). **Bioetanol de cana-de-açúcar**: energia para o desenvolvimento sustentável. Rio de Janeiro, 2008. 316 pp.

BRASIL. Lei Federal nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005. Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira; altera as Leis nºs 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. **Diário Oficial da União**, 14 jan. 2005.

BRIEU, T. P.; PARENTE, V. Programa Nacional de Produção de Biodiesel: um balanço da primeira fase até 2008. **Biodieselbr**. [S.l.]: Ano 2, nº 12, p. 62-64, ago./set. 2009.

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>. Acesso em: 7 ago. 2009.

COELHO, S. T. Current and Future Biomass Utilization in Brazil and the Effect of Landscape Utilization. In: Biomass in Future Landscapes: Sustainable Use of Biomass and Spatial Developments, 31 mar. 2009, Berlim. **[Anais eletrônicos]**. Disponível em: <http://cenbio.iee.usp.br/documentos/apresentacoes.htm>. Acesso em: 31 ago. 2009.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Portaria CETESB CTSA 01, de 28 de novembro de 2005. Dispõe sobre os prazos e procedimentos para a impermeabilização de tanques de armazenamento de vinhaça e de canais mestres ou primários, já instalados, de uso permanente para a distribuição da vinhaça destinada à aplicação no solo. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**, 29 nov. 2005.

_____. Norma Técnica P4.231, de dezembro de 2006. Estabelece os critérios e procedimentos para o armazenamento, transporte e aplicação da vinhaça, gerada pela atividade sucroalcooleira no processamento de cana-de-açúcar no solo do Estado de São Paulo. São Paulo, dez. 2006. **Documento eletrônico.** Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Tecnologia/camaras/P4_231.pdf>. Acesso em: 2 out. 2014.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Cana-de-açúcar.** Safra 2013/14. Terceiro Levantamento – Dezembro/2013. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_12_20_10_56_08_boletim_cana_portugues_-_dez_2013_3o_lev_-_original.pdf>. Acesso em: 24 set. 2014. (Série Acompanhamento da Safra Brasileira).

CONSELHO NACIONAL DE POLÍTICA ENERGÉTICA. 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. **Diário Oficial da União**, 18 mai. 2009.

CRAIG, H. The Geochemistry of the Stable Carbon Isotopes. **Geochem. Cosmochim**. **Acta**. [S.l.]: 3, 53, 1953.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanço Energético Nacional 2014**: Relatório síntese – Ano base 2013. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/Estudos/Documents/BEN%202014%20Rel%20S%C3%ADntese%20ab%202013a.pdf >. Acesso em: 5 set. 2014.

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

INTERNATIONAL COMISSION ON STRATIGRAPHY. **International Stratigraphic Chart 2008**. Disponível em: <http://www.stratigraphy.org/upload/ISChart2008.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2009.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. In: SOLOMON, S. D.; QIN, M.; MANNING, Z. et al. (ed.). **Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** Cambridge, Reino Unido; Nova Iorque, NY, EUA: Cambridge University, [2008?]. 996 pp.

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

MACEDO, I. ; SEABRA, J. E. **De ponta a ponta**: Como e porque o álcool combustível melhora a sua vida e do planeta. [S.l]: Única, [199– ou 20--]. pp 6-7. Cartilha.
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]. [S.l.]: 2005. vol.17, n.1, pp. 187-190.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Portaria MAPA Nº 143, de 27 de junho de 2007. Dispõe sobre a adição de álcool etílico anidro combustível à gasolina. **Diário Oficial da União**, 29 jun. 2007.

_____. **Anuário Estatístico da Agroenergia**. Brasília: Secretaria de Produção e Agroenergia do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2009.

MORET, A.; RODRIGUES; D., ORTIZ, L. Critérios e Indicadores de Sustentabilidade para a Bioenergia. In: **GT Energia**. [S.l]: Fórum Brasileiro de ONGs e Movimentos Sociais para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, fev. 2006. 11 pp.

PAIS, J. **Tempo Geológico**: História da Terra. Disponível em <http://domingos.home.sapo.pt/temp_geol_3.html>. Acesso em: 20 ago. 2009.

PHYSICS DAILY. **Rudolf Diesel.** Disponível em: <www.physicsdaily.com/physics/Rudolf_Diesel>. Acesso em: 25 ago. 2009.

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: Única, 2005b.

SÃO PAULO (Estado). Lei Estadual nº 10.547, de 2 de maio de 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. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**, 3 mar. 2000.

_____. Lei Estadual nº 11.241, de 19 de setembro de 2002. Dispõe sobre a eliminação gradativa da queima da palha da cana-de-açúcar e dá providências correlatas. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**, 20 set. 2002.

_____. Decreto Estadual nº 47.700, de 11 de março de 2003. Regulamenta a Lei nº 11.241, de 19 de setembro de 2002, que dispõe sobre a eliminação gradativa da queima da palha da cana-de-açúcar e dá providências correlatas. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**, 12 mar. 2003.

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

SECRETARIA DE ENERGIA DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Balanço Energético 2013**: Ano base 2012. Pág. 128, 2013.

_____. **Resumo Executivo Energia Elétrica**: 3º Bimestre/2014. Disponível em: <http://www.energia.sp.gov.br/arquivos/resumo-executivo-energia-eletrica.pdf>. Acesso em: 30 set. 2014.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO. 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. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**, 20 set. 2008. Seção 1, p. 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. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**, 20 dez. 2008.

_____. **Protocolo Agroambiental**: Resultados da Safra 2013/2014. Disponível em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/etanolverde/files/2014/05/Resultados-safra-2013_2014-Etanol-Verde.pdf> Acesso em 03.09.2014.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO; INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA. **Protocolo Agroambiental do setor sucroenérgetico Paulista:** dados consolidados das safras 2007/2008 a 2013/2014. No prelo.

SHAY, E. G. Diesel fuel from vegetable oils: status and opportunities. In: **Biomass and Bioenergy**. [S.l], vol 4, p. 227–242, 1993.

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

SILVESTRIN, C. Bioeletricidade: Reduzindo emissões e agregando valores ao sistema elétrico nacional. In: **Bioenergia**: Desafios e Oportunidades de Negócios. São Paulo, Centro Nacional de Referência em Biomassa, Universidade de São Paulo, 26 e 27 de Agosto de 2009. Apresentação em seminário.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. **Dados e cotações estatísticas**. Disponível em: <http://www.unica.com.br/dadosCotacao/estatistica/>. Acesso em: 21 ago. 2009.

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

GLOSSÁRIO

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.

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%; tem adicionado corante laranja para ser usado 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 infravermelha 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 consequencias, 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 (CO_2), o metano (CH_4), o óxido nitroso (N_2O), os hidrofluorcarbonos (HFCs), os perfluorcarbonos (PFCs) e o hexafluoreto de enxofre (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 1(6 prótons+7 nêutrons). O C^{13} é isótopo do C^{12}.

Melhoramento genético – processo pelo qual são selecionadas as variedades mais interessantes do ponto de vista agrícola, por meio 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 zooplâncton (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 cogeração de energia do bagaço e da palha da cana.

ANEXO

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

Eon	Era	Período	Época	Milhões de anos atrás	Paleogeografia e Paleobiologia	
FANEROZÓICO	CENOZÓICO	QUATERNÁRIO	Holoceno	0,0117	Fauna e flora atuais, primeiras manifestações de arte, sepulturas mais antigas	
			Pleistoceno	1,806	Extinção de mastodontes e dinotérios	
		NEOGENO	Plioceno	5,332	Aparecimento de bois, cavalos, primeiros utensílios de pedra	Ligação das duas Américas
			Mioceno	23,03	Aparecimento dos primeiros hominídeos	
		PALEOGENO	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 equídeos	
			Paleoceno	65,5 ± 0,03	Rápida diversificação dos mamíferos, primeiros primatas.	
	MEZOZÓICO	CRETÁCEO		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.
		JURÁSSICO		199,6 ± 0,6	Aparecimento dos primeiros monotremados, marsupiais e placentários	
		TRIÁSSICO		251,0 ± 0,4	Primeiros dinossauros, répteis mamalianos e primeiras aves.	Início da separação do mega-continente Pangéia.
	PALEOZÓICO	PERMIANO		299,0 ± 0,8	Maior extinção em massa da Terra no final do período: 95% das espécies conhecidas.	
		CARBONÍFERO		359,2 ± 2,5	Aparecimentos dos répteis	
		DEVONIANO		416,0 ± 2,8	Primeiras gimnospermas e anfíbios	
		SILURIANO		443,7 ± 1,5	Primeiras plantas e animais terrestres, primeiros peixes	
		ORDOVICIANO		488,3 ± 1,7	Primeiros nautilóides	
		CAMBRIANO		542,0 ± 1,0	Primeiros metazoários com exoesqueleto; explosão de biodiversidade, fauna Ediacariana.	
PROTEROZÓICO				1000	Aparecimento da reprodução sexuada	
				1400	Primeiros depósitos de carvão (algas)	
				1800	Oxigênio livre na atmosfera.	
				2000	Aparecimento dos eucariontes	
				2500	Organismos fotossintéticos	
ARQUEANO				3100	Primeiros micro-organismos (cianofícias, bactérias)	
				3500	Primeiros vestígios de vida (estromatólitos)	
				4000	Final do bombardeamento meteórico e constituição das planícies lunares, resfriamento da Terra.	
HADEANO				4600		
					Formação da Terra	

Fontes: ICS, 2009 e PAIS, 2009.

Ficha Catalográfica – preparada pela
Biblioteca de Centro de Referências em Educação Ambiental

S24e São Paulo (Estado). Secretaria do Meio Ambiente
Etanol e Biodiesel. Texto Carolina Roberta Alves de Matos. 2ª ed. – -
São Paulo : SMA, 2014.
108p. ; 15,5 x 22,3 cm. (Cadernos de Educação Ambiental, 11)

Bibliografia
ISBN – 978-85-62251-39-9

1. Etanol 2. Biodiesel III. Biocombustíveis IV. Políticas Públicas – Sustentabilidade I. Matos, Carolina Roberta Alves de II. Título III. Série.

CDU 349.6

Cadernos de Educação Ambiental

Coordenação Geral
Yara Cunha Costa

Caderno ETANOL E BIODIESEL – 2ª Edição

Autoria
Carolina Roberta Alves de Matos

Colaboração Técnica
Araci Kamiyama
Guaraci Belo de Oliveira
Katia Nachiluk
Luis Ricardo Viegas de Carvalho
Marli Dias Mascarenhas Oliveira
Rafael Frigério
Rejane Cecília Ramos
Renato Nunes
Sérgio Murilo D'Arruiz Santana
Zilmar de Souza

Revisão Técnica
Oswaldo dos Santos Lucon
Paulo Henrique Barros Silva

Revisão do Texto
Denise Scabin Pereira

Concepção das Figuras
Carolina Roberta Alves de Matos

Execução das Figuras
Juliana Gusson Roscito
Carolina Roberta Alves de Matos

Fotografias cedidas por: 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.

Diagramação, CTP, Impressão e Acabamento
Imprensa Oficial do Estado de São Paulo

Secretaria de Estado do Meio Ambiente
Avenida Prof. Frederico Hermann Jr., 345
São Paulo SP 05459 900
Tel: 11 3133 3000
www.ambiente.sp.gov.br

Disque Ambiente 0800 11 3560

GOVERNO DO ESTADO
SÃO PAULO
Secretaria do Meio Ambiente