

Capítulo 2:

Impactos no uso de materiais

Tendo como insumo-chave a energia solar, a agricultura pode (com os cuidados adequados) levar à produção sustentável de materiais. Na agroindústria da cana, custos de produção favoráveis no Brasil e o suprimento de energia do bagaço tornam a sacarose muito atraente para dezenas de produtos; já são produzidos no Brasil o sorbitol, aminoácidos, ácidos orgânicos e extratos de leveduras. Plásticos e outros artigos de grandes volumes (incluindo derivados do etanol) poderão ser introduzidos nos próximos anos.

2.1 Introdução

A sustentabilidade no uso de materiais e recursos deve ser avaliada quanto ao nível de recursos (qual a taxa de uso dos recursos, em relação ao estoque) e quanto ao nível de rejeito para o meio ambiente. Ambos têm crescido muito em algumas regiões, em muitos casos de modo “insustentável”. Em 1992, cada pessoa nos Estados Unidos era responsável pela extração e uso de 50 kg de materiais por dia; este valor cresceu 10% até 2002.¹ Por outro lado, os impactos ambientais do consumo de recursos cresceram cerca de 15% no período. Os números diferem em outras regiões do mundo, mas claramente as políticas públicas não têm sido adequadas para promover uma reversão de tendências. Tem sido proposto que gradualmente os impostos mudem das áreas de trabalho e renda para materiais e energia (como na Noruega e Suécia) e que os subsídios que concorram para agravar os problemas ambientais sejam encerrados. As ações (e implicações) são muito diferentes para cada país, e mesmo regionalmente, no mesmo país, o que dificulta uma implementação rápida; mas o direcionamento necessário é claro.

A agricultura tem uma característica muito interessante para a sustentabilidade: um grande insumo é a energia solar (renovável). Se o uso de água puder ser limitado, assim como o dos insumos (defensivos, fertilizantes, combustíveis), a agricultura é uma fonte de materiais “renováveis”. Isto tem sido conseguido em alguns sistemas de produção, mas não em outros. Em sistemas adequados o uso de materiais (fertilizantes, defensivos, combustíveis) pode ser relativamente pequeno, quando se considera a produção de energia (que já ocorre) ou o potencial de produção de uma vasta gama de materiais (como é o caso da cana-de-açúcar).

¹ DERNBACH, J.C. (Ed.): *Stumbling toward sustainability*; Washington DC, Environmental Law Institute, 2002

Nos últimos quinze anos preocupações com o meio ambiente levaram a considerar “ecologicamente sadio e desejável” o uso de produtos de base biológica como substitutos de petroquímicos. Diversos mecanismos foram usados para promover novas tecnologias energéticas. Praticamente todas elas buscaram viabilização inicialmente com subsídios diretos. Isto ocorreu com a PURPA – Public Utilities Regulatory Policy Act para energia elétrica de biomassa, descentralizada, nos EUA; o etanol de cana, no Brasil; o etanol de milho, também nos EUA; programas para biodiesel, nos EUA e Europa etc. Em geral, a maior preocupação de fato era a produção de energia (pela premência da substituição do petróleo), mas as possibilidades para produzir materiais com base renovável começaram a ser exploradas.

Em um programa excepcionalmente bem-sucedido os subsídios iniciais puderam ser retirados (etanol de cana-de-açúcar, no Brasil) com a evolução tecnológica e gerencial do setor. Este programa trouxe consigo um componente muito interessante, não energético, já na área de produtos de origem biológica substituindo os petroquímicos: a álcoolquímica, nos anos 1980, no Brasil.

Um programa para bio-produtos que cresce rapidamente é baseado em glucose de amido de milho, nos EUA. Suportado por avanços tecnológicos interessantes, vários produtos foram implementados em diferentes mercados, nestes últimos dez anos. As tecnologias de engenharia genética deverão trazer mais resultados nos próximos anos.²

Sacarose da cana-de-açúcar é o candidato natural para tornar-se a matéria-prima principal em muitos processos; isto começa a ocorrer no Brasil.

2.2 Fibra e sacarose da cana

Entre 1998 e 2002 as médias de teor de açúcar e fibra nos colmos (Centro-Sul) foram 14,53 sacarose % cana, e 13,46 fibra % cana. Cerca de 80% da cana foi queimada (Brasil) antes da colheita, eliminando a palha. A produção total foi de 380 Mt cana (2004); este valor refere-se à massa dos colmos (sem a palha).

Para cada tonelada de colmos (t cana), a biomassa gerada é (ver **item 1.4.1**) 0,28 t (MS) de bagaço e palha, e 0,145 t (MS) de sacarose. Portanto, os volumes de materiais produzidos são muito grandes, mesmo se comparados com o contexto petroquímico, por exemplo; trata-se de cerca de 55 Mt de sacarose e 100 Mt (MS) de resíduos ligno-celulósicos.

Trabalhos realizados no Brasil buscando tecnologia para a colheita/transporte da palha, incluindo a avaliação de sua disponibilidade real, têm concluído que é possível recuperar 50% da palha, com custos de 0,6 a 1,0

U\$/GJ, dependendo do processo.³ A legislação que restringe gradualmente a queima pré-colheita deverá atuar positivamente para que este resíduo seja incorporado ao sistema de geração de energia nos próximos anos. Por outro lado, tecnologias comerciais podem levar (comprovadamente) à redução de consumos na área de processos da usina resultando em excedentes de bagaço de até 45%.

Estes volumes excedentes de bagaço e palha são grandes no contexto energético; é de se esperar que nos próximos anos sua utilização para energia (com a competição entre energia elétrica e a produção de etanol de hidrólise) seja implementada em larga escala. Os custos destes resíduos no Brasil são menores (hoje e no futuro previsível) que os custos em geral de biomassa para energia em muitos outros países.

A sacarose apresenta possibilidades muito maiores que as atualmente implementadas.

2.3 Sacarose como matéria-prima para outros produtos

Gabriela Alves Macedo
Faculdade de Engenharia de Alimentos / UNICAMP

Sacarose é uma matéria-prima muito versátil, por ser uma molécula muito reativa, do ponto de vista químico e enzimático, com seus oito grupos hidroxila, podendo agir como base para vários “blocos” construtivos de moléculas de interesse. Adicionalmente, é produzida em mais de 80 países no mundo, em abundância (perto de 200 milhões de toneladas por ano) e com alto grau de pureza. O seu custo de produção é relativamente baixo, notadamente no Brasil (ver **Capítulo 11**). Há vantagens adicionais: os produtos de sacarose podem apresentar menores impactos ambientais que os petroquímicos (como na biodegradabilidade de alguns plásticos, na renovabilidade da energia utilizada nos processos, em particular no uso da sacarose de cana).

Já no início dos anos 1990 era possível listar cerca de 60 produtos obtidos por fermentação direta de açúcares, alguns com vários microrganismos naturais produtores. Em muitos casos foram desenvolvidos produtos secundários, por fermentação ou catálise enzimática, a partir destes primários. Destes todos, um número muito menor tem hoje importância comercial, mas vários foram adicionados à lista nos últimos dez anos⁴ e a pesquisa na área é intensa.

² NREL, USA, “Fostering the bioeconomic revolution in biobased products and biotechnology”, Biomass Research and Development Board, Interagency Strategic Planning, January 2001

³ Relatórios do Projeto “Biomass power generation: Sugar cane bagasse and trash, UNDP-GEF / Centro de Tecnologia Canavieira, 2003

⁴ GODSHALL, M.A.: “Future directions for the sugar industry”, SPRI, Int. Sugar Journal, vol. 103, n.º 1233, 2001

5 Elaboração baseada em HENNIGES, O.; ZEDDIES, J.: “Fuel ethanol production in the USA and Germany – a cost comparison”, F O. Licht’s World Ethanol and Biofuels Report, vol. 1, n.º. 11/11.02.2003

Esta diversificação crescente dos usos da sacarose para a produção de insumos e produtos finais (além de etanol e açúcar) tem como grande motivador o baixo custo de produção do açúcar atingido no Brasil. Hoje podemos considerar açúcar cristal no Centro-Sul do Brasil a U\$ 0,13 / kg (correspondendo a sacarose no caldo a U\$ 0,08 / kg, e no HTM a U\$ 0,11 / kg; 1 U\$ = 2,7 R\$; 2002); em comparação, custos de glucose de milho estariam em U\$ 0,13 / kg; sacarose de beterraba ou hidrolisado de trigo (Alemanha) a ~ 0,19 e 0,17, no caldo.⁵ A produção dos derivados da sacarose da cana pode ainda ser totalmente suprida de energia de forma autônoma (através do bagaço), como o é hoje o etanol.

Trabalhos de prospecção sobre produtos comerciais ou em fase relativamente adiantada de desenvolvimento consideram muitos produtos em diversas categorias; a sacarose apresenta algumas aplicações exclusivas além de poder substituir a glucose em quase todos os casos de fermentação de interesse. As categorias principais são: edulcorantes, polióis, solventes, plásticos biodegradáveis, aminoácidos e vitaminas, polissacarídeos, ácidos orgânicos, enzimas, leveduras e ésteres. Algumas podem incluir produtos que utilizariam grandes volumes de açúcar (plásticos, solventes, alguns ácidos orgânicos) e outras corresponderiam a produtos de menor volume, com alto valor agregado.

Uma usina “média” no Brasil, utilizando 1/3 da cana que processa, poderia agregar (em fábrica anexa) até ~40.000 t / ano de um novo produto; alguns dos produtos atualmente já comerciais atingem a escala de 1 Mt / ano, no mundo. A sinergia no uso de tratamento de efluentes existiria nas anexas; autonomia energética é possível em todas: apenas com o uso do bagaço e com sistemas convencionais (comerciais) de geração, já em utilização, podem ser disponibilizados para o processamento cerca de 2,4 kWh / kg sacarose (energia térmica) e 0,6 kWh / kg sacarose (energia elétrica).

Hoje já há produção comercial crescente no país de ácido cítrico, aminoácidos como a lisina e o MSG, extratos de leveduras e derivados, e sorbitol. Alguns plásticos (poli-lático, comercial, no exterior; poli-hidroxibutirato: este em fase pré-comercial, no Brasil) estão sendo avaliados para produção aqui. Também alguns dos produtos da alcoolquímica dos anos 1980 (principalmente eteno e derivados) estão sendo novamente considerados. Os mercados atuais (em expansão) no mundo para amino-ácidos, alguns ácidos orgânicos e polióis já utilizam alguns milhões de toneladas de açúcares anualmente; os mercados de plásticos poderão expandir muito mais esta demanda.

2.4 Alcoolquímica

A extensa gama de produtos do etanol (via química) que chegou à comercialização na década de 1980 e foi depois abandonada em função dos custos relativos do etanol e nafta certamente tem sido re-analisada hoje, nas novas condições de custo. Foram desenvolvidas e implementadas no Brasil rotas baseadas no etileno, no acetaldeído e em vários casos em transformações diretas. São todos processos amplamente conhecidos, sem maior complexidade, e há domínio no país sobre dezenas de tecnologias. Nos anos 1980 os preços relativos de nafta e etanol e a política nacional de desenvolvimento da petroquímica tornaram inviável a alcoolquímica.

Na rota do etileno, produtos importantes são: polietileno, cloretos de polivinila e etila, etilenoglicol e acetaldeído.

Na rota do acetaldeído: ácido acético e cloroacético; acetatos de etila, vinila, polivinila e celulose; anidrido acético e butadieno.

Transformações diretas levam a butadieno; acetona; n-Butanol; éter etílico e acetato, acrilato, cloreto e éter vinil-etílico.

A alcoolquímica no Brasil foi iniciada de fato em 1917⁶ com a produção de cloreto de etila (Elekeiroz). Até a década de 1960, diversas empresas (Rhodia, CBE, Eletrocloro, Butil Amil) introduziram intermediários e produtos como o etileno, polietileno, acetatos, cloreto de etila, aldeído acético. As entradas da Coperbo, Oxiten, Salgema, Cloretil, Stauffer, e Cia. Alcoolquímica Nacional marcaram uma época de franco desenvolvimento, já nos anos 1970 e 1980.

O uso de etanol para a alcoolquímica atingiu 0,494 Mm³ em 1985. Em 1987⁶ as produções de alguns itens principais, usando 3,6% da produção de etanol brasileira, foram:

| | |
|-------------------|----------|
| Dicloroetano | 0,300 Mt |
| Ácido acético | 0,125 Mt |
| Aldeído acético | 0,100 Mt |
| Acetato de vinila | 0,074 Mt |
| Acetato de etila | 0,041 Mt |

Em 1993 havia cerca de 30 produtos derivados de etanol sendo produzidos no Brasil. Destes, 14 tinham capacidades instaladas de produção acima de 100.000 t / ano. Acima de 400.000 t / ano estavam o di-cloro etileno (1 Mt / ano); LD polietileno (660.000 t / ano); etil-benzeno (500.000 t / ano); cloreto de vinila e HD polietileno.

6 BOTO, DANTAS R.: “A alcoolquímica no Brasil”, Simpósio Internacional de Avaliação Socioeconômica da Diversificação do Setor Canavieiro, PLANALSUCAR/IAA e PNUD, Águas de S. Pedro, SP, 1988

Nas avaliações atuais, continuam sendo importantes a capacidade de trabalhar em escalas bem menores que as da petroquímica, a descentralização da produção e a capacidade de obter sinergia com a produção tradicional das usinas.

2.5 Resumo e conclusões

- O consumo mundial *per capita* de materiais e recursos continuou crescendo nos últimos dez anos, assim como os impactos ambientais decorrentes. Como no caso da energia, as políticas públicas não têm sido suficientes para reverter as tendências, agravadas pelo avanço de grandes áreas em desenvolvimento.
- A agricultura (tendo como um insumo a energia solar) é uma atividade que pode em alguns casos levar à produção sustentável de materiais. A percepção disto promove produtos de base biológica como “ecologicamente sadios”; a álcoolquímica (Brasil, anos 1980 e 90) trouxe vários exemplos, assim como os recentes avanços da sucroquímica.
- A produção da cana-de-açúcar no Brasil correspondeu em 2004 à produção de 55 Mt sacarose e de 100 Mt (MS) de resíduos lignocelulósicos. A sacarose é usada hoje para açúcar e etanol, mas há importantes atividades iniciando diversificação. Dos resíduos, 50% são usados com baixa eficiência para energia e mais 25% (palha) são recuperáveis a custo compatível com usos energéticos.
- Os custos de produção no Brasil (US\$ 0,13/kg, como açúcar, ou US\$ 0,08 / kg, no caldo) e o suprimento de energia do bagaço tornam a sacarose muito atraente para dezenas de outros produtos. No Brasil há produção comercial de aminoácidos, ácidos orgânicos, sorbitol e extratos de leveduras, assim como desenvolvimentos em produtos de grandes volumes (plásticos). Nos próximos anos é possível usar 1,5 Mt de sacarose nestes processos.
- Nos anos 1980-90 foram produzidos do etanol, no Brasil, mais de 30 produtos; vários com capacidades instaladas acima de 100.000 t / ano (via etileno, acetaldeído ou transformações diretas). Tornaram-se inviáveis na década de 1990, em função da política nacional para a petroquímica e dos custos relativos do etanol. A nova relação de custos entre o petróleo e etanol leva à reconsideração destes processos, hoje.

- A produção em larga escala de materiais renováveis da cana, no Brasil, é uma possibilidade, mas ainda no início de implementação; cresce com certa rapidez no uso da sacarose, pode voltar a crescer na álcoolquímica, e tem um grande potencial inexplorado nos resíduos. Certamente viria a contribuir muito com a posição da agroindústria da cana na sua “sustentabilidade responsiva”.

II

Impactos no Meio Ambiente

Os impactos no meio ambiente considerados na produção agrícola em geral devem ser vistos em relação à cultura da cana, assim como os relacionados com a produção industrial e uso final. Eles incluem a poluição do ar, localmente, na queimada da cana e no uso do etanol combustível; as emissões de gases de efeito estufa, em todo o ciclo de vida; os impactos do uso de novas áreas, inclusive na biodiversidade, os impactos na conservação do solo, erosão, no uso de recursos hídricos e na qualidade da água e no uso de defensivos e fertilizantes.

Na avaliação dos efeitos ambientais da expansão da produção agrícola da cana-de-açúcar, é importante considerar que esta avaliação é sempre relativa, sempre relacionada com os usos alternativos da terra. Os impactos (erosão; proteção da base de produção; biodiversidade; uso de químicos etc.) são muito diferentes se a cana substituir (como tem ocorrido na maioria dos casos) pastagens extensivas, ou a cultura da laranja, ou se ocupar diretamente áreas de cerrados ou mesmo florestas. Estas considerações são normalmente feitas quando da substituição dos usos do solo, para verificar se há degradação potencial ou se o novo uso promoverá a recuperação ambiental.

A produção agrícola da cana no Brasil hoje apresenta aspectos ambientalmente muito interessantes. Usa baixo nível de defensivos; tem o maior programa de controle biológico de pragas instalado no país; tem o menor índice de erosão do solo da agricultura brasileira; recicla todos os seus resíduos; não compromete a qualidade dos recursos hídricos e participa ativamente de inovações, por exemplo, apresentando a maior área de produção orgânica do país (como cultura isolada).¹

As restrições legais ao uso do solo, visando proteger o meio ambiente, são objeto de legislação extensa no Brasil. Um resumo do escopo dessa legislação é apresentado em seguida.

¹ ROSSETTO, R.: "A cultura da cana, da degradação à conservação", Visão Agrícola, ESALQ-USP, Ano 1, jan 2004

Aspectos da legislação ambiental para o setor da cana-de-açúcar

André Elia Neto
Centro de Tecnologia Canavieira

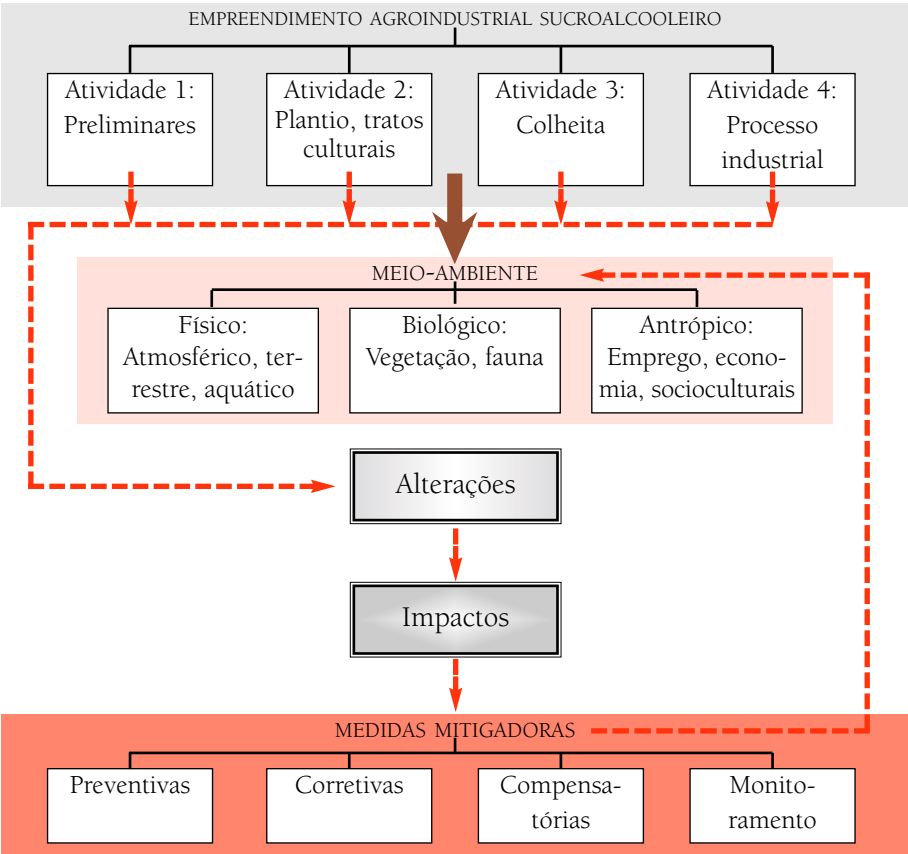
As considerações sobre poluição ambiental evoluíram nas últimas décadas de análises pontuais sobre a degradação mais evidente no meio ambiente (poluição das águas, poluição do ar, desmatamento) para uma visão abrangente, incluindo relações socioeconômicas e culturais, e biodiversidade, por exemplo. No Brasil esta mudança aparece na legislação ambiental com a resolução CONAMA nº 01/1986, impondo a necessidade da elaboração de Estudos de Impacto Ambiental (EIA) e respectivo Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) para a obtenção de licença para atividades que possam alterar significativamente o meio ambiente. Esta legislação é aplicada a todos os projetos de empreendimentos no setor de açúcar e álcool^{2, 3}; aspectos principais são descritos abaixo.

Estudo de Impacto Ambiental (EIA)

A resolução CONAMA nº 01/86 de 23/01/86 (artigo 10) define impacto como sendo “qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente (...) resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afete: a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições sanitárias e estéticas do meio ambiente; e a qualidade dos recursos ambientais”. No artigo 20 são relacionadas as atividades que dependem do EIA/RIMA para obterem licenciamento; incluem estradas, pontes, unidades industriais e agroindustriais (incluindo destilarias de álcool) entre vários outros, que em função da sua dimensão e/ou localização ou potencial modificador do meio “deverão ter seus impactos identificados, interpretados quanto a sua magnitude e relevância, grau de reversibilidade, propriedades cumulativas e sinérgicas e a distribuição do ônus e benefícios sociais”.

A Figura 1 apresenta um diagrama da estrutura para a análise dos impactos ambientais na elaboração de EIA/RIMA para o setor de açúcar e álcool. Os impactos são resultantes do cruzamento de cada uma das atividades agroindustriais consideradas com os ambientes eventualmente afetados: o meio físico (atmosférico, terrestre e aquático), o meio biótico (vegetação e fauna) e o meio antrópico (emprego, economia e socioculturais). Muitas das medidas mitigadoras adotadas no setor sucroalcooleiro já estão em prática há muitos anos, sendo normalmente incorporadas ao processo agroindustrial.

Figura 1: Estrutura da análise ambiental para um EIA/RIMA: agroindústria da cana-de-açúcar



A Resolução CONAMA 237 de 1997 estabeleceu novos critérios para o licenciamento ambiental, incluindo a atividade de produção e refino de açúcar como sujeita a licenciamento prévio (LP) e também ao EIA/RIMA (como já o era a destilação de álcool). Foram estabelecidos prazos de validade para os licenciamentos: Licença Prévia (LP) até 5 anos, Licença de Instalação (LI) até 6 anos e Licença de Operação (LO) com validade de 4 a 10 anos. No Estado de São Paulo as LOs devem ser renovadas em intervalos de 2 a 5 anos; 3 anos para uma de usina de açúcar e 2 anos para destilarias de álcool (decreto-lei 47.397 de 2002).

Relatório Ambiental Preliminar (RAP)

Ainda em São Paulo, a Resolução SMA 42/94 introduziu o Relatório Ambiental Preliminar (RAP) como estudo inicial para comprovar a viabilidade ambiental de empreendimentos. Há uma instrução interna na SMA/DAIA, que considera o RAP suficiente para o Licenciamento Prévio para usinas novas com capacidade para até 1,5 milhões de t cana / ano.

2 ELIA NETO, A.; NAKAHODO, T.: “Aspectos da análise ambiental no setor industrial sucroalcooleiro - Relatório parcial” - Relatório Técnico n.º 1077-00/01, CTC – Centro de Tecnologia Canavieira, Piracicaba, SP, 2001

3 SALLES, L. da S.: Elementos para o planejamento ambiental do complexo agroindustrial sucroalcooleiro no Estado de São Paulo: Conceitos, aspectos e métodos – Dissertação de Mestrado Escola de Engenharia de São Carlos-USP, São Carlos, SP, p. 113, 1993

⁴ SMA – Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Áreas de Proteção Ambiental do Estado de São Paulo, site <http://www.ambiente.sp.gov.br/apas/apa.htm>, (22/02/2005)

⁵ SMA – Secretaria De Estado do Meio Ambiente, Gestão Ambiental do Aquífero Guarani, site www.ambiente.sp.gov.br/aquifero/principal_aquifero.htm, acessado em 22/02/2005, GT-Guarani, São Paulo, SP, 2005

⁶ ELIA NETO, A.: “Análise dos impactos ambientais da colheita de cana crua e do aproveitamento energético da palha”, Relatório n.º RLT-073, MCT/PNUD Contrato de Serviço n.º 137/97, CTC – Centro de Tecnologia Canavieira, Piracicaba, 1999

⁷ OMETTO, J.G.S: *O álcool combustível e o desenvolvimento sustentado*, São Paulo, PIC Editorial, 1998

Áreas Sensíveis

Existem áreas mais sensíveis sob ponto de vista ambiental que têm merecido um tratamento especial com referência ao estabelecimento das atividades agroindustriais: são as Áreas de Proteção Ambiental (APA)⁴ e as Áreas de Recarga de Aquíferos⁵ (como a do Aquífero Guarani).

As APAs são extensas áreas com ecossistemas de importância regional cujo ordenamento territorial é orientado para o uso sustentável dos recursos naturais, estipulados em Lei própria. Na prática, busca-se harmonizar a conservação e a recuperação ambiental às necessidades humanas. O licenciamento ambiental de empreendimentos em APAs segue procedimentos usuais já estabelecidos pela SMA-SP, mas nestas áreas, a legislação é ou será mais restritiva (proibição total da utilização de fogo na colheita ou manejo; controle mais rígido do uso de defensivos agrícolas, como no caso da APA do Corumbataí etc.).

O Aquífero Guarani, com uma área total de aproximadamente 1,2 milhões de km² – 839.800 km² no Centro-Oeste e Sul do Brasil –, armazena cerca de 40.000 km³ de água. A extração sustentável considera a demanda de 360 milhões de pessoas, com consumo per capita de 300 l / hab.-dia. O volume reservado poderia fornecer água à população do Brasil por 3.500 anos. A área de recarga deste aquífero está localizada no norte de São Paulo, incluindo importante centro canavieiro; isto leva a maiores restrições, nestas áreas, nas taxas de ferti-irrigação praticadas.

Tendências

O setor sucroalcooleiro no Brasil é reconhecido hoje pelos benefícios ambientais do uso do etanol como substituição de combustível fóssil; da produção de açúcar com uso exclusivo de combustível renovável; do início do uso do potencial de produção de excedentes de energia elétrica.^{6, 7} Por outro lado sua relação com o meio ambiente, melhorando sua posição como “produto limpo com produção limpa”, pode caminhar além do atendimento às exigências legais, buscando a melhoria ambiental contínua do processo de produção. Isto será uma imposição até em função da sua situação como o produtor mais competitivo internacionalmente.

A tendência normal da legislação ambiental é tornar-se cada vez mais restritiva; áreas importantes, e onde a evolução dos produtores já é sentida, incluem o controle de efluentes e a racionalização do uso da água, tratados em itens específicos a seguir. A legislação no Brasil tem uma forte dinâmica e as Licenças de Operação devem ser renovadas periodicamente (a cada dois ou três anos, nos casos de usinas ou destilarias).

Capítulo 3: Impactos na qualidade do ar: cidades e áreas rurais

O uso do etanol (puro ou em mistura) tem levado a melhorias consideráveis na qualidade do ar nos centros urbanos, decorrentes da eliminação dos compostos de chumbo na gasolina e do enxofre, e das reduções nas emissões de CO e na reatividade e toxicidade de compostos orgânicos emitidos. O controle dos efeitos indesejáveis das queimadas (sujeira e riscos de acidentes) está ocorrendo eficientemente de maneira progressiva, dentro da legislação vigente.

3.1 Introdução

Os impactos na qualidade do ar advindos do uso do etanol (nos centros urbanos) e os impactos na qualidade do ar em áreas rurais, a partir das queimadas de cana prévias à colheita, são os aspectos destacados neste capítulo.

A poluição atmosférica é um grande desafio para o desenvolvimento sustentável no mundo. Ela hoje traz danos à saúde humana e aos ecossistemas, de várias formas. Chumbo, monóxido de carbono (CO), particulados, dióxido de enxofre (SO₂), óxidos de nitrogênio (NOx) e ozônio troposférico – oriundo de VOCs e NOx – têm sido problemas sérios na maioria dos centros urbanos. Particulados (com a contribuição de NOx e SO₂) têm sido associados a dezenas de milhares de mortes prematuras nos Estados Unidos;¹ CO está associado a vários problemas neurológicos; ozônio troposférico prejudica a agricultura, assim como NOx e SO₂, com a formação de chuva ácida. A Agenda 21 coloca como objetivo eliminar riscos “inaceitáveis ou não razoáveis” da poluição do ar “até o limite economicamente possível”. A Agenda 21 também coloca as ações para controle da poluição do ar através das fronteiras geográficas; claramente, a chuva ácida e os gases de efeito estufa merecem atenção especial neste contexto, assim como os CFCs na sua ação sobre o ozônio estratosférico.

A grande maioria dos poluentes do ar no mundo decorre do uso de combustíveis fósseis. Avanços importantes têm sido relatados em muitos países, nas últimas décadas, na mitigação deste problema; nos Estados Unidos pode-se dizer que houve redução da chuva ácida e dos poluentes urbanos em geral, com exceção dos óxidos de nitrogênio. Os esforços prosseguem com legislação cada vez mais restritiva para os combustíveis e sistemas de uso; embora casos extremamente graves, como o uso de aditivos à base de chumbo na gasolina, tenham sido quase totalmente eliminados, é evidente que as diferenças regionais ainda são muito grandes.

¹ DRIESEN, D.M.: “Air pollution”, in: *Stumbling toward sustainability*, Washington DC, Environmental Law Institute, 2002

3.2 Impactos do uso do etanol nas emissões veiculares em áreas urbanas

Alfred Szwarc
ADS Tecnologia

Embora o Programa Nacional do Álcool não tenha sido concebido com propósito específico de reduzir a emissão de poluentes por veículos automotores, a mistura de álcool etílico com a gasolina (gasolina C) a partir de 1977 e o uso direto do etanol nos veículos a álcool, a partir de 1979, resultaram em inegáveis benefícios ambientais. A identificação desses benefícios não é simples, pois não há parâmetro único para se qualificar e medir a poluição atmosférica gerada pelos veículos automotores. Contudo, há um grupo de poluentes principais que podem ser associados à circulação de veículos, e seus níveis de emissão são comparados na **Tabela 1** para a gasolina pura, gasolina C (78% de gasolina e 22% de etanol anidro) e etanol hidratado. Conforme pode ser observado, o uso do etanol contribuiu para a redução significativa da emissão de monóxido de carbono, hidrocarbonetos (HC) e óxidos de nitrogênio no período de 1980 a 1994.

Como se pode verificar, independentemente das atualizações tecnológicas implementadas pela indústria automobilística no período de 1980 a 1988 e da incorporação de tecnologias de controle de emissão a partir de 1989, necessárias para atendimento da legislação de controle da poluição veicular, em geral os veículos a álcool apresentaram reduções maiores na emissão de CO, HC e NOx que os veículos abastecidos com gasolina C.

Para avaliar a importância ambiental do etanol, um estudo realizado em 1989, para a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) apresentou uma comparação da emissão de poluentes por veículos operando com etanol gasolina C e gasolina pura.² O estudo indicou que se a frota fosse operada exclusivamente a etanol, haveria uma redução de 65% para o CO e de 58% para HC em relação ao uso exclusivo da gasolina pura. Caso a frota operasse unicamente com gasolina C a redução para a emissão de CO e HC seria, respectivamente, de 39% e de 33%, havendo entretanto um aumento na emissão de NOx em 10%.

Como referência foi adotada a situação de frota da época, composta por veículos a álcool e gasolina C. O estudo demonstra, portanto, que sem o uso do etanol os níveis de poluição atmosférica da RMSP, que na época eram bastante elevados particularmente quanto a CO, teriam sido mais críticos que os observados. Como os efeitos benéficos do etanol não são limitados à RMSP, o estudo evidencia também sua relevância ambiental para o país.

² Confederação Nacional da Indústria, “Veículos automotores, o Proálcool e a qualidade do ar, 1990

Tabela 1: Emissão média de gás de escapamento de veículos novos (g/km)

| Ano-modelo | Combustível | CO | HC | NOx | R-CHO |
|------------|---------------|------|-----|-----|-------|
| Pré-1980 | gasolina pura | 54,0 | 4,7 | 1,2 | 0,05 |
| 1980-1983 | gas. C | 33,0 | 3,0 | 1,4 | 0,05 |
| | A | 18,0 | 1,6 | 1,0 | 0,16 |
| 1984-1985 | gas. C | 28,0 | 2,4 | 1,6 | 0,05 |
| | A | 16,9 | 1,6 | 1,2 | 0,18 |
| 1986-1987 | gas. C | 22,0 | 2,0 | 1,9 | 0,04 |
| | A | 16,0 | 1,6 | 1,8 | 0,11 |
| 1988 | gas. C | 18,5 | 1,7 | 1,8 | 0,04 |
| | A | 13,3 | 1,6 | 1,4 | 0,11 |
| 1989 | gas. C | 15,2 | 1,6 | 1,6 | 0,04 |
| | A | 12,8 | 1,4 | 1,1 | 0,11 |
| 1990 | gas. C | 13,3 | 1,3 | 1,4 | 0,04 |
| | A | 10,8 | 1,3 | 1,2 | 0,11 |
| 1991 | gas. C | 11,5 | 1,1 | 1,3 | 0,04 |
| | A | 8,4 | 0,6 | 1,0 | 0,11 |
| 1992 | gas. C | 6,2 | 0,6 | 0,6 | 0,013 |
| | A | 3,6 | 0,6 | 0,5 | 0,035 |
| 1993 | gas. C | 6,3 | 0,6 | 0,8 | 0,022 |
| | A | 4,2 | 0,7 | 0,6 | 0,04 |
| 1994 | gas. C | 6,0 | 0,6 | 0,7 | 0,036 |
| | A | 4,6 | 0,7 | 0,7 | 0,042 |

gas. C (gasolina C) = 78% gasolina e 22% etanol anidro, em volume

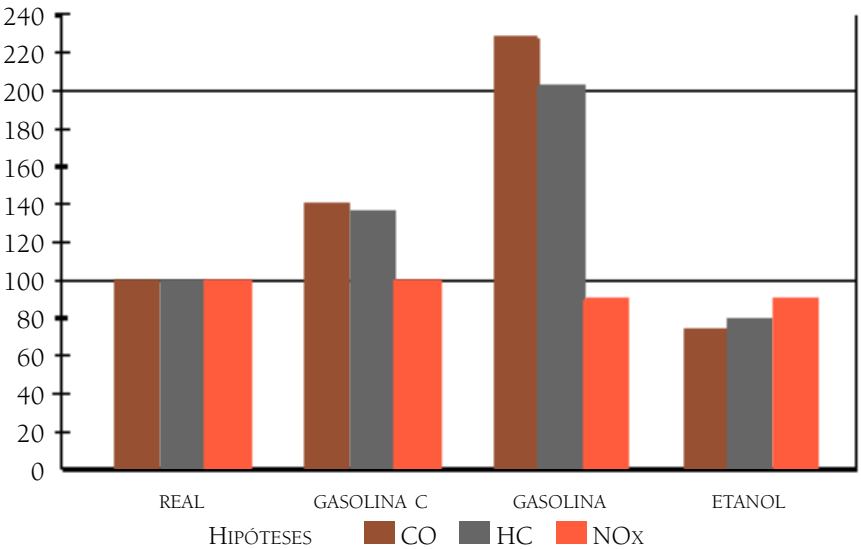
A = 100% etanol hidratado

R-CHO = aldeídos

Fonte: CETESB, Relatório de qualidade do ar no Estado de São Paulo, 2004

Quando se discutem os impactos ambientais do uso do etanol, a emissão de aldeídos (R-CHO) merece uma análise à parte, visto que se trata de uma classe de poluentes que, embora ocorrendo também com o uso de óleo diesel e gasolina, freqüentemente é associada apenas ao uso de álcool. Como se observa na **Tabela 1**, a emissão de aldeídos decorrente da presença de etanol na gasolina ou de seu uso exclusivo tem sido significativamente reduzida. No caso de veículos a álcool a média observada em 1992 era infe-

Figura 1: Cenários de Emissão para a RMSP



3 CETESB, Relatório de qualidade do ar no Estado de São Paulo, 2004

4 ABRANTES, R.: "A emissão de aldeídos e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos de veículos comerciais a diesel", São Paulo, SIMEA, 2003

5 CORRÊA, S.M., Estudo interno, UERJ, 2003

6 CETESB, Relatório de qualidade do ar no Estado de São Paulo, 1989

rior ao nível registrado no final da década de 1970 para os veículos a gasolina pura. De acordo com a CETESB, em 2003 os veículos a álcool apresentaram emissão média de 0,020 g / km.³ Para os veículos movidos com gasolina C o valor médio em 2003 foi de 0,004 g / km. A título de comparação, vale registrar uma pesquisa conduzida pela CETESB em 2003, com veículos comerciais leves a diesel.⁴ O estudo mostrou que, dependendo do veículo, a emissão de aldeídos variou de 0,022 g / km a 0,160 g / km, desmistificando a crença de que o etanol resultaria nos níveis mais elevados deste tipo de emissão. Também é oportuno mencionar um estudo da Universidade Estadual do Rio de Janeiro⁵ que mostra uma tendência de crescimento da concentração ambiente de formaldeído com o aumento da frota de gás natural veicular (GNV).

O etanol, devido à sua elevada octanagem, trouxe como benefício adicional a redução significativa do uso de aditivos a base de chumbo na gasolina, possibilitando viabilizar o banimento destes produtos do mercado nacional em 1990. Desta forma, as concentrações de compostos tóxicos de chumbo na atmosfera puderam ser reduzidas em cerca de 75% na RMSP.⁶ A utilização de altos teores de etanol na gasolina também tornou desnecessário produzir gasolinas com elevado conteúdo de hidrocarbonetos aromáticos, substâncias reconhecidamente tóxicas e com grande reatividade fotoquímica.

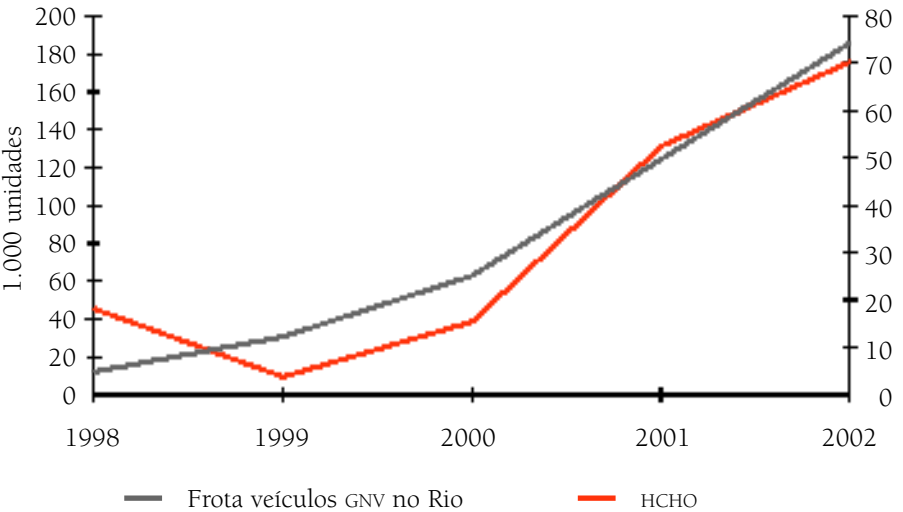
A partir de 1995, com a adoção de sistemas de controle de emissão mais eficientes, a vantagem do uso do álcool ficou menos evidente em relação aos

poluentes clássicos. Entretanto, deve-se dizer que as condições que tornaram o etanol conhecido como combustível "limpo" não deixaram de existir. De fato, o produto continuou a contribuir para a redução da emissão de CO e para a menor toxicidade e reatividade fotoquímica dos compostos orgânicos emitidos, assim como a proporcionar uma emissão praticamente nula de compostos de enxofre e de material particulado.

Um fato a lamentar é que a partir de meados de 1990, devido ao menor interesse da indústria automobilística pelos veículos a álcool, houve uma redução de investimentos para seu aprimoramento tecnológico e estes veículos, que anteriormente tiveram destacada performance ambiental, passaram a ter limitado este potencial. Por outro lado, com o aumento do teor de etanol na gasolina a partir de 1998, quando a quantidade na mistura passou para 24% e depois, em 2002, passou para 25%, as vantagens ambientais do etanol puderam ser resgatadas. Além do mais, com a popularização e contínuo desenvolvimento dos veículos flex-fuel e uso de etanol puro como seu combustível preferencial, existe uma tendência de crescimento dos benefícios ambientais decorrentes do uso extensivo de etanol.

Uma questão de fundamental importância na presente discussão é o impacto das emissões veiculares sobre a saúde pública. Inúmeras pesquisas têm comprovado que existe uma relação entre a poluição do ar e as doenças respiratórias e cardiovasculares. De fato, é comum se observar um aumento considerável no atendimento de pacientes com infarto, dor no peito e diversos pro-

Figura 2: Evolução da emissão de formaldeído e do crescimento da frota de veículos a GNV na cidade do Rio de Janeiro



blemas respiratórios nos dias mais poluídos. Nesse contexto, a constatação pelo Laboratório de Poluição Atmosférica Experimental da Universidade de São Paulo de que o vapor e gases da combustão de álcool são menos tóxicos que os da gasolina, registrada em diversos trabalhos publicados, não é apenas uma boa notícia para a população, mas também a consolidação do conceito de que o etanol é um combustível limpo e, como tal, deve ter o seu uso expandido.

3.3 Emissões nas queimadas de cana; controle

Luiz Antonio Dias Paes
Centro de Tecnologia Canavieira

A queima da palha da cana-de-açúcar é pratica usual em quase todos os 97 países que a produzem. Essa queima tem por objetivo aumentar a segurança do trabalhador e o rendimento do corte pela eliminação da palha e folhas secas.

3.3.1 Saúde humana

Nas décadas de 1980 e 1990 vários trabalhos foram conduzidos no exterior e no Brasil visando esclarecer se as emissões das queimadas da cana eram nocivas à saúde. Trabalhos da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto associam a queima de cana com o aumento de doenças respiratórias mas não analisam outra região onde não ocorre queima de cana para servir como padrão, na mesma época (inverno).

O efeito local foi considerado em trabalho de pesquisa⁷ realizado em conjunto pela EMBRAPA, USP, UNICAMP e ECOFORÇA, com o objetivo de avaliar a ocorrência de doenças respiratórias crônicas em algumas regiões do Estado de São Paulo (Atibaia, Ribeirão Preto, São José dos Campos e Campinas). Concluiu que, tomando-se Atibaia como referência, o risco aumenta em cerca de 40% para São José dos Campos, atinge próximo a 80% em Campinas e não sofre alteração em Ribeirão Preto. Conclui-se portanto que Ribeirão Preto, maior pólo sucroalcooleiro do país, apresenta o mesmo risco de ocorrência de doenças do que um município considerado estância climática (Atibaia), onde não há produção de cana.

No Hawaii, durante o período de 1988 a 1989, o Instituto Nacional Americano para a Saúde e Segurança Ocupacional (NIOSH) realizou investigação sobre os efeitos crônicos da exposição à fuligem da queima de cana (que contém fibras de sílica biogênica – BSF) na saúde dos trabalhadores da agroindústria canavieira. Não foi associada incidência de doenças respiratórias e nem mesothelioma (câncer do pulmão) com a exposição a BSF.⁸

7 MIRANDA, E.E.; DORADO, A.J.; ASSUNÇÃO, J.V: Doenças respiratórias crônicas em quatro municípios paulistas, USP/UNICAMP/Ecoforça, 1994

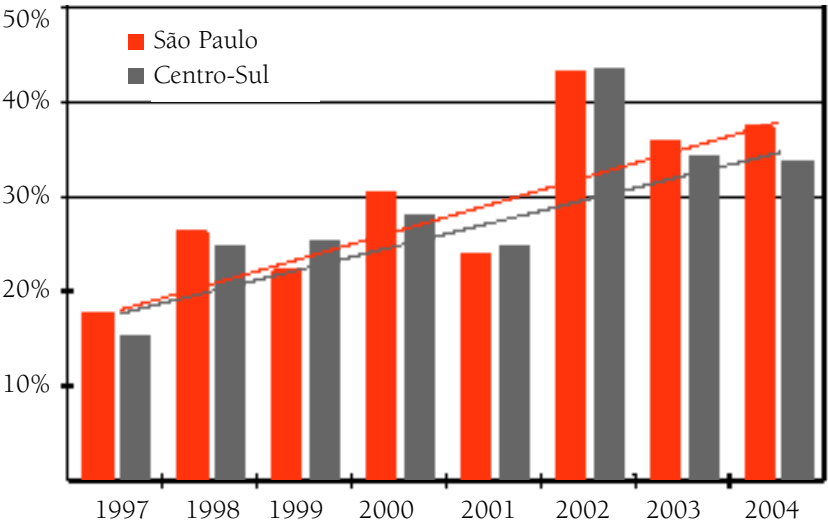
8 SINKS, T.H.; HARTLE, R.W.; BOENIGER, M.F; MANNINO, D.M.: “Health hazard evaluation: Report”, Hawaiian Commercial & Sugar Company/Hamakua Sugar Plantation (Health Hazard Evaluation HETA Report 88-119-2345), ago 1993, p. 44

Apesar de vários trabalhos não apresentarem relação direta das queimadas com prejuízos à saúde, sem dúvida deve-se observar que qualquer tipo de queima de alguma forma tem efeito sobre o meio ambiente, principalmente quando realizada de forma incompleta, caso das queimadas. Além disso, na queima de cana, existe o incômodo causado pela emissão de particulados (carvãozinho) e algum risco para áreas como redes elétricas e rodovias.

3.3.2 Tecnologias e evolução

A mecanização da colheita de cana-de-açúcar no Brasil foi efetivamente implantada na década de 1980 e vem crescendo ao longo dos anos. O aumento da área colhida mecanicamente se deu pela necessidade das usinas atenderem seus cronogramas em épocas em que a mão-de-obra tornou-se extremamente escassa (Plano Cruzado etc.) e cresceu motivada pela redução de custo e pela pressão ambiental para colheita de cana sem queimar. A Figura 3 mostra a evolução da colheita mecanizada no principal Estado produtor (São Paulo) e na região Centro-Sul do Brasil, responsável por mais de 80% da produção de cana do país. A região Nordeste do país possui aproximadamente 10% da sua área colhida mecanicamente.

Figura 3: Evolução da colheita mecanizada na região Centro-Sul do Brasil



Fontes: 1997-2002: IDEA (Nota 9); 2003-2004: CTC (Nota 10)

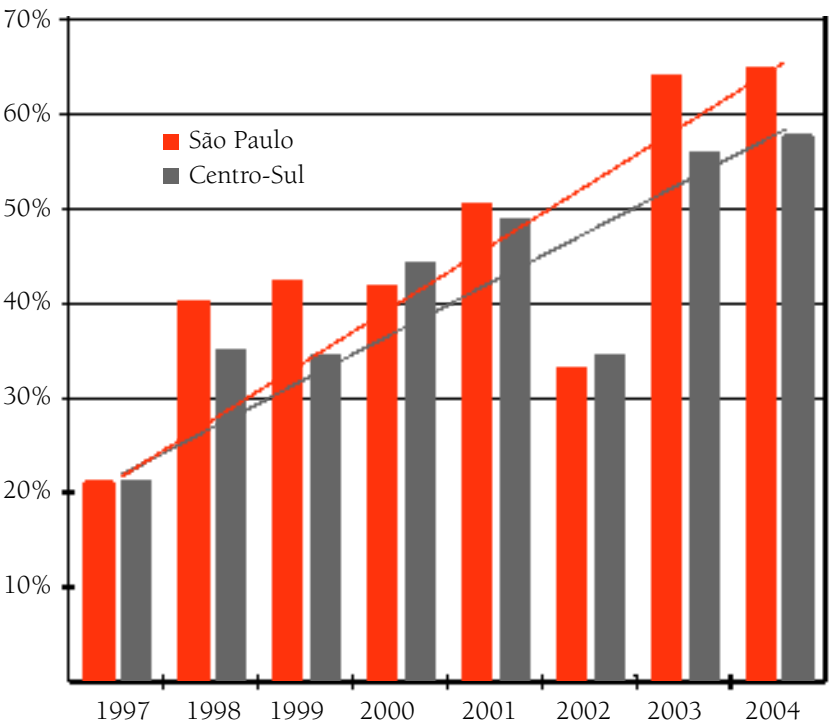
A evolução tecnológica em equipamentos e processos de produção, as pressões ambientais e a legislação em vigor motivaram o aumento da colheita mecânica da cana sem queimar. A Figura 4 apresenta a participação da

9 IDEA, “Indicadores de Desempenho da Agro-indústria Canavieira – Safra 2002/03”

10 CTC: “Programa de acompanhamento mensal de performance agrícola”, relatório técnico, Piracicaba, 2004

cana crua na colheita de cana mecanizada. Atualmente, nas principais regiões produtoras do país, aproximadamente 60% da cana colhida mecanicamente não utiliza o fogo para despalha.

Figura 4: Participação da cana crua na colheita mecanizada



Fontes: 1997-2002: IDEA (Nota 9); 2003-2004: CTC (Nota 10)

3.3.3 Legislação sobre queima de cana

A proibição gradativa da queima de cana no Brasil foi prevista inicialmente em decreto-lei do governo do Estado de São Paulo de 16/04/97. Atualmente a legislação sobre o assunto é constituída pela Lei 11.241 de 19/09/02 (Estado de São Paulo) e pelo Decreto do Governo Federal n.º 2.661 de 08/07/98. Ambos estabelecem cronograma para a eliminação da queima e determinam áreas de proibição como faixas de proteção nas proximidades de perímetros urbanos, rodovias, ferrovias, aeroportos, reservas florestais e unidades de conservação, entre outros. A Tabela 2 apresenta o cronograma de redução da queima determinado pelas legislações estadual e federal.

Tabela 2: Cronograma de redução de queima

| Decreto Estadual (São Paulo) 2002 | | | Lei Federal 1998 | | |
|-----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|------------------|-------------------------------|-----------------------------------|
| Ano | Área mecanizável ¹ | Área não mecanizável ² | Ano | Área mecanizável ¹ | Área não mecanizável ² |
| 2002 | 20% | - | | | |
| 2006 (5º ano) | 30% | - | 2003 (5º ano) | 25% | - |
| 2011 (10º ano) | 50% | 10% | 2008 (10º ano) | 50% | - |
| 2016 (15º ano) | 80% | 20% | 2013 (15º ano) | 75% | - |
| 2021 (20º ano) | 100% | 30% | 2018 (20º ano) | 100% | - |
| 2026 (25º ano) | | 50% | | | |
| 2031 (30º ano) | | 100% | | | |

¹ Área mecanizável: declividade <12%
² Área não mecanizável: declividade >12%

Para atender à legislação, a mecanização da colheita deve atingir no país, nos próximos treze anos (2018), 100% de área cultivada em solos com declividade compatível com esta prática.

Nas áreas cultivadas em solos com maior declividade, o decreto federal não proíbe a queima, enquanto o decreto estadual prevê o término de queima em trinta anos, em 2031. Uma vez que estas áreas não permitem a mecanização no corte e o custo da colheita manual de cana sem queimar reduziria sua competitividade, é razoável esperar que ocorra deslocamento de áreas produtoras para regiões com melhores características topográficas. É também provável que haja uma busca de aumento de produção nas áreas mecanizáveis através da incorporação de novas tecnologias no processo produtivo.

3.3.4 Redução na queima e impactos no emprego

A agroindústria canavieira no Brasil possui um importante papel na geração de emprego no país, estimando-se que empregue diretamente cerca de um milhão de pessoas (ver Capítulo 12), sendo aproximadamente 80% na área agrícola. A cana-de-açúcar é uma das culturas que gera mais emprego

por unidade de área cultivada. No Estado de São Paulo representa cerca de 35% da mão-de-obra agrícola, totalizando 250 mil trabalhadores.¹¹ A demanda de mão-de-obra na produção de cana-de-açúcar deverá ser reduzida pelo aumento da mecanização da colheita e plantio (redução) e esta redução será apenas parcialmente compensada pela provável introdução de processos de recolhimento da palha no campo para geração de energia, conforme se vê no **Capítulo 12**.

3.4 Resumo e conclusões

- A degradação da qualidade do ar em centros urbanos é um dos mais sérios problemas ambientais no mundo; em grande parte é causada pelo uso de combustíveis fósseis, que concorrem também para a poluição além das fronteiras: chuva ácida, por exemplo. Os esforços de mitigação incluem legislação cada vez mais restritiva para os combustíveis e sistemas de utilização.
- A agroindústria da cana relaciona-se com os impactos na qualidade do ar em dois pontos, de forma muito distinta: o uso do etanol tem levado a melhorias consideráveis da qualidade do ar em centros urbanos; as queimadas de palha da cana no campo, em uma escala muito diferente, causam problemas com a dispersão de particulados e riscos com a fumaça.
- Os principais efeitos do uso do etanol (puro ou em mistura com gasolina) nos centros urbanos foram: a eliminação dos compostos de chumbo na gasolina; a redução nas emissões de CO; a eliminação de S e material particulado; emissões menos tóxicas e fotoquimicamente reativas de compostos orgânicos.
- A queima da palha da cana (usada na maioria dos países produtores, para facilitar a colheita) foi objeto de muitos trabalhos nas décadas de 1980 e 1990 (no Brasil e exterior) que não puderam concluir pela nocividade das emissões para a saúde humana. Permaneceram como efeitos indesejáveis os riscos (redes elétricas, rodovias, reservas florestais) e a sujeira (particulados). No Estado de São Paulo foi estabelecida legislação proibindo gradualmente a queima, com cronograma que considera as tecnologias disponíveis e o desemprego esperado, incluindo a proibição imediata em áreas de risco. Esta solução está em vigor e é um exemplo importante pelo porte da produção paulista.