



**cgEE**

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos  
*Ciência, Tecnologia e Inovação*

---



Prospecção Tecnológica  
**Biocombustíveis**

# **Avaliação da Expansão da Produção de Etanol no Brasil**

*Isaías de Carvalho Macedo  
Luiz Augusto Horta Nogueira*

**Brasília  
julho, 2004**



## Conteúdo

### 1. Introdução

Parte A. Evolução e estágio atual da produção no Brasil

### 2. A cadeia produtiva hoje

### 3. Aspectos tecnológicos e ambientais

3.1 Evolução dos indicadores técnicos; valores atuais; potenciais

#### 3.1.1 Produção de cana

#### 3.1.2 Produção de etanol

3.2 Tecnologias atuais e futuras para geração de energia

#### 3.2.1 Energia elétrica

#### 3.2.2 Etanol da hidrólise de resíduos da cana: situação no Brasil

3.3 Impactos no uso final: clima global

3.4 Impactos no uso final: poluição em centros urbanos

3.5 Impactos ambientais da produção agrícola

### 4. Geração de emprego e renda

4.1 Aspectos gerais

4.2 Evolução

4.3 Tendências atuais

### 5. Aspectos econômicos

5.1 Custos de produção do etanol no Brasil

Parte B. Perspectivas de evolução e competitividade para exportação, próximos dez anos

### 6. Produção de etanol no mundo

### 7. Custos de Produção e competitividade

7.1 Estimativa do custo do etanol (exterior)

7.1.1 Custo do etanol de milho (glucose) nos EUA

7.1.2 Custo do etanol de trigo e beterraba (EU)

7.2 Custos (futuros) do etanol da hidrólise de lignocelulósicos

7.3 Custo da gasolina

### 8 Mercados para o etanol: Brasil e exterior

8.1 Mercado interno para etanol

8.2 Mercados externos para etanol

### 9. Mercados de açúcar e sua implicação

9.1 Mercado interno de açúcar

9.2 Mercado externo de açúcar

9.3 Evolução da produção de cana

## **10. Impactos de um aumento substancial da produção nos próximos anos**

10.1 Sustentabilidade da base agrônômica: variedades e tecnologia agrícola; biotecnologia da cana

### **10.1.1 Variedades e melhoramento convencional**

### **10.1.2 Biotecnologia da cana nos próximos dez anos**

10.2 Disponibilidade de áreas livres adequadas

10.3 Capacidade industrial para implementação de destilarias

10.4 Logística para exportação de álcool

10.5 Impactos na geração de empregos e no potencial de energia elétrica excedente

10.5.1 Geração de empregos

10.5.2 Geração de excedentes de energia elétrica

## **11. Resumo e Recomendações**

### **Anexos**

Nota 1 Correção dos custos de produção, Abril 2001 – Janeiro 2003

Nota 2 Custos de produção de etanol de ligno-celulósicos

Nota 3 Custos de produção de etanol de milho (EUA), e de beterraba e trigo (UE)

Nota 4 Políticas para a produção de etanol em algumas regiões selecionadas

## 1. Introdução

Esta Nota apresenta as conclusões preliminares do diagnóstico realizado no âmbito da atividade de prospecção tecnológica em biocombustíveis coordenada pelo NAE e conduzida sob a responsabilidade de consultores mobilizados pelo CGEE. Este diagnóstico preliminar sobre a oportunidade e possibilidades de expansão da produção de etanol no Brasil envolveu uma consulta a cerca de 20 especialistas em áreas relacionadas ao tema, dos setores empresarial, governamental e acadêmico, além da análise de dezenas de publicações recentes sobre o tema, referenciadas no texto.

Desde sua efetiva incorporação à matriz energética brasileira em 1975 até a atualidade, o etanol conseguiu importantes resultados: 1) a produção e a demanda ultrapassaram largamente (em volumes e escopo) as expectativas colocadas no início do Programa Nacional do Alcool (PNA), 2) a implementação de tecnologias e avanços gerenciais tornaram este combustível renovável competitivo com os combustíveis fósseis e 3) as características de sua produção o tornam a melhor opção, no momento, para a redução de emissões de gases de efeito estufa no setor de transportes, em todo o mundo. Sob estes pressupostos, pretende-se nesse trabalho avaliar quais seriam as vantagens relativas e as dificuldades a resolver para expandir sua produção no Brasil, visando inclusive mercados externos, nos próximos dez anos.

Em uma primeira parte foi avaliada a atual situação da cadeia produtiva do etanol de cana, sendo apresentados seus principais indicadores e considerados os aspectos tecnológicos, ambientais, sociais (geração de emprego) e econômicos. Na parte seguinte foram tratadas as perspectivas de evolução e competitividade para a próxima década, buscando estabelecer o contexto necessário para efetivar o relevante cenário de oportunidades que se configura.

## Parte A. Evolução e estágio atual da produção no Brasil

### 2. A cadeia produtiva hoje

A cana-de-açúcar é cultivada em mais de 5 milhões de hectares no Brasil, em todas as regiões geográficas do país, atingindo em 2003 uma produção de aproximadamente 345 milhões de toneladas, um quarto da produção mundial. Cerca de 50% foi utilizada para a produção de açúcar ( $23,4 \times 10^6$  t) e 50% para etanol ( $13,9 \times 10^6$  m<sup>3</sup>)<sup>1</sup>. Portanto, considerando a área total ocupada pela cana para fins industriais, a produção de etanol no Brasil ocupa hoje cerca de 2.5 M ha, ao redor de 4% da superfície agrícola e 0,5% da superfície agricultável.

A produção de cana aumentou de cerca de 120 para 240 milhões de toneladas entre 1975 e 1985, principalmente em função do PNA, estabilizando neste patamar entre 85 e 95. A partir desse ano iniciou-se outro ciclo de expansão agrícola, basicamente motivado pela exportação de açúcar. Em 1990 a exportação de açúcar foi de 1,2 M t, ascendendo a 13,4 M t em 2003, mostrando o extraordinário aumento da competitividade do produto brasileiro.

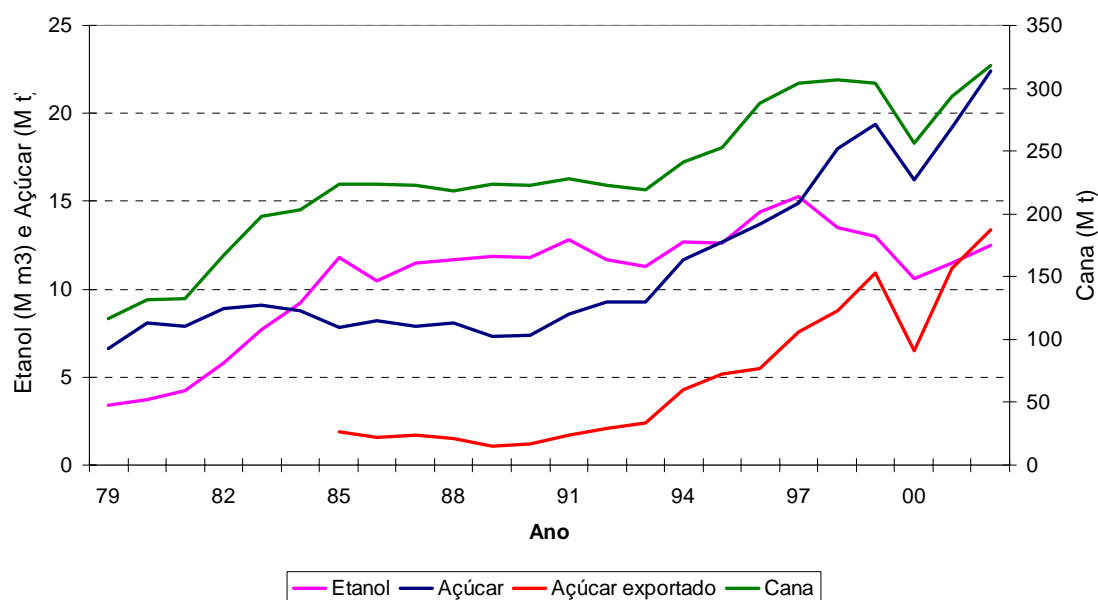


Figura 1. Produção de cana, açúcar e etanol no Brasil

<sup>1</sup> Nastari, P.; **O Desenvolvimento do Mercado de Álcool e o Potencial para GD**, no VI Sem. Int. GD WADE – INEE, Rio de Janeiro, 2003

O sistema de produção envolve 308 usinas, com capacidades muito diferentes (de 0.6 to 6.0 M t cana processada/ ano); em média, as usinas possuem cerca de 70% de terras próprias<sup>2</sup>. O suprimento de cana (restantes 30%) é feito por cerca de 60 mil produtores, com a grande maioria utilizando menos de dois módulos agrícolas.

Regionalmente, nestes trinta anos aumentou fortemente a participação do Centro-Sul do país na oferta de etanol, com a redução relativa da produção no Nordeste. Atualmente, apenas o Estado de S. Paulo produz cerca de 60% da cana no país. Em 2000, a produção total de 335 M t de cana se distribuiu entre as regiões brasileiras conforme indicado na tabela a seguir<sup>3</sup>.

Tabela 1. Distribuição regional da produção de cana no Brasil, 2000

Região	Produção (M t cana)	%
Norte	0,8	0%
Nordeste	57,4	17%
Sudeste	222,4	66%
Sul	27,5	8%
Centro-Oeste	26,7	8%
Brasil	334,8	100%

Institucionalmente, deve-se destacar que os controles governamentais (cotas de produção e exportação, tabelamento de preços e concessão de subsídios à produção e à movimentação; tanto para açúcar quanto para etanol) foram eliminados, em um regime de transição iniciado em meados dos anos 90 e concluído em 2002. Atualmente a presença governamental existe na regulamentação da especificação do álcool hidratado e anidro e na definição do teor de etanol na gasolina<sup>4</sup>, situado na maior parte dos últimos anos em 24%, como mostra a Figura 2.

<sup>2</sup> Macedo, I. C.; **Biotecnologia e Energia**, Encontro Anual da Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro, 2004

<sup>3</sup> Peres, J. R. R.; EMBRAPA; **Cana de açúcar: Potencial de expansão da fronteira agrícola e inovação tecnológica**; Seminário Alcool – BNDES, Rio de Janeiro, 2003

<sup>4</sup> Agência Nacional do Petróleo, **Portaria ANP 126 - Especificação do álcool combustível**, Rio de Janeiro, 2002

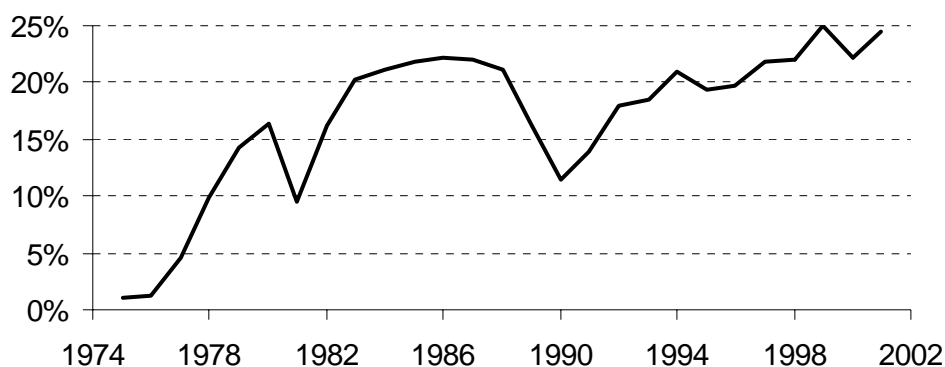
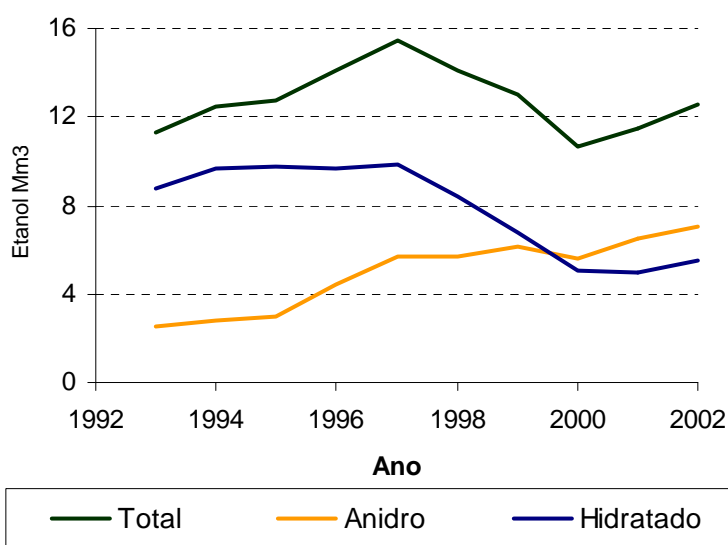


Figura 2. Evolução do teor de etanol anidro na gasolina

A Figura 3 apresenta a evolução da produção de etanol no Brasil, segundo dados informados pelo Departamento de Açúcar e Alcool do Ministério da Agricultura, a partir de informações dos produtores<sup>5</sup>. Segundo estes dados, a capacidade instalada de produção de etanol no Brasil é da ordem de 15,5 Mm<sup>3</sup>, correspondente à produção praticada em 1997. Pode-se observar também o crescimento da importância relativa do etanol anidro durante este período, associado à expansão da frota de veículos a gasolina e ao sucateamento do parque consumidor de etanol hidratado, sendo que apenas nos últimos anos o mercado deste tipo de etanol volta a retomar sua expansão, mais recentemente associado às vendas de veículos multi-combustível.



<sup>5</sup> Agência Nacional do Petróleo, **Anuário Estatístico 2003**, Rio de Janeiro, 2004



Figura 3. Produção de etanol anidro, hidratado e total

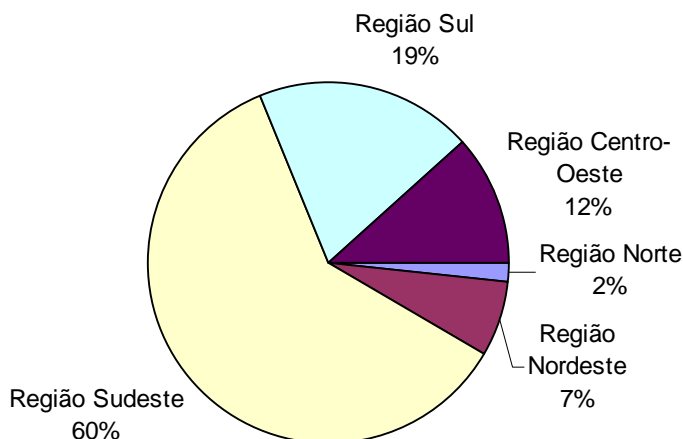


Figura 4. Vendas de etanol hidratado, por região brasileira, 2002

Os estoques de etanol são administrados essencialmente no âmbito dos produtores, já que as distribuidoras possuem em geral tancagem para poucos dias. Segundo a ANP, nas 428 bases de distribuição de combustíveis existentes no país, dispõe-se de um volume de armazenamento para etanol de 668 Mm<sup>3</sup>, dos quais 50% e 21% localizam-se respectivamente na região Sudeste e Nordeste. Uma parte da produção de etanol é comercializada com evasão tributária, portanto não sendo contabilizada oficialmente, o que explica em parte porque a movimentação total de etanol hidratado informada pelas distribuidoras corresponde a 68% da produção, dividindo-se entre as regiões brasileiras como apresentado na Figura 4<sup>5</sup>.

Os preços estão liberados em todos os níveis da cadeia de comercialização e o etanol é vendido, anidro em mistura com a gasolina ou hidratado para uso puro, nos quase 28 mil postos de distribuição de todo o território brasileiro. No nível do consumidor, os preços do etanol hidratado têm historicamente sido inferiores a 70% do preço da gasolina.

Como um sinal da vitalidade do mercado aberto de etanol, a implantação do mercado de contratos futuros de álcool anidro (para entrega física ou negociação) na Bolsa de Mercadorias e Futuros de São Paulo registrava em meados de 2003

uma movimentação mensal média de mais de 4 mil contratos (cada contrato corresponde a 30 m<sup>3</sup>), correspondentes a 34 milhões de reais<sup>6</sup>. Mais que transações físicas, este mercado permite obter proteção frente a volatilidade dos preços ou a obtenção de ganhos econômicos associados à mesma volatilidade.

### 3. Aspectos tecnológicos e ambientais

#### 3.1 Evolução dos indicadores técnicos; valores atuais; potenciais

A implantação e desenvolvimento da produção de álcool combustível em larga escala no Brasil trouxeram a oportunidade (e a necessidade) de um grande desenvolvimento tecnológico para a agroindústria da cana.

O desenvolvimento e transferência de tecnologia neste período caracterizaram-se inicialmente por uma grande ênfase em produtividade, entre 1975 e 85, para atender aos aumentos de demanda (aumentos de capacidade nos sistemas de moagem e destilação; grandes ganhos na produtividade das fermentações; crescimento constante da produtividade agrícola). A partir de 80, os programas foram voltados para a obtenção de maior eficiência de conversão, tendência reforçada com o advento da estabilização da produção, desde 1985. Os melhores exemplos na área industrial são os ganhos em rendimento fermentativo e extração; mas sem dúvida a entrada das variedades da cana desenvolvidas no Brasil, pelo Planalsucar e Copersucar, foram responsáveis pelas maiores reduções de custo. Após 1985, novas ferramentas tecnológicas para o gerenciamento da produção agroindustrial passaram a ter importância crescente: programas para otimização da reforma de canaviais; acompanhamento da safra; controle operacional de processos, controle mútuo e simulação dos balanços de massa e energia, entre muitos outros. Estas três fases coexistem em parte em muitas usinas.

Os resultados do desenvolvimento e apropriação de tecnologias (no país e exterior; com participação majoritária do setor privado, neste caso) podem ser indicados pela variação de alguns indicadores de produtividade desta agroindústria durante o período 1975/2000, conforme mostra a Tabela 2<sup>7</sup>. Estes

<sup>6</sup> Bolsa de Mercadorias e Futuros, **Resenha 156**, São Paulo, 2003

<sup>7</sup> Macedo, I. C.; **Commercial Perspectives of Bioalcohol in Brazil**, 1<sup>st</sup>. World Conference on Biomass for energy and Industry, Sevilla, Spain, 2000

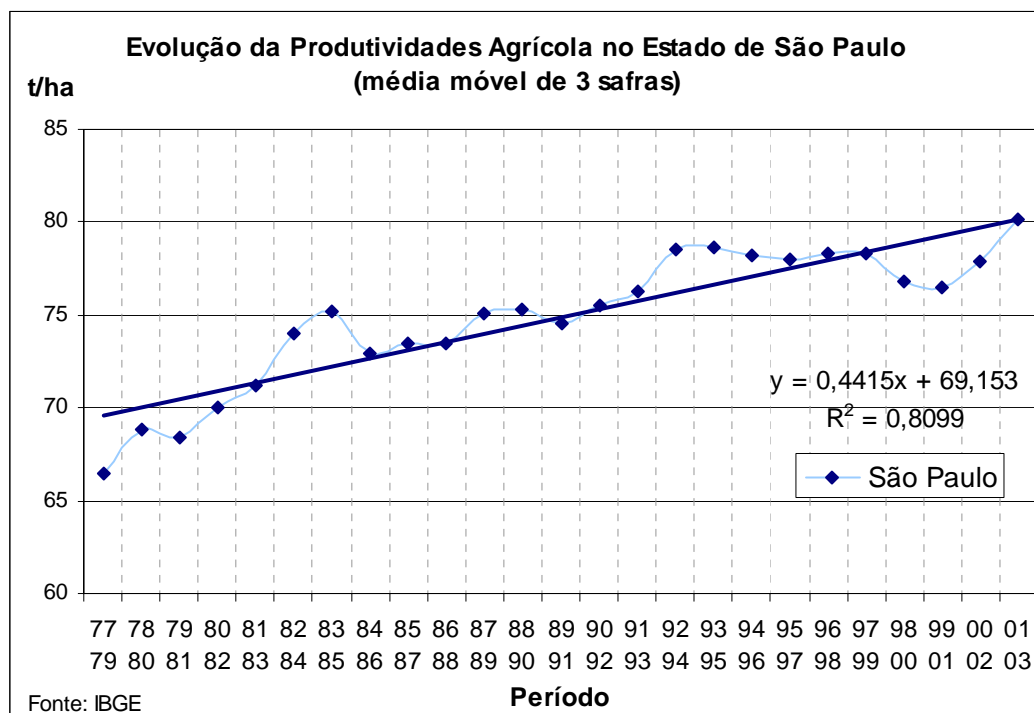
resultados podem ser sintetizados pelo expressivo crescimento da conversão agroindustrial média, que evoluiu de 2024 para 5500 litros de etanol por hectare.

Tabela 2. Indicadores de produtividade da agroindústria canaveira no Brasil, 1975/2000 (\*1985/2000)

Indicador	variação
produtividade agrícola	+ 33%
teor médio de sacarose na cana*	+ 8%
eficiência na conversão sacarose a etanol	+ 14%
produtividade na fermentação (m <sup>3</sup> etanol / m <sup>3</sup> reator-dia)	+ 130%
conversão agro-industrial média	+ 172%

### 3.1.1 Produção de cana

Uma análise mais detalhada da atual situação da tecnologia agrônômica indica uma evolução contínua da produtividade<sup>8</sup>, em particular para a situação do Centro-Sul, conforme mostra a Figura 5. Considerando 105 unidades produtoras no Centro-Sul, a produtividade média atingiu 84 (máxima 109) t cana/ha, e o teor de sacarose médio foi de 14.6% (máximo 16.6), na safra de 2003/04.



<sup>8</sup> Comunicação ao CGEE, S. J. Hassuani e L.A. Dias Paes, Centro de Tecnologia Copersucar, 2004

Figura 5. Evolução da produtividade agrícola, São Paulo (IBGE )

Não apenas a produção de cana por hectare se incrementou, como também sua qualidade. A variação do teor de sacarose da cana, para um conjunto de usinas em S. Paulo (Copersucar) é mostrada na Figura 3<sup>8</sup>.

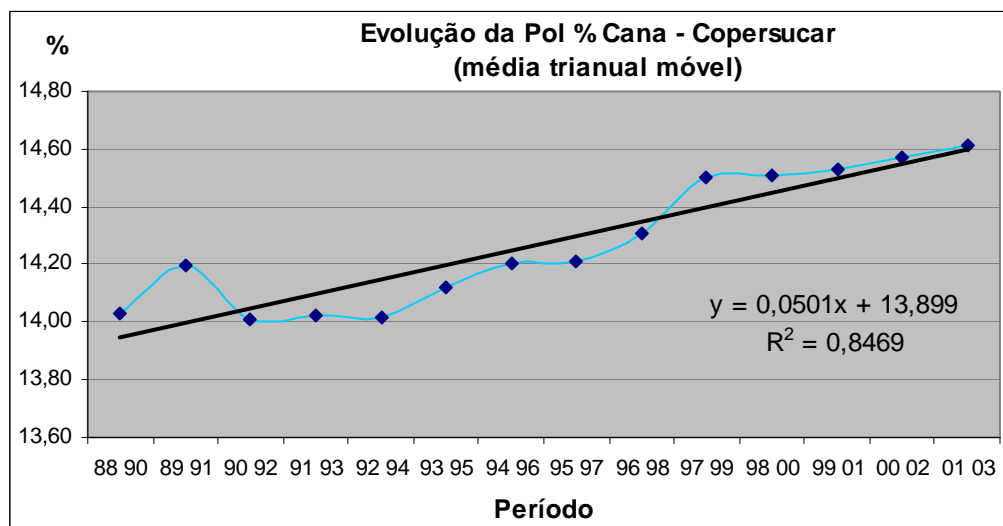


Figura 6. Evolução do teor de sacarose, Usinas da Copersucar (S. Paulo)

A evolução na área agrícola nos últimos anos indica um crescente nível de mecanização da colheita, tendência que particularmente em S. Paulo se associa à progressiva redução da queima pré-colheita, devido implementação de um cronograma para este objetivo, ajustado com o governo. A previsão é que na região Centro-Sul, que produz 60% da cana do país, os índices da atual safra estejam como indica a Tabela 3, estimada com base nos dados de 105 unidades produtoras<sup>8</sup>.

Tabela 3. Produtividade Agrícola, níveis de mecanização na colheita e de corte sem queima: atual e previsão (Centro-Sul, Safra 03/04)<sup>8</sup>

Parâmetro	Atual		Futuro
	média	máxima	(10 anos)
Produtividade (t cana/ ha)	84,3	108,8	89
Pol % Cana	14,6	16,6	15,1
Pol (t/ha)	12,2	15,8	13,4
Colheita Mecanizada (%)	34%	89%	85%
Colheita sem Queima (%)	21%	87%	80%

Um aspecto importante para a expansão da produção alcooleira é que a atual produtividade no Brasil é aproximadamente 15% inferior à paulista<sup>9</sup>, há portanto um espaço significativo para incremento da produtividade geral com tecnologias já existentes, naturalmente considerando sua adaptação para regiões de menor produtividade.

Os ganhos de eficiência no transporte também são relevantes. Alguns parâmetros selecionados para o transporte de cana até a usina indicam, para uma amostra de 17 usinas, capacidades diárias de carga atingindo 184 (média) – 286 (máximo) t cana/dia para as tecnologias mais comuns (caminhão e reboque, simples, cana inteira) até 370 (média) – 513 (máximo) t cana/dia para as melhores tecnologias (rodotrem, cana picada).

Para a mesma amostra, em 2003/03 a área utilizando ferti-irrigação com vinhaça era de 32.1% (média) e 63.8% (máximo); e a aplicação de maturadores atingiu 19.6 (média) e 37.6% (máximo).

A disponibilidade de variedades geneticamente melhoradas (seleção a partir de cruzamentos) foi um fator muito importante para o incremento de produtividade, que ocorreu mesmo com a expansão para áreas menos favoráveis<sup>10</sup>. Enquanto há cerca de 20 anos quase 50% da área cultivada com cana em São Paulo era ocupada com uma única variedade, atualmente são cultivadas no país centenas de variedades de cana-de-açúcar diferentes, sendo que a variedade mais cultivada não ultrapassa 10% da área plantada<sup>9</sup>. Estas variedades foram produzidas por dois programas de melhoramento genético; o da COPERSUCAR e o da Rede Interuniversitária de Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro- Ridesa. Um terceiro programa ativo, o do Instituto Agrônomo de Campinas historicamente de grande importância para o setor, foi re-estruturado e tem liberado algumas variedades promissoras<sup>9</sup>. Recentemente foi constituída uma empresa privada, a Canavialis, para o desenvolvimento de variedades de cana-de-açúcar. Deste modo, pode-se afirmar que existem no Brasil quatro programas de melhoramento e seleção de variedades de cana, componentes essenciais não apenas no esforço de incrementar a produtividade, como também auxiliar no adequado controle fitossanitário contra pragas e doenças.

---

<sup>9</sup> Comunicação ao CGEE por Marcos G. A. Landell, IAC – Instituto Agrônomo de Campinas, 2004

<sup>10</sup> Comunicação ao CGEE por William L. Burnquist, Centro de Tecnologia Copersucar, 2004

Os dois programas de melhoramento mais ativos foram estabelecidos em 1970 quando se cultivava aproximadamente 1,5 milhão de hectares de cana-de-açúcar no país. Estes programas foram suficientes para atender a grande expansão da área a partir desta época e o desenvolvimento de variedades de cana adaptadas foi importante para que esta expansão tivesse sucesso. Os programas evoluíram para um estágio atual de desenvolvimento de variedades transgênicas de cana (ainda não comerciais), mas os programas convencionais de melhoria são a base da produção hoje. A importância desta área para os próximos anos é discutida no item 10.1 deste estudo.

### 3.1.2 Produção de etanol

O processamento industrial da cana para etanol, como realizado hoje, é uma tecnologia que já atingiu sua maturidade plena; houve grandes avanços entre 1970 e 1990, mas nos últimos anos os ganhos de produtividade e eficiência foram pequenos<sup>11</sup>. A Tabela 4 traz valores médios e máximos dos principais indicadores de desempenho das usinas no Centro-Sul, para os diversos setores industriais e avaliados em termos da quantidade de açúcar equivalente no produto e no insumo. Considerando cana com pol de 14,5% e açúcares redutores de 0,55%, os valores dessa tabela levam a eficiências globais de 89 a 92% de açúcar convertido em álcool anidro por t cana, equivalentes 85,5 a 88,4 l etanol por t cana, para as situações média e máxima, respectivamente.

Tabela 4. Eficiências de conversão, estimativas para usinas da Região Centro-Sul; 2004<sup>11</sup>

Eficiência	Média (%)	Máxima (%)
extração	96,2	97,5
tratamento do caldo	99,2	99,8
fermentação	91,1	93,0
destilação	99,6	99,6

<sup>11</sup> Comunicação ao CGEE por Manoel R. L. Verde Leal, Centro de Tecnologia Copersucar, 2004

As reduções de custos com melhorias graduais da tecnologia atual, em um horizonte de dez anos, serão modestas; a difusão de tecnologias existentes para todo o setor (aproximando os desempenhos médios dos máximos) também não trará impactos importantes. Deste modo, o setor industrial deverá evoluir de forma mais destacada incorporando tecnologias mais radicalmente diferentes e certamente com a implementação de novos produtos. As melhorias nas práticas gerenciais e administrativas nas usinas levarão também a algumas reduções de custos de produção.

Dentre as tecnologias que poderão influir em custos, na próxima década, destacam-se<sup>11</sup> os desenvolvimentos em extração hidrodinâmica (redução de 25% no uso de energia em preparo e moagem, com menores investimentos); em sistemas avançados de controle da fermentação (lógica "fuzzy", redes neurais e sistemas especialistas); na redução dos consumos específicos de energia e água no processamento; mediante o uso de membranas e resinas de troca iônica para o tratamento do caldo e do xarope; uso de peneiras moleculares e membranas na destilação, destilação extrativa e outros<sup>12</sup>.

O desenvolvimento de novos produtos da sacarose é um dos dois caminhos mais promissores para a evolução do setor, podendo vir a trazer soluções para agregar valor às commodities tradicionais (açúcar e etanol). Hoje o baixo custo da sacarose viabiliza a produção comercial no país de ácido cítrico, aminoácidos como a lisina e treonina e o MSG, extratos de leveduras e derivados. Vários produtos como o sorbitol, plásticos (poli-lático, poli-hidroxibutirato: já semi-comerciais, o primeiro no Brasil) e mesmo alguns dos produtos da álcoolquímica dos anos 80 (principalmente eteno) estão sendo avaliados para produção aqui. A competitividade do açúcar do Centro-Sul (ver item 6) e as possibilidades de integração de novas fábricas com as usinas, usando energia excedente dos processos (ver item 3.2) favorecem muito estas alternativas.

Ainda na direção de diversificar a gama de produtos e agregar maior valor aos subprodutos, algumas usinas tem associado a produção de alimentos ao seu processo convencional, seja mediante a utilização de bagaço excedente na engorda de bovinos, seja mediante o uso de resíduos da fermentação. O

---

<sup>12</sup> Comunicação ao CGEE por Henrique V. Amorim, FERMENTEC, 2004

potencial de ganhos é interessante e existem diversas possibilidades de integração da produção de energia e alimentos a partir da cana<sup>13</sup>.

Na interface entre a produção de cana e a industrialização está outra grande oportunidade: a geração de grandes excedentes de energia nas usinas, tema que será tratado a seguir.

### 3.2 Tecnologias atuais e futuras para geração de energia

As tecnologias tipicamente em uso nas usinas produzem energia elétrica e térmica suficiente para os processos industriais. O uso de processos mais eficientes (geração e uso da energia) está levando o setor a tornar-se um gerador de excedentes de energia elétrica; por outro lado, competindo pelo mesmo combustível renovável (bagaço e palha da cana) nos próximos dez anos poderemos ver a implantação de sistemas para a produção de etanol adicional com a hidrólise e fermentação destes resíduos.

O auto-consumo de energia elétrica da usina (12 kWh/t cana) e o uso de energia mecânica (16 kWh/t cana) correspondem a uma potência instalada de cerca de 2.4 GW. Além disto as usinas utilizam cerca de 330 kWh/t cana de energia térmica. Praticamente toda a energia térmica, e cerca de 95% da elétrica, são produzidos na própria usina com sistemas de co-geração a bagaço.

Cada tonelada de cana (colmos) produz 140 kg (massa seca, MS) de bagaço, das quais 90% são usados para produzir energia (térmica e elétrica) na usina; adicionalmente, contém 150 kg de açúcar (usado para açúcar, etanol e agora plásticos); e 140 kg (MS) de palha, que hoje é perdida (queimada no campo). Apenas o bagaço disponível na cana atualmente colhida é equivalente a 11.0 milhões t óleo combustível; 25% da palha, se recolhidos, seriam equivalentes a 3.2 milhões t óleo.<sup>14</sup>

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 – 1.0 U\$/GJ, dependendo do

<sup>13</sup> Caballero, J.M.G , Lora, E.E.S., Nogueira, L.A.H., "Diversificación de Proceso y Productos em la Industria Cañera: Modelo Económico para Optimización", **Taller Internacional Caña de Azúcar**, FAO, Santo Domingo, outubro de 1999

<sup>14</sup> Macedo, I. C.; **Geração de energia elétrica a partir de biomassa no Brasil: situação atual, oportunidades e desenvolvimento**, Relatório para o MCT, Brasília, 2001



processo<sup>15</sup>. 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) a redução de consumos na área de processos da usina resultando em excedentes de bagaço de até 45%.

Estes volumes de excedentes (bagaço e palha) são muito grandes; 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 outros países (ver item 9).

### 3.2.1 Energia elétrica

Entre 1980 e 2000, as usinas de açúcar e álcool no Brasil evoluíram de uma dependência de 40-50% da energia elétrica da rede pública para a auto-suficiência e, atualmente, cresce a geração de excedentes para a venda. A auto-suficiência e a produção de excedentes firmaram-se no final dos anos 90, motivadas pelas mudanças na regulamentação do setor elétrico. Segundo a ANEEL, existem cadastrados 184 autoprodutores do setor sucroalcooleiro, que somavam em 2003 uma capacidade instalada de 1582 MW, cerca de 10% da capacidade termelétrica brasileira<sup>16</sup>. Em 2002 foram comercializados 5.36 TWh de excedentes (1.6% do consumo de eletricidade no Brasil); apenas uma concessionária (CPFL) tinha 291 MW em contratos de compra em 2003<sup>17</sup>.

O avanço para tecnologias comerciais de co-geração mais eficientes na conversão termo-elétrica está ocorrendo rapidamente (sistemas de co-geração, operando na safra, a 60 - 80 bar, com bagaço). Na seqüência deverá ser iniciado o uso de parte da palha da cana (talvez até 50%); e os sistemas com operação anual, usando ciclos de condensação-extração. Todas estas tecnologias estão disponíveis no país<sup>18</sup>.

<sup>15</sup> Relatórios do Projeto **Biomass Power Generation: Sugar Cane Bagasse and Trash**, UNDP-GEF / Copersucar, Centro de Tecnologia Copersucar, 2003

<sup>16</sup> Agência Nacional de Energia Elétrica, **Banco de Dados de Geração de Energia Elétrica**, disponível em [www.aneel.gov.br](http://www.aneel.gov.br), Brasília, 2003

<sup>17</sup> Comunicação ao CGEE por Arnaldo C. Silva Walter, UNICAMP, 2004

<sup>18</sup> Comunicação ao CGEE por Manoel R. L. Verde Leal, Centro de Tecnologia Copersucar, 2004

A Tabela 5 dá um quadro das estimativas do potencial teórico para as três principais tecnologias comerciais com queima direta e uma quarta tecnologia avançada, ainda não comercial, que é a gaseificação da palha/bagaço integrada com turbina a gás (BIG/GT). As condições consideradas para estas estimativas foram: 1) consumo de vapor de processo a 2,5 bar/saturado, 2) moagem anual de 350 milhões de toneladas de cana, 3) fatores de carga de 50% para operação na safra e 85% para operação o ano todo e 4) consumo de energia elétrica de 321,6 GWh/ano<sup>19</sup>.

Tabela 5. Geração de Energia Elétrica Excedente – Potencial Teórico

Tecnologia	Operação	Consumo Processo kgv/tc	Energia Excedente kWh/tc	Potencial		% Consumo Brasil
				TWh	MW	
1. TG contrapressão 22 bar-300°C	Safra	500	0-10	3.5	800	1.1
2. TG contrapressão 80 bar-480°C	Safra	500	40-60	21.0	4 800	6.5
3. TG extr.condensação 80 bar-480°C	Ano todo	340	100-150	52.5	7 000	16.3
4. BIG/GT	Ano todo	< 340	200-300	105.0	14 000	32.6

Com a Tecnologia 1 as usinas atingiram a auto-suficiência, com equilíbrio entre a disponibilidade de bagaço e as necessidades energéticas da fábrica (energia elétrica e térmica). Pode-se ter excedentes até 10 kWh/t cana, operando em cogeração pura; algumas usinas, principalmente as de menor porte, irão permanecer neste nível tecnológico por muitos anos.

A evolução que ocorre no momento é equivalente à Tecnologia 2, em vários casos com pressões de 60 bar; os sistemas ainda operando em cogeração pura podem atingir excedentes de energia elétrica de até 60 kWh/t cana, com todo o bagaço, no período de safra.

Para a Tecnologia 3, utilizando turbo-geradores de extração-condensação (ainda não usada no Brasil em usinas de açúcar) a geração de excedentes ocorre durante o ano todo; níveis de 150 kWh/t cana podem ser atingidos. A indústria

<sup>19</sup> Ministério de Minas e Energia, **Balanco Energético Nacional 2003**, Secretaria de Energia, Brasília, 2003

nacional está apta a fornecer todos os equipamentos necessários; mas há necessidade de se ter um combustível para complementar o bagaço (no Brasil, provavelmente com a palha da cana) e reduzir os consumos de energia térmica nos processos

A tecnologia da gaseificação/turbina a gás (BIG/GT) é a grande promessa para a geração de energia a partir de biomassa; espera-se dobrar a energia gerada pela mesma quantidade de biomassa quando comparada aos ciclos a vapor com queima direta mais eficientes em uso hoje. Esta tecnologia não deverá estar comercial e competitiva em menos de 10 anos<sup>18, 20</sup>.

Uma avaliação subjetiva<sup>18</sup>, considerando os potenciais acima, o perfil conservador do setor, e as diferenças tecnológicas e de capacidade entre as usinas, indica um potencial realizável entre 4 e 5 GW, para 350 milhões t cana / ano. Os preços de energia oferecidos (mercado, Governo) serão o fator decisivo. A tendência mais forte é de que nos próximos dez anos haverá usinas apenas auto-suficientes, ou com pequenos excedentes; outras gerando apenas na safra e um grupo com geração durante o ano todo, usando a palha da cana para complementar o bagaço. Neste período dificilmente haverá a introdução comercial, em larga escala, de gasificação.

O avanço tecnológico nos últimos três anos foi concentrado na substituição de caldeiras obsoletas com pressão de vapor igual ou inferior a 22 bar por unidades com pressão acima de 60 bar e eficiências térmica em torno de 85%. Predomina ainda a co-geração pura e os níveis de excedentes, estão atingindo 40 kWh/t cana nas usinas que realizaram a substituição total das caldeiras. A recuperação de palha para suplementação ainda é incipiente.

Nos próximos dez anos a disposição do governo em ampliar a base de geração termoelétrica será um fator decisivo; houve certa frustração com a primeira fase do PROINFA (Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia, Lei 10438/2002), definida durante o primeiro semestre de 2004 (foi fixada a remuneração para energia da biomassa em 93 R\$/MWh, com outras alternativas atingindo até 200 R\$/MWh). Mesmo assim, com os 600 MW de excedentes já instalados o valor total da capacidade disponível das usinas para as

---

<sup>20</sup> Comunicação ao CGEE por E. Larson, Princeton University – CEES, 2004

concessionárias deve exceder 1500 MW até 2006. Se de fato, na segunda fase do PROINFA for implantada uma competição livre entre as energias alternativas (até 10% da energia nova) a geração por biomassa nas usinas de açúcar e álcool poderá atingir os potenciais indicados acima.

Com tecnologias comerciais a geração de excedentes ficará limitada a aproximadamente 150 kWh/ t cana (com o uso apenas de resíduos da cana); para 50kWh / t cana e com o valor atual do PROINFA a remuneração seria de 4,60 R\$/t cana. Hoje o faturamento com açúcar e álcool é de cerca de 60,00 R\$/t cana. Também os eventuais ganhos com comercialização dos certificados de redução de emissões de CO<sub>2</sub> (ver item 3.3) serão muito pequenos quando comparados com estes valores.

A gaseificação tem um potencial técnico muito atraente, com grande possibilidade de gerar o dobro dos excedentes conseguidos com a melhor tecnologia convencional. Contudo, as dificuldades de penetração no mercado, devido a seu alto custo inicial de implantação, podem atrasar sua chegada ao setor aumentando o risco de encontrar o mercado já saturado com as mudanças para a tecnologia convencional mais moderna. Um programa de introdução da tecnologia BIG/GT no mercado das usinas precisa ser concebido e avaliado para eventual implementação em um prazo razoável sob risco de se perder o grande potencial inerente a esta tecnologia.

### 3.2.2 Etanol da hidrólise de resíduos da cana: situação no Brasil

O consumo próprio de energia elétrica da usina (12 kWh/t cana), o uso de energia mecânica (16 kWh/t cana), e de energia térmica (330 kWh / t cana) são atendidos mediante sistemas de cogeração com muito menos combustível do que a palha e o bagaço podem fornecer. Considerando ainda que ser desejável que a evolução natural das usinas ocorra de forma a: 1) aumentar a eficiência na geração com bagaço, 2) reduzir os consumos internos de energia e 3) desenvolver a colheita/utilização da palha, ao longo do tempo deverá ampliar os excedentes de bagaço, que poderão alternativamente ser utilizados para gerar energia elétrica (como visto no tópico anterior) ou servir de matéria prima para produção de etanol, mediante processos de hidrólise ainda em desenvolvimento.

Em todo o mundo há um grande interesse na utilização de resíduos celulósicos para a produção de etanol. Diversas rotas ácidas e enzimáticas vem sendo testadas, sempre em busca de processos eficientes para converter a celulose e a hemicelulose de resíduos respectivamente em hexoses e pentoses fermentáveis. Uma das dificuldades da hidrólise é que a lignina restringe o acesso dos reagentes à celulose e eventualmente sua remoção ataca o açúcar formado, impondo técnicas complexas e multifásicas. No Brasil, a tecnologia em desenvolvimento é o processo DHR (Dedini Hidrólise Rápida, um desenvolvimento conjunto da Dedini e Copersucar); este processo é uma variante dos processos que utilizam solvente orgânico. Atualmente se obtém cerca de 100 l de etanol por tonelada de bagaço hidrolisado, esperando-se atingir uma produtividade 80% superior com o aperfeiçoamento da tecnologia. No estágio atual não recupera para etanol os açúcares derivados de hemicelulose; mas as análises técnico-econômicas são animadoras, quando este processo é utilizado nas usinas em associação com o sistema convencional existente<sup>21</sup>. Um processo avançado (conversão de todos os açúcares) poderia levar a aumentos de mais de 30% no faturamento da usina, se 50% da palha fosse utilizada. Este assunto será tratado novamente mais adiante, na Nota 2, que aborda aspectos de custo desta tecnologia.

### 3.3 Impactos no uso final: clima global

Os produtos energéticos da cana, etanol e bagaço, têm contribuído largamente para redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) no Brasil, através da substituição de combustíveis fósseis, respectivamente gasolina e óleo combustível.

Como no plantio, colheita, transporte e processamento da cana são consumidos combustíveis fósseis que geram emissões de GEE, é necessário fazer um balanço energético e de GEE para se avaliar quais os resultados líquidos no ciclo completo de produção do álcool de cana-de-açúcar e seu uso como combustível

---

<sup>21</sup> Comunicação ao CGEE por **Olivério, J.L.** Codistil-Dedini, 2004

no setor de transporte. O balanço completo (ciclo de vida) tem sido realizado no Brasil e foi recentemente atualizado<sup>22</sup>.

No balanço energético foram considerados três níveis de fluxos energéticos para facilitar a comparação com outros balanços:

Nível 1 – Considera-se apenas os combustíveis consumidos ou energia elétrica adquirida (insumos energéticos diretos).

Nível 2 – Acrescenta-se a energia necessária à produção de outros insumos para a lavoura ou processo industrial (fertilizantes, calcário, mudas, ácido sulfúrico, lubrificantes, etc.).

Nível 3 – Acrescenta-se a energia necessária para a produção e manutenção de equipamentos e instalações.

Os fluxos de energia são avaliados no Cenário 1 para valores médios de consumo de energia e insumos, enquanto no Cenário 2 se tomam os melhores valores praticados (valores mínimos de consumo com o uso da melhor tecnologia existente e praticada na região). Incorporando todos os fluxos energéticos, uma síntese dos resultados para as usinas do Centro-Sul consta da Tabela 6.

Tabela 6. Resultados do balanço energético da produção de etanol de cana

Ítem	Fluxos de energia (Mcal/t cana)	
	Cenário 1 valores médios	Cenário 2 melhores casos
consumo na fase agrícola	48.21	45.86
consumo na fase industrial	11.80	9.51
produção de etanol	459.10	490.10
produção de bagaço excedente	20.30	75.60
relação produção/consumo	8.3	10.2

Para o balanço de GEE as emissões foram divididas em dois grupos: emissões devidas ao uso de energia fóssil e emissões de outras fontes, não re-absorvidas

<sup>22</sup> Macedo, I. C.; Leal, M. R. L. V.; Silva, J. E.; **Emissões de gases de efeito estufa (GEE) na produção e uso de etanol no Brasil: situação atual (2002)**, SMA – Secretaria do Meio Ambiente de S. Paulo, S. Paulo, 2004

pela fotossíntese no crescimento da cana (gases não CO<sub>2</sub> na queima da palha , decomposição de fertilizantes, etc).

Para o primeiro grupo os valores calculados para os Cenários 1 e 2 foram de 19,2 kgCO<sub>2</sub>eq./t cana e 17,7 kg CO<sub>2</sub>eq./t cana, respectivamente, e para o segundo grupo foram de 12,6 kgCO<sub>2</sub>eq./t cana para ambos os cenários.

Como resultado líquido, as emissões evitadas pela substituição da gasolina pelo etanol e óleo combustível pelo bagaço excedente subtraídas dos valores acima são 2,6 e 2,7 t CO<sub>2</sub>eq./m<sup>3</sup> de etanol anidro e 1,7 e 1,9 t CO<sub>2</sub>eq./m<sup>3</sup> de etanol hidratado, para os Cenários 1 e 2, respectivamente.

Estes resultados são muito relevantes. Nestas condições, que refletem a situação atual no Brasil, a produção de etanol a partir de cana de açúcar é muito superior a qualquer outra tecnologia para produzir combustível de biomassa no mundo, pela relação (energia renovável obtida / energia fóssil usada) e pelo altíssimo coeficiente de redução mas emissões de GEE. Para comparação a relação de energias no caso do etanol de milho, nos EUA, hoje, não atinge 1,4 , enquanto no Brasil é, em média, 8,3.

Para uma produção brasileira de etanol atualmente de cerca de 14 milhões de m<sup>3</sup> por ano, sendo aproximadamente a metade em anidro, os valores acima indicam que o etanol é responsável pela redução de cerca de 30,1 milhões t CO<sub>2</sub> equivalente, ou 8,2 milhões t Carbono equivalente. O setor de cana de açúcar traz ainda uma outra parcela considerável de contribuição para mitigar emissões com o uso do bagaço (na usina) para a produção de açúcar.

Esta é uma razão muito forte para a importância que o etanol brasileiro adquire para o mercado externo (e interno) com os avanços recentes na direção da implementação do Protocolo de Kyoto.

É importante adicionar que a evolução esperada do setor energético das usinas (conforme visto nos itens 3.1.3.1, Energia elétrica, e 3.1.3.2, Etanol de hidrólise), com o uso da palha e com redução nos consumos internos, poderia se conseguir grandes avanços adicionais na redução de emissões de GEE. Seria possível ter até 100 – 150 kWh/ t cana excedentes, ou alternativamente até 30% de etanol, com um aumento mínimo na energia fóssil adicional usada (para coleta da palha).

### 3.4 Impactos no uso final: poluição em centros urbanos

Quando instituído, em 1975, o programa do etanol visava principalmente reduzir os custos com a importação de petróleo e evitar perdas com os baixos preços do açúcar no mercado internacional. Grandes benefícios na redução da poluição nos centros urbanos ficaram evidentes (e importantes) a partir de 1980<sup>23</sup>. Resumidamente, pode-se dizer que os usos do etanol, em mistura (E 22) ou nos motores a etanol puro (E 100) proporcionaram, neste período:

Eliminação total dos aditivos com Pb (desde 1990)

Eliminação de 100% do SO<sub>x</sub>, particulados de Carbono e Sulfato nos E100 e de ~22% nos E 22

VOCs com menor toxicidade e reatividade

CO: redução de ~70% nos antigos E 100 e até 40% nos E 22, comparados com E0.

O custo social evitado associado a estas reduções foi estimado em 2001 para os anos em seguintes em cerca de US\$ 500. milhões por ano, em cenários que incluem um crescimento modesto da frota de carros a álcool (~100 mil carros / ano).<sup>24</sup>

Como combustível, as características do etanol quanto a emissões derivam de: possuir baixa toxicidade comparado com o diesel e gasolina; ter 34,7% de oxigênio, exigindo menor relação ar / combustível, gerando emissões menores; não ter enxofre; ter menor reatividade fotoquímica que os HC no diesel e gasolina, reduzindo as emissões de precursores de “smog” fotoquímico; como molécula única, com baixo teor de carbono, quase não forma particulados; ser biodegradável. Finalmente, como elevador de octanagem, substitui aditivos como o MTBE, ETBE, Pb, TEL e outros com emissões indesejáveis<sup>25</sup>.

Testes realizados pela CETESB para todos os modelos E-100 em 2001, conduziram às seguintes médias (U. S. FTP-75 driving cycle): CO: 0,66 g/km; HC: 0,15 g/km; NO<sub>x</sub>: 0,08 g/km; Aldeídos: 0,017 g/km. As emissões evaporativas (U.S.

<sup>23</sup> Carvalho, L.C.C.; **Understanding the Impact of Externalities: Brazil**, Int. Development Seminar on Fuel Ethanol, Dec 2001, Washington DC

<sup>24</sup> M B Associados e FIPE; Relatório para a ÚNICA, **Cenários para o Setor de Açúcar e Álcool**, S. Paulo, 2001.

<sup>25</sup> Comunicação ao CGEE por **Alfred Schwarz**, Consultor (Meio Ambiente), 2004



Shed test) ficaram em 1,3 g/km, sem a necessidade de uso de canisters de carbono ativado.

### 3.5 Impactos ambientais da produção agrícola

Um estudo abrangente de todos os aspectos envolvidos na sustentabilidade ambiental da cultura da cana de açúcar no Brasil não tem sido feito de maneira homogênea; há um enorme volume de trabalhos em vários aspectos mas sua sistematização (incluindo por exemplo as novas áreas para a incorporação na produção; as novas práticas agrícolas na colheita de cana; a extensão da ferti-irrigação e outros) não é completa. Uma das razões é provavelmente o entendimento de que há uma experiência de centenas de anos na cultura da cana no Brasil, e que as práticas agrícolas não têm conduzido em geral a resultados ambientalmente prejudiciais. Isto é reforçado pelo conhecimento de que o uso de pesticidas, herbicidas, fertilizantes é relativamente pequeno (comparado a outras culturas); que a cultura não é irrigada, e recicla seus resíduos principais.

As atividades de produção de cana e sua industrialização são, como todas as outras, regulamentadas por um conjunto de leis. Em particular, seu impacto ambiental é controlado por cerca de 50 leis, resoluções, portarias, decretos e normas técnicas mais relevantes, nos setores agrícola e industrial. É um conjunto dinâmico, com freqüentes revisões em função de avanços técnicos e novas situações.

Nos últimos anos experimentos (comerciais) de produção de cana sem herbicidas, pesticidas e fertilizantes minerais, devidamente certificados, têm sido conduzidos em escala de grandes fazendas; é o caso da Usina S. Francisco (Barrinha, S. Paulo). É possível que a evolução nesta área venha a ser muito acentuada, inclusive por fatores econômicos (redução de insumos com agricultura de “precisão” e novas práticas, por exemplo).

Análises nos últimos vinte anos indicam que o uso de herbicidas, pesticidas e fertilizantes pela cana tem sido equivalente, e em alguns casos muito menor que o de outras culturas de grande volume.

É pratica corrente o reciclo de resíduos (vinhoto e torta de filtro) para a lavoura, reduzindo a necessidade de fertilizantes externos (principalmente potássio). O

uso médio de fertilizantes minerais pela cana, soja e milho no Brasil era, em 1977, aproximadamente igual, por hectare<sup>26</sup>. A otimização no uso dos resíduos (torta e vinhoto) e a possibilidade de deixar parte da palha no campo podem levar a reduções significativas dos fertilizantes minerais externos. Uma fração deste potencial começa a ser utilizada.

O reciclo da vinhaça tem sido extensamente analisado e modo a otimizar os benefícios e evitar problemas ambientais (contaminação do lençol freático, salinização). Resultados de uma pesquisa cobrindo mais de 30 anos de uso deste resíduo apontaram as operações adequadas de armazenamento, transporte por canais e aplicações de vinhaça<sup>27</sup>, na sua maioria já em prática.

O baixo nível de uso de pesticidas e herbicidas deve-se em parte a ter sido incorporado um extenso programa de controle biológico do principal predador da cana, a broca; introduz-se no momento o controle biológico da cigarrinha. No caso de herbicidas, a posição da cana com relação a outras culturas em 1997<sup>28</sup>, mostrada Tabela 7, tem sido melhorada nos últimos anos.

Tabela 7. Herbicidas em milho, soja e cana de açúcar, 1997<sup>26</sup>

Cultura	Área (milhões ha)	Herbicidas (1000 t)
Cana de açúcar	4.9	22.6
Milho	13.6	15.1
Soja	11.5	65.6

O uso de controle biológico para a broca da cana (prática comum na maioria das áreas) reduziu a infestação ao nível de 2-3%, contra valores iniciais (1980) de 10-11%. O uso total de inseticidas em 1997 atingia cerca de 0.36 kg/ha, contra 1.17 para soja e 0.26 para milho<sup>28,29</sup>. Inseticidas são usados em cana principalmente para insetos do solo e formigas. Há incertezas quanto ao aumento futuro de predadores das partes aéreas da planta, com a limitação de queima da cana; controles biológicos específicos estão sendo testados. É possível que o uso de

<sup>26</sup> Comunicação de J. Donzelli; Centro de Tecnologia Copersucar, 2002

<sup>27</sup> Gloria, N. A.; Demattê, J. L.; Elia Neto, A. e outros; **Proposta para adequação da aplicação de vinhaça no solo**, apresentada pela UNICA à CETESB, S.Paulo, 2003

<sup>28</sup> IBGE, **Censo Agropecuário**, Rio de Janeiro, 1997

<sup>29</sup> ANDEF, **Relatório Anual**, São Paulo, 2000

variedades transgênicas possa introduzir resistência a insetos e reduzir ainda mais o uso de inseticidas.

A proteção do solo e águas merece uma atenção especial. O crescimento rápido da cana e a prática de culturas de rotação, assim como o ciclo de cinco cortes, permitem a proteção do solo na maior parte do tempo, reduzindo erosão. Têm sido desenvolvidas e utilizadas técnicas especiais de contenção de águas pluviais.

O Código Florestal (Lei 4771/65) estabelece as obrigações quanto a re-florestamento e proteção de águas, definindo as áreas de preservação. Além disto, o conceito de “reserva legal” estabelecido na Lei 7803/89 (20% da área total deve ser re-florestada), depois da Lei Agrícola 8171/91, está sendo analisado nas suas implicações (legais, ambientais e econômicas). Legislações Estaduais também estão em elaboração sobre o assunto. Principalmente em S. Paulo, vários milhares de hectares de áreas reflorestadas foram estabelecidos em áreas de cana, (proteção de cursos de água, encostas, etc); mas será necessário estimular avanços significativos nos próximos anos.

A captação e uso de água nas usinas de açúcar ainda era muito elevada, no final da década de 90. Uma amostra de 36 usinas processando 60 milhões de t cana em São Paulo, indicou em 1997 uma média de 5 m<sup>3</sup> de água captada por t cana processada (variando de 0.7 a 20.0). Um programa de redução da captação de água, motivado por ações em curso (inclusive cobrança pelo uso) e baseado essencialmente na otimização de processos e reutilização interna, pode reduzir substancialmente este valor. Esta evolução deverá ocorrer simultaneamente, em vários setores industriais, comerciais e no setor doméstico.

A preocupação com possíveis riscos para a saúde com as queimadas de cana motivou muitos estudos desde 1980. O assunto foi tratado em pelo menos duas câmaras setoriais, envolvendo os interessados (trabalhadores, produtores, órgãos de proteção ambiental e da saúde pública, e representantes da população). O Estado de S. Paulo, com a maior concentração da produção, estabeleceu nestas câmaras a legislação adequada com a implantação gradual das áreas sem queima, obedecendo a um cronograma que respeita o estágio atual e avanços da tecnologia de colheita, as áreas de risco, a necessidade de manter níveis de

emprego e treinamento da mão de obra e a segurança e bem estar da população. Esta experiência tem se mostrado adequada para tratar do problema e poderá ser seguida em outras regiões.

A tecnologia básica para a transformação genética de cana é dominada no Brasil (Copersucar, Allelyx, RIDESA) e está avançando significativamente também em outros países. O estabelecimento do mapa genético da cana levou à implantação de vários projetos envolvendo análise funcional do genoma; resultados são esperados nos próximos anos (ver item 10.1). A legislação brasileira é pelo menos tão restritiva quanto a de outros países, e todos os trabalhos em curso para a cana de açúcar (nos últimos dez anos) têm se mantido estritamente dentro das normas de segurança.

A CTNBio (Comissão Técnica Nacional de Bio-Segurança) tem competência para opinar sobre a desregulamentação para plantio comercial do material. Embora até hoje já haja autorização para cerca de 50 plantios experimentais de várias culturas (milho, soja, cana, algodão, milho doce, fumo) nenhum requerimento de desregulamentação foi ainda considerado. Para cana-de-açúcar, isto deverá ocorrer nos próximos anos; há grande interesse no uso de genes para conferir resistência a pragas e doenças, inicialmente, e para melhorar propriedades mais complexas como o teor de açúcar, tempo de maturação, produtividade, etc. no futuro.

#### 4. Geração de emprego e renda

##### 4.1 Aspectos gerais

A geração de empregos (agrícolas e industriais) tem sido um dos pontos fortes da indústria da cana. Há grandes diferenças regionais e as características do emprego têm mudado nos últimos trinta anos; mas o fato é que o programa do álcool ajudou a reverter a migração para as áreas urbanas e melhorar a qualidade de vida em muitas localidades.

A produção em larga escala de etanol e açúcar no Brasil na verdade é composta por um número grande de unidades industriais (acima de 300), com áreas de produção de cana variando de 5 a 50 mil ha. No entanto esta produção de cana é

muito mais fragmentada, com cerca de 30% da cana sendo suprida por 60 mil produtores independentes.

Outra consideração de interesse para a criação e qualidade dos empregos é a sazonalidade; a cana é um produto de safra, que dura entre 6 a 8 meses. A duração da safra e o nível da tecnologia agrícola determinam as necessidades relativas de mão de obra para os dois períodos do ano agrícola (safra e entressafra). Alta sazonalidade implica geralmente em empregos temporários, gerando alta rotatividade, dificuldade de treinamento e conseqüentemente baixos salários. Tanto na agricultura quanto na indústria, o número de empregos e sua qualidade são muito influenciados pelo nível de tecnologia usado. No Brasil houve grandes diferenças regionais neste aspecto; alguma diferença ainda perdura. Entre os empregos indiretos, os sistemas de distribuição de etanol são idênticos aos da distribuição de combustíveis do petróleo, contribuindo para a geração de postos de trabalho na proporção do uso do combustível.

Em síntese, a produção de etanol necessariamente gera empregos como um grande número de pequenas e grandes agroindústrias, especialmente por conta do fornecimento de matéria prima. Deste modo, na produção de etanol de cana o número de empregos gerados por unidade de energia produzida é cerca de 100 vezes maior que na indústria do petróleo<sup>30</sup>, com as vantagens adicionais da diversificação e descentralização.

#### 4.2 Evolução

O contexto brasileiro nos anos 80 registra um desemprego oficial baixo: a média foi 5% (mínimo de 3%, 1989, e máximo de 8%, 1981)<sup>31</sup>. Havia sem dúvida desemprego não oficialmente registrado: em 1988, 44% dos trabalhadores na agricultura, 6% na indústria e 15% em serviços recebiam menos que o salário mínimo, na época, de US\$ 53.

No mesmo ano, somente 20% dos trabalhadores na indústria e serviços, e 5% na agricultura, recebiam mais que US\$ 265 ao mês. Havia grandes diferenças regionais (salários muito menores no Nordeste que no Sudeste, principais áreas

---

<sup>30</sup> Nogueira, L.A.H. e Lora, E.E.S., **Dendroenergia: fundamentos e aplicações**, Editora Interciência, Rio de Janeiro, 2ª edição, 2003

<sup>31</sup> Borges, J.M.; **Geração de Empregos na Agro-indústria canavieira**, Desenvolvimento em Harmonia com o Meio Ambiente, F. B. C. N. - Rio de Janeiro, 1992

produtoras de cana). Entre as famílias brasileiras, 36.1% recebiam menos que 106 US\$/mês; 67.3% menos que 265 US\$/mês; e 94.3% abaixo de 1060 US\$/mês. Considerando este quadro, a situação da agroindústria da cana em 1991 pode ser resumida como abaixo<sup>32</sup>.

Em 1991 estimou-se em 800 mil empregos diretos e 250 mil indiretos o número de postos de trabalho associados a agroindústria do etanol; sendo que em S. Paulo 72% dos empregos diretos era na agricultura. Cerca de 30% do total eram trabalhadores especializados (lavoura e indústria), 10% possuíam treinamento médio (motoristas, por exemplo) e 60% tinham pouca qualificação (cortadores de cana, entre outros). Nos 357 municípios com destilarias de etanol, estas proporcionavam 15 a 28% do total de empregos. Diferenças regionais em mecanização, automação e produtividade determinavam que no Nordeste se necessitavam três vezes mais trabalhadores por unidade de produção, comparativamente a uma usina no Sudeste. Em S. Paulo o cortador de cana recebia mais que 86% dos trabalhadores agrícolas no país; mais que 46% dos trabalhadores industriais, e mais que 56% dos trabalhadores em serviços. A renda familiar média (cortadores de cana, dois trabalhadores por família) era superior a 50% das famílias no país. O coeficiente de sazonalidade era de cerca de 2.2 em 1980; 1.8 em 1990, e cerca de 1.3 em 1995. O investimento para a criação de empregos na produção de etanol foi avaliado em US\$11 mil por emprego (Nordeste) e US\$23 mil, em S. Paulo (excluindo o custo da terra). A média nos 35 maiores setores da economia em 1991 era de US\$ 41 mil.

Dez anos depois (2001), análises feitas com base em 1997<sup>33</sup> avaliaram em cerca de 654 mil os empregos diretos e 427 mil os indiretos; nos “indiretos” é importante evitar a contagem dupla (“diretos” na produção de cana e “indiretos” na industrialização do açúcar e etanol). O número de empregos “induzidos” é muito elevado (cerca de 1800 mil, para cana, açúcar e etanol) mas não será usado nas considerações neste contexto. A redução de empregos diretos deveu-se

---

<sup>32</sup> Borges, J.M.; **The effect on Labor and Social Issues of Electricity Sales in the Brazilian Sugarcane Industry**, Proceedings of the International Conference on Energy from Sugarcane, Winrock International; Hawaii, 1991.

<sup>33</sup> Guilhoto, J. M. M.; **Geração de emprego nos setores produtores de cana de açúcar, açúcar e álcool no Brasil e suas macro-regiões**; Relatório Cenários para a produção de açúcar e álcool, MB Associados e FIPE, S. Paulo, 2001.

principalmente a terceirizações, aumento de produtividade e mecanização/automação. No Nordeste há cerca de quatro vezes mais trabalhadores por unidade de produto, evidentemente com perfis diferentes, como indicado na Tabela 8. Na ocasião, o Nordeste usava 38,1% da mão de obra para atender a 18% da produção.

Tabela 8. Distribuição dos trabalhadores da agroindústria da cana por nível de escolaridade

Anos de escolaridade	de Brasil, %	Sudeste, %	Nordeste, %
4 a 7	28.0	36.4	14.7
1 a 3	27.3	29.1	27.6
> 8	13.2	17.4	8.9
< 1	31.5	17.1	48.8

Tomando como base a produção de petróleo no Brasil, a geração de empregos por unidade de energia equivalente é 4 vezes maior no carvão, 3 vezes com a energia hidroelétrica, e 150 vezes com o etanol<sup>23</sup>.

#### 4.3 Tendências atuais

A experiência com o etanol no Brasil indica ser possível para programas similares com biomassa ter impactos positivos e importantes na geração e qualidade de empregos; ajustes no número de empregos ou em sua qualidade podem ser feitos para acomodar os mercados locais, usando tecnologia adequadamente. A tendência irreversível no Brasil é seguir incorporando tecnologia e gerando menos empregos com maior qualidade. Esta tendência fica clara com a redução estimada de empregos na área de colheita da cana, nas regiões onde a limitação da queima ou a topografia adequada favorecem a colheita mecânica. Um estudo recente avalia<sup>34</sup> que a introdução da colheita mecânica (hipóteses: 80% no Centro-Sul, 50% no Nordeste) poderia levar, quando completa (vários anos, na próxima década) a uma redução de cerca de 50 a 60% dos empregos diretos na área agrícola da cana; esta redução estaria concentrada nos trabalhadores de menor escolaridade (40% dos com menos de 3 anos de escola; 15% dos entre 4

<sup>34</sup> Guilhoto, J. M. M. e outros: **Mechanization Process of the Sugar Cane Harvest and its Direct and Indirect Impact over the Employment in Brazil and in its 5 Macro-Regions**, Relatório ESALQ – CEPEA, Piracicaba, 2002



e 7). As diferenças regionais são grandes, também neste aspecto. As implicações estimadas são apresentadas no item 10.5.

## 5. Aspectos econômicos

### 5.1 Custos de produção do etanol no Brasil

Este custo deve se referir a uma produção sustentável dos pontos de vista econômico, social e ambiental. Como os aspectos ambientais e sociais relevantes são conhecidos e o setor tem se situado de forma satisfatória neste contexto, busca-se avaliar os custos hoje e os esperados para uma empresa saudável economicamente nos próximos anos.

Os efeitos positivos dos avanços tecnológicos, agrícola e industrial, e dos avanços em gerenciamento nos últimos dez anos são evidenciados na contínua queda de custos do açúcar e álcool; mas ainda existem ganhos significativos a realizar, nos próximos 10 a 20 anos.

Uma avaliação recente<sup>35</sup> dos custos de produção de etanol no Centro-Sul determinou o custo de produção sustentável economicamente, incluindo a remuneração adequada do capital; utilizou valores para a média das usinas mais eficientes, com tecnologia praticada hoje. Consideraram-se usinas com diferentes capacidades, características de gestão, localização e qualidade de terras. Foram também considerados dados da FGV (série histórica, até 97/98) atualizados para verificação da consistência. Tal estudo analisou ainda as diferenças advindas de diversos conceitos de custo (base caixa, econômico, contábil), variações na produtividade agrícola, nos preços dos fatores de produção, mão de obra em particular, e outros, para estimar com os custos de produção de etanol economicamente sustentáveis para os próximos dez anos.

Em valores de abril de 2001, a Tabela 9 apresenta as principais hipóteses adotadas e os custos resultantes para dois cenários: as usinas eficientes e as usinas em uma perspectiva futura de evolução tecnológica. Com efeito, mantida a tendência atual de redução de custos, com aprimoramento de tecnologia e gerenciamento, nos próximos anos, é razoável esperar uma continuidade na

---

<sup>35</sup> Borges, J.M.M.; **Alternativas para o desenvolvimento do setor sucroalcooleiro**, FIPE – M B Associados, UNICA, Vol 2, S Paulo, 2001



curva de custos, que tem se mostrado declinante. O detalhamento e as hipóteses adotadas na atualização destes valores para janeiro de 2003 constam da Nota 1.

Tabela 9. Custos de produção de cana e processamento para etanol,

( em abril de 2001)

Parâmetros e custos	Cenários	
	usinas eficientes	usinas prospectivas
Produtividade agrícola, t cana / ha	85	90
Qualidade da cana, %pol / cana	14,5%	15
Produtividade industrial, l etanol/ t cana	85	90
Eficiência industrial na produção de etanol	88 a 89%	90
Custo médio da cana, (posta na usina), R\$/ t cana	23.50	22.60
Custo de processamento industrial, R\$/ t cana	15.10	15.10
Custo do etanol, R\$/ t cana	38.60	37.70

Empregando índices buscando refletir a realidade dos vários segmentos (mão de obra, máquinas e equipamentos, combustíveis, serviços de terceiros, etc), a correção a ser efetuada para trazer estes custos a valores de janeiro de 2003 é de 15,10% (vide Nota 1), implicando que os custos do etanol ficariam entre 0,523 a 0,482 R\$/l. Adotando uma taxa de câmbio arbitrada de 1US\$ = 3,2 R\$, chegasse a valores entre 0,163 a 0,150 US\$/l, claramente competitivos com os combustíveis derivados de petróleo, cujos preços no “rack” das refinarias tem historicamente se situado acima de 0,20 US\$/l.

Parte B. Perspectivas de evolução e competitividade para exportação, próximos dez anos

## 6. Produção de etanol no mundo

Etanol é empregado no mundo como combustível, como insumo industrial (grande diversidade de aplicações) e na área de bebidas. É produzido por fermentação (93%, em 2003) ou síntese química. Estimativas para o período 2000 – 2002<sup>36</sup> indicam que a produção mundial de etanol para os diversos fins estava em torno

<sup>36</sup> Saka, S.; **Current situation of Bio-ethanol in Japan**; Workshop “Current State of Fuel Ethanol Commercialization”, IEA Bioenergy Task 39, Denmark, 2003

de 33 M m<sup>3</sup> / ano, sendo 19 M m<sup>3</sup> para combustível, 9 como insumo industrial e 4,5 para bebidas. Neste período, produtores importantes foram:

Brasil	13,5	(2003)	M m <sup>3</sup>
EUA	6,5	(2001) <sup>37</sup>	
China	3,0		
U.E.	0,25	(2000) <sup>38</sup> ; 0,4 (2002) <sup>44</sup>	
Rússia	1,3		
Índia	1,7		
África do Sul	0,4		
Arábia Saudita	0,4		

## 7. Custos de produção e competitividade

### 7.1 Estimativas do custo do etanol (exterior)

Em geral é difícil avaliar o custo real de produção do etanol em situações onde há grandes subsídios de naturezas diferentes, como é o caso dos EUA e EU. Por exemplo, não há (mesmo nas melhores estimativas) nada que considere os subsídios de infra-estrutura (drenagem, e outros) na produção de grãos que levam ao etanol, nos EUA. Outra dificuldade vem das estimativas dos créditos por sub-produtos e co-produtos, nos casos onde os processos não estão implementados em larga escala. Nos parágrafos seguintes são apresentadas estimativas recentes para custos de etanol do milho (glucose - EUA), do etanol de beterraba (sacarose – EU) e de trigo (glucose – EU).

Uma análise da necessidade e do potencial de redução de custos com o desenvolvimento tecnológico do etanol de material ligno-celulósico, com todas as incertezas inerentes ao processo, é vista na Nota 2; um resumo é apresentado adiante. A inclusão desta análise deve-se a que estes processos são de grande importância para que o etanol se transforme, no futuro, em uma opção energética forte: os países de regiões temperadas não teriam outro modo de tornarem-se produtores, com custos aceitáveis.

<sup>37</sup> Tuite, J.; **The internationalization of fuel ethanol**, II DATAGRO International Conference, S. Paulo, 2002

<sup>38</sup> Maniatis, K.; **European Comission: Prospects for Bioethanol Commercialization in the EU**, IEA Bioenergy Task 39, Denmark, 2003

### 7.1.1 Custo do etanol de milho (glucose) nos EUA

Buscamos obter valores indicativos para situações normais; não são representativos de muitos outros casos específicos. Há uma flutuação constante nos preços dos subprodutos, que influenciam os resultados, como aliás é o caso em qualquer produto agrícola.

A análise de uma planta<sup>39</sup> para 53 M m<sup>3</sup>/ano (2003), usando o processo dry milling e produzindo etanol anidro (ver Nota 3), considerando créditos para subprodutos (DDGS) e sem subsídios estadual e federal (North Dakota) leva a um custo de produção de 0.33 US\$/l. A atualização destes valores mais gerais, e para 2004 deve considerar que<sup>40</sup> plantas maiores devem se beneficiar de redução de custos por escala de produção; mas por outro lado o milho teve ultimamente aumentos de preço de quase 50% (e muito possivelmente também os subprodutos). Análises anteriores para plantas maiores, citadas recentemente<sup>41</sup>, chegam a 0.29 US\$ /l.

### 7.1.2 Custos de etanol de trigo e beterraba (Europa)

Analisar os custos de produção na Europa, a partir de trigo e beterraba, é mais difícil pela complexidade dos sistemas de subsídio. Estimativas realizadas para plantas hipotéticas de 50 e 200 M litros / ano<sup>39</sup> (2003) na Alemanha elucidam alguns pontos (ver Nota 3). As plantas operariam 214 dias/ano, 90 dias (safra) com beterraba e o restante com trigo (64% do etanol vem do trigo, 36% da beterraba).

Trigo e beterraba são considerados como de plantios em áreas “set aside”, como culturas não alimentares, e com margem bruta comparável à que seria obtida se fossem “fallowed” (para o custo). Custos para a planta de 200 M l / ano (para 50 M l/ano os custos de etanol seriam cerca de 13% maiores) indicam 0,5068 US\$/ l anidro. Este custo considera créditos por subprodutos (DDGS, do trigo e polpa, da beterraba). A atualização para 2004<sup>40</sup> indica custos aproximadamente iguais (aproximadamente 0,50 €/ l, para uma planta de tamanho médio).

<sup>39</sup> 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, No. 11; 2003

<sup>40</sup> Comunicação ao CGEE por O. Henniges, 2004

<sup>41</sup> Fulton, L. e Hodges, A.; **Biofuels for Transport: An International Perspective**; IEA / EET, 2004

O mesmo estudo indica que os custos calculados para a França são os iguais. No entanto, estima-se que seria possível reduzir estes custos em cerca de 0.07 US\$/l etanol anidro, atingindo cerca de 0.43 US\$/l anidro, com avanços em variedades de plantas, economia de energia nos processos e economias de escala.

## 7.2 Custos (futuros) do etanol de hidrólise de ligno-celulósicos

Trata-se de avaliar os estágios atuais e perspectivas das tecnologias em desenvolvimento e demonstração no mundo, nesta área. É um assunto de certa forma controverso; de fato, a hidrólise de celulose eficiente e com custos baixos para permitir o uso competitivo dos açúcares resultantes tem sido o sonho de grande número de cientistas e engenheiros, nos últimos 40 anos.

É um desenvolvimento essencial para que o etanol seja produzido e comercializado como commodity, porque estenderia a sua produção para praticamente todos os países do mundo. Grandes volumes de recursos têm sido investidos, mas ainda não há aplicação realmente comercial. Plantas de demonstração devem operar em 2004, com tecnologias e matérias primas diferentes; mas estão longe de serem competitivas.

Resumidamente, pontos importantes para o custo final do etanol são:

1. o custo da biomassa
2. o custo do processamento
3. as taxas de conversão da biomassa para os produtos

Custo do processo e taxas de conversão estão relacionados (ver Nota 2); leveduras simples (*Saccharomyces Cerevisiae*) só converteriam o açúcar derivado da celulose; uma fermentação mais complexa e cara, por exemplo com o *Clostridium Thermocellum*, poderia converter também a xilose. Há muitas opções de processo em estudo, com vários pré-tratamentos (remoção da lignina e separação da hemicelulose, em alguns casos). Todos estes processos estão em fase de desenvolvimento e, apesar da insistência de vendedores, mesmo as plantas a serem operadas neste ano são experimentais. Sua operação será essencial para o desenvolvimento final de sistemas comerciais, e para o estabelecimento dos custos reais.

O potencial de avanço destes processos tem sido muito analisado. Uma avaliação<sup>42</sup> feita em 2001, com quantificação das expectativas futuras, indica que os processos com catálise ácida apresentam hoje melhor resultado – em termos de custos finais - mas os enzimáticos parecem ter maior potencial de redução de custos, nos próximos anos. Considerando o desenvolvimento de um processo que inclua pré-hidrólise com ácido (diluído); sacarificação (enzimática) e fermentação simultâneas; produção local da enzima (celulase); queima da lignina para energia; em uma planta para 200.000 m<sup>3</sup> etanol/ano, os resultados esperados são:

Custos hoje, incorporando tecnologia em fase final de desenvolvimento:

Etanol:	0,38 US\$/litro	(0,44 – 0,36)
---------	-----------------	---------------

Resultados esperados, futuro:

Até 2010:	US\$ 0,29 – 0,32 /l
-----------	---------------------

Logo após 2010 (Comercial):	US\$ 0,28 /l
-----------------------------	--------------

Após 2020:	US\$ 0,20 /l
------------	--------------

Para comparação, o custo estimado para o etanol de sacarose (Brasil; Centro-Sul, como visto anteriormente é de US\$ 0,15/l (com câmbio de 1US\$= 3,2 R\$). Ou seja, os custos alcançados hoje no Brasil não seriam batidos nem em 2020 com as tecnologias de hidrólise, mesmo admitindo extenso desenvolvimento, com os custos de biomassa previstos para o Hemisfério Norte.

A relação de custos do etanol obtido a partir de hidrólise no Hemisfério Norte versus etanol de cana no Brasil, reflete a relação entre os custos dos respectivos açúcares. Estes resultados “esperados” supõem um avanço tecnológico extremamente ambicioso principalmente na área biológica, com a redução do custo de enzimas (com ótimos resultados, recentemente), e desenvolvimento de micro-organismos “estáveis” para a complexa fermentação simultânea; mas podem exigir mais tempo. Entre os avanços previstos está a possibilidade de ter biomassa a 25 US\$/t de MS (US\$ 1.25 / GJ).

---

<sup>42</sup> Nieves, R., **Enzyme based biomass to ethanol Technology: an update**, NREL International Development Seminar on Fuel Ethanol, Washington DC, 2001

Estes custos de biomassa, no Hemisfério Norte, só poderão ser conseguidos, por muitos anos, em situações especiais, com volumes limitados, utilizando, por exemplo, resíduos da colheita do milho. Redução do custo de biomassa especificamente para energia, nos EUA e Hemisfério Norte em geral, em volumes maiores só ocorrerá com consideráveis avanços tecnológicos. Seria necessário atingir os custos de produção abaixo:

Tabela 10. Custo a atingir para a biomassa, EUA

Ano	2000	2005	2010	2020
Custo US\$/GJ	2,4	1,8	1,4	1,2

Para comparação, no Brasil: custos para para madeira em São Paulo<sup>43</sup> são de 1,16 US\$/GJ para a situação hoje (com 44,8 m<sup>3</sup>/ha.ano, e 21,4 km de média de transporte) e de 1,03 US\$/GJ no futuro (com 56 m<sup>3</sup>/ha.ano, mesma distância). (Valores calculados em R\$, para 2000, com o câmbio do ano). Estes valores já são excepcionalmente baixos hoje e menores que as expectativas para 2020, no Hemisfério Norte.

Os custos de recuperação da palha da cana em S. Paulo já estão abaixo de US\$ 1.0/GJ (chegando a 0.7). Isto abre excelentes possibilidades para o crescimento de uma industria baseada também nos açúcares derivados desta biomassa, aumentando a flexibilidade de operação das usinas. Com estes níveis de custo no Centro Sul do Brasil, qualquer processo avançado de hidrólise (para aplicação em grande escala) que se tornar viável, o será primeiramente em usinas processadoras de cana-de-açúcar.

### 7.3 Custo da gasolina

Para as comparações e verificação da competitividade, tem sido aceito um custo de gasolina (na refinaria, sem aditivos, sem impostos) de US\$ 0.21 / l (petróleo a US\$ 24./ barril) a US\$ 0.25 / l (petróleo a US\$ 30. / barril).

## 8 Mercados para o etanol: Brasil e exterior, próximos dez anos

<sup>43</sup> Damen, K.; **Future prospects for Biofuel Production in Brazil**, Report NW&S-E-2001-31, Universiteit Utrecht, 2001.

Atualmente o comércio internacional de etanol é de cerca de 3,3 M m<sup>3</sup> / ano (2002), tendo ficado acima de 3 M m<sup>3</sup> / ano desde 1998. O Brasil duplicou sua exportação de 2001 para 2002 (de 0,32 para 0,76 M m<sup>3</sup>), sendo hoje o líder do mercado com 25% do total<sup>44</sup>.

Este mercado deve crescer muito nos próximos anos. As diversas análises de potencial têm sempre considerado dois pontos básicos:

- A provável implementação do Protocolo de Kyoto, aumentando a demanda de combustíveis renováveis no mundo.
- A enorme resistência dos países desenvolvidos (em particular, na UE e EUA) em reduzir barreiras comerciais para a entrada de etanol externo, tendo em vista seu interesse em manter o nível de emprego interno.

Estes dois pontos (conflitantes, para a maioria dos países do hemisfério norte) têm norteado as políticas na EU, EUA, Japão e outros; com ponderações específicas em cada caso.

No caso do Brasil, em função de ter hoje os menores custos de produção de etanol do mundo (e também de açúcar), para avaliar o espaço possível para expansão sustentável da produção nacional deve considerar inicialmente quatro pontos, no horizonte dos próximos dez anos:

- O mercado interno para etanol
- Os mercados internacionais para etanol
- Os mercados internacionais de açúcar
- O mercado interno para açúcar

O terceiro ponto é importante porque estamos em um momento decisivo de definições sobre regras no comércio internacional onde até uma pequena vitória (como a possível decisão na OMC sobre o subsídio ao açúcar exportado pela Europa) terá enormes conseqüências sobre a nossa produção de cana (somando-se a expansões para etanol). O mercado interno de açúcar é relativamente conhecido, em sua trajetória próxima.

---

<sup>44</sup> Carvalho. E. P.; **Demanda externa de etanol**, Seminário BNDES "Álcool: Gerador de divisas e emprego", Rio de Janeiro, 2003

## 8.1 Mercado interno para etanol

O consumo de etanol no Brasil não será revisto aqui por ser muito conhecido. É adequado dizer que nos últimos 12 anos (até 2002) ficou relativamente estável, em torno de 12 M m<sup>3</sup>; mas ocorrendo uma transição contínua de etanol hidratado para anidro, em decorrência da quase extinção da venda de carros E100 novos, e ao aumento geral da frota com carros E22 (os teores de etanol variaram de 20% a 25%, ao longo dos anos). Na década de 80 os veículos a etanol puro chegaram a atingir 96% das vendas totais, caindo a quase zero na década seguinte; mas o volume total de vendas de veículos saiu de 600-800 para 1200-1800 mil unidades. O aumento (sobre os 12 M m<sup>3</sup>) nos dois últimos anos ocorreu porque o preço muito baixo do etanol provocou misturas com maior porcentagem de etanol e porque no último ano ocorreu a introdução dos carros Flex-Fuel, que tem respondido por quase 30% das vendas.

Este último fato poderá causar uma mudança sensível no consumo de etanol nos próximos anos<sup>45</sup>. Alguns modelos têm sido elaborados para simular a evolução do consumo de etanol; uma verificação básica é que quando a relação de preço AEHC / Gasolina for menor que 0,7 o consumidor utiliza álcool, se possível. Esta condição tem sido mantida nos principais mercados no país, e deve ser reforçada com a reforma tributária.

Uma implicação interessante dos veículos flex-fuel é que, para permitir a mistura de etanol hidratado e gasolina (na realidade uma mistura gasolina-etanol) em quaisquer teores, a gasolina deverá ter sempre um teor mínimo de etanol, sob risco de separação de fases. Assim, de certo modo a tecnologia bi-combustível trouxe um revigoramento ao mercado de etanol hidratado mas introduziu uma rigidez na demanda de anidro.

Os resultados de simulações conduzidas pela DATAGRO com um modelo desenvolvido para a Comissão de Re-exame da Matriz Energética<sup>45</sup> (considerando o crescimento da frota, venda de veículos novos atingindo 40% de carros E100 ou bi-combustível usando etanol, e mantendo 26% de etanol na gasolina) são: em 2013 a demanda de etanol (mercado interno) seria de 22,04 M

---

<sup>45</sup> Nastari, P.; **Projeções de demanda de açúcar e álcool no Brasil no médio e longo prazos**; III Conferencia Internacional DATAGRO sobre Açúcar e Álcool, S. Paulo, 2003



m<sup>3</sup>, sendo 9,4 anidro, 11,54 hidratado combustível e 1,10 M m<sup>3</sup> para outros fins. Uma avaliação feita pela Câmara Setorial da Cadeia Produtora do Açúcar e Alcool<sup>46</sup> indica demanda interna de 16,9 M m<sup>3</sup> (2010) e 26,3 M m<sup>3</sup> (2015).

Outra estimativa para 2010, apresentada em 2003<sup>44</sup>, situa entre 15 e 18 M m<sup>3</sup> a demanda de etanol combustível.

Estas estimativas convergem para cerca de 22 M m<sup>3</sup> em 2013; uma incógnita é a posição relativa do GNV, que tem um crescimento forte no momento, mas poderá ter um re-direcionamento mais saudável para transportes coletivos.

## 8.2 Mercados externos para etanol

Estes mercados têm sido avaliados considerando as políticas agrícolas internas de cada país ou região, o seu compromisso formal ou esperado com o Protocolo de Kyoto, sua demanda de combustíveis, etc. É uma área com muitas incertezas.

Vários países que têm programas estabelecidos formalmente para a produção de etanol carburante (ver Nota 4); em alguns casos as políticas têm sido explícitas ao impedir a importação de etanol (visando claramente o etanol brasileiro, com custos de produção muito abaixo de qualquer outro, na escala prevista). Na Nota 4 são resumidas as posições atuais da EU e dos Estados Unidos, neste sentido.

Uma estimativa da ÚNICA para 2010, apresentada em 2003<sup>44</sup>, indica que as demandas totais seriam :

EUA	18 - 20 M m <sup>3</sup>
Japão	6 - 12 M m <sup>3</sup>
UE	9 - 14 M m <sup>3</sup>
Leste Europeu	1 - 2 M m <sup>3</sup>
Canadá	1 - 2 M m <sup>3</sup>

Uma avaliação recente da IEA<sup>41</sup> confirma estas expectativas: considerando as metas já estabelecidas nos programas da EU e dos Estados Unidos / Canadá, juntamente com expectativas para o Brasil, a avaliação indica a demanda de cerca de 66 M m<sup>3</sup> etanol em 2010, a partir dos 33 M m<sup>3</sup> em 2003.

<sup>46</sup> Comunicação ao CGEE por Luiz C. Correia Carvalho, 2004.

Os estudos para estimar que parcela deste mercado seria possível ocupar com etanol brasileiro refletem as incertezas sobre o encaminhamento das negociações comerciais em curso para redução/eliminação das barreiras comerciais. Também, embora claramente o etanol brasileiro não tenha competidor em custo no mundo, acordos bi-laterais e outros poderão garantir parte do mercado a outros participantes (Tailândia, Austrália, Guatemala, etc). Uma posição conservadora, adotada em estudo da DATAGRO<sup>45</sup>, considera que:

- o mercado da EU estará fechado para importações
- o mercado japonês poderá importar 5.5 M m<sup>3</sup>, a partir de 2007
- a Coreia poderá importar 1 M m<sup>3</sup>
- os EUA, através do Caribe e da América Central (CBI: ver Nota 4) poderiam importar 1.3 M m<sup>3</sup>, em 2011 (dependendo de aprovação da RFS)

e que o Brasil poderia participar neste mercado externo com cerca de 4.4 M m<sup>3</sup> anuais, em 2013.

Avaliação feita na Câmara Setorial da Cadeia Produtora do Açúcar e Álcool<sup>46</sup>, refletindo problemas de infra-estrutura deficiente para a exportação e maior dificuldade com barreiras tarifárias externas, indica a exportação de 2,2 a 3,2 M m<sup>3</sup> etanol / ano, em 2010 e 2015.

## 9. Mercados de açúcar e evolução da produção de cana

O mercado de açúcar precisa ser considerado (etanol e açúcar são co-produtos no Brasil, e poderão sê-lo na Índia, Tailândia, Austrália, etc) para a avaliação das possibilidades de crescimento da cana de açúcar no Brasil. Não seria possível tratar aqui de um assunto vasto como este (todos os países do mundo são consumidores; cerca de 80 são produtores); mas a posição ímpar do Brasil como o mais competitivo produtor no mundo permite algumas simplificações na análise. Os dados “macro” são considerados a seguir, e pretende-se apenas uma indicação das possibilidades nos próximos anos.

### 9.1 Mercado interno de açúcar

Os dados a seguir são de uma recente análise apresentada pela DATAGRO<sup>45</sup>.

O consumo mundial de açúcar cresceu 2,12 % ao ano, no mundo, e 2,40% ao ano, no Brasil, nos últimos 20 anos. No Brasil, nos últimos 7 anos, a taxa caiu para 2,1% (valor da média mundial). Esta redução está diretamente ligada à redução da taxa de aumento da população; de fato, tem-se mantido o quociente 1,6 entre as taxas de crescimento do consumo de açúcar e da população, nestes vinte anos. Assumindo que o quociente 1,6 será mantido, em 2013 o consumo estará crescendo a 1,55% ao ano, atingindo 11.4 M t (FIBGE: população de 198 M pessoas, portanto o consumo per capita evoluiria de 53,8 kg em 2003 para 57,5 kg em 2013).

Nos últimos seis anos o consumo de açúcar para outros produtos (sucro-químicos: aminoácidos, ácidos orgânicos) aumentou em 0.45 M t; estima-se que poderá atingir, em dez anos, 1,4 M t.

Desta forma, uma estimativa da demanda interna de açúcar é de cerca de 12.8 M t / ano, em 2013<sup>58</sup>.

## 9.2 Mercado externo de açúcar

Estas estimativas são mais imprecisas ainda, pelo fato de dependerem muito de decisões políticas no âmbito da OMC e de acordos bi-laterais, e da evolução em cada país. Uma visão balanceada das diversas regiões do mundo (do ponto de vista de produção / consumo de açúcar) mantendo o foco nos fluxos foi apresentada recentemente por uma das grandes comercializadoras<sup>47</sup> do setor. Foram considerados os fatores políticos, as mudanças relativas nas posições competitivas dos países produtores, as variações de fretes, e ainda os fatores determinantes do consumo:

Taxas de crescimento populacional

Níveis de urbanização; taxas de câmbio

Distribuição de idade da população

Crescimento econômico (PIB per capita)

Disponibilidade de adoçantes alternativos (HFCS, sacarina)

<sup>47</sup> Drake, J.; Cargill Sugar; **The future of trade flows in the World Sugar Trade**, III Conferencia Internacional DATAGRO sobre Açúcar e Alcool, S. Paulo, 2003

Dez regiões do mundo foram analisadas, para um horizonte de dez anos (até 2014). Os resultados são:

As exportações no mundo podem crescer 26 M t (de 45 para 71 M t / ano) e o Brasil deverá conseguir a maior parte deste aumento do mercado, ficando com 40% do mercado mundial. Os maiores crescimentos do mercado ocorrerão na Oriente Médio e Ásia Central. E a África Ocidental passará a África do Norte. O Brasil está geograficamente muito bem posicionado para atender estas demandas.

Uma posição (assumidamente) mais conservadora foi apresentada na mesma ocasião pela DATAGRO<sup>45</sup>; supondo também que o Brasil mantenha sua posição no mercado mundial (cerca de 40%, hoje), mas que este mercado represente 27% do consumo mundial (como hoje), as exportações chegariam a 20,9 M t em 2013.

### 9.3 Evolução da produção de cana

Para atender as demandas previstas de açúcar e etanol, nos mercados interno e externo, conforme resumido abaixo, em 2013:

Açúcar, Mercado interno	12,8 M t
Mercado externo	20,9 M t
Etanol, Mercado interno	22,0 M m <sup>3</sup>
Mercado externo	4,4 M m <sup>3</sup>

teríamos a necessidade de uma produção de matéria prima de:

Cana de açúcar	572 M t cana / ano <sup>45</sup>
----------------	----------------------------------

Este valor representa um incremento de cerca de 230 M t cana em dez anos. Por duas vezes (uma nos anos 70-80, com o PNA; outra nos anos 90, com o aumento da exportação de açúcar) o Brasil já obteve aumentos de cerca de 100 M t cana / ano em intervalos de cinco anos.

O aumento corresponderia a dobrar a produção atual de etanol e aumentar em cerca de 44% a produção de açúcar. Mesmo que esta demanda não venha a ocorrer com os valores previstos, é preciso avaliar os impactos (benefícios e dificuldades a vencer) visando aumentos de pelo menos 150 M t cana, nos

próximos dez anos. Estes 150 – 230 M t cana / ano corresponderiam a cerca de 2,2 – 3 M ha adicionais.

A pergunta agora é: seria possível repetir estes crescimentos, sustentavelmente, no futuro próximo? Quais os principais desafios a serem enfrentados, no campo agrônômico e industrial? Estes assuntos serão discutidos a seguir.

#### 10. Impactos de um aumento substancial da produção nos próximos anos

Aumentos de produção de cana como os considerados anteriormente devem ser planejados tendo em conta diversos fatores. No Brasil a experiência acumulada desde 1975 facilita a identificação de alguns pontos essenciais a avaliar:

A sustentabilidade da base agrônômica: variedades e tecnologia agrícola

A disponibilidade de áreas livres adequadas

A existência de capacidade industrial para implementação de destilarias

A logística, incluindo a exportação

Os possíveis efeitos na geração de energia elétrica

Os efeitos na geração de empregos

Os dois últimos itens não são dificuldades a vencer: são vantagens que merecem ser contabilizadas.

#### 10.1 Sustentabilidade da base agrônômica: variedades e tecnologia agrícola

##### 10.1.1 Variedades e melhoramento genético convencional

A preocupação aqui é: o país possui hoje uma base genética adequada (suficiente) para o desenvolvimento contínuo de novas variedades, de modo a suprir as áreas produtoras e ter a certeza de que novas doenças ou pragas poderão ser controladas com perdas aceitáveis?

A cana-de-açúcar é cultivada em mais de 5 milhões de hectares no Brasil, nas 27 unidades da federação. No período de 1971 a 1997, a produção de cana de açúcar cresceu a uma taxa média de 5,5% ao ano, sendo que a área cresceu 3,9% ao ano e a produtividade 1,6% ao ano de forma relativamente uniforme. As taxas de incremento de produtividade, mesmo com a expansão para áreas menos favoráveis, podem ser atribuídas, em grande parte, à disponibilidade de

variedades geneticamente melhoradas adaptadas a estas novas condições. Entre 1976 e 1994 (PCTS, S. Paulo), os ganhos totalizaram 1,4 kg de açúcar / t cana, a cada ano. Nesses últimos dez anos as novas variedades proporcionaram um novo avanço qualitativo.

São cultivadas no país mais de 550 variedades de cana-de-açúcar<sup>48</sup>; nos últimos dez anos foram liberadas 51 variedades novas<sup>9</sup> sendo que as 20 principais ocupam 70% da área. Estas variedades foram produzidas principalmente por dois programas de melhoramento genético; o da COPERSUCAR (variedades SP) e o da Rede Interuniversitária de Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro-RIDESA (ex Planalsucar, com variedades RB). Um terceiro programa ativo, o do Instituto Agrônomo de Campinas historicamente de grande importância para o setor, foi re-estruturado e tem liberado algumas variedades promissoras. Recentemente foi constituída uma empresa privada, a Canavialis, para o desenvolvimento de variedades de cana-de-açúcar. Portanto, o Brasil conta com duas empresas privadas e duas públicas para o melhoramento genético de variedades de cana.

Os dois programas de melhoramento mais ativos (SP e RB) foram estabelecidos em 1970 quando se cultivava aproximadamente 1,5 milhão de hectares de cana-de-açúcar no país. Estes programas foram suficientes para atender a grande expansão da área a partir desta época. A expansão dos anos 70-80 se deu principalmente para regiões com condições edafoclimáticas menos favoráveis, e o desenvolvimento de variedades de cana adaptadas foi importante para que esta expansão tivesse sucesso. Durante este período (1970's e 1980's) os programas estabeleceram uma ampla base física para o melhoramento genético convencional. O banco de germoplasma da COPERSUCAR<sup>48</sup> conta com mais de 3000 genótipos incluindo uma ampla coleção de espécies "selvagens" incluindo *Saccharum officinarum* (423 genótipos), *S. spontaneum* (187 genótipos) *S. robustum* (65 genótipos), *S. barberi* (61 genótipos) e *S. sinense* (32 genótipos), espécies precursoras das modernas variedades de cana-de-açúcar e fontes da grande variabilidade genética encontrada no gênero. Adicionalmente a COPERSUCAR conta com uma estação de quarentena própria (aprovada e fiscalizada pelo Ministério da Agricultura) por onde importa anualmente 40 novas

---

<sup>48</sup> Comunicação ao CGEE por **William L. Burnquist**, Centro de Tecnologia Copersucar, 2004

variedades de diversos programas de melhoramento do mundo. Os programas de melhoramento contam com estações experimentais localizadas nas principais regiões canavieiras do país e complementam sua rede de estações com áreas cedidas por unidades produtoras.

O Brasil possui duas estações experimentais de hibridação, onde são realizados os cruzamentos: Camamu na Bahia, e Serra D'Ouro em Alagoas. Estima-se que, a cada ano, os programas de melhoramento brasileiros produzam 1.420.000 “seedlings”.

Comparando com outros importante centros de pesquisa de cana no mundo (Australia, África do Sul, Colômbia, e Mauritius) pode-se afirmar que os programas de melhoramento genético brasileiros são mais prolíficos e o produtor brasileiro mais rápido para adotar novas variedades de cana-de-açúcar. Importantes epidemias foram controladas com a rápida substituição de variedades. Isto ocorreu com o carvão de cana (1980-1985), com a ferrugem (1987-1992) e o vírus do amarelecimento (1994-1997). Hoje, as principais variedades ocupam cada uma no máximo 10% a 15% da área total de cana em cada usina, o que minimiza o risco de perdas causadas por patógenos exóticos, até que uma efetiva proteção com variedades geneticamente resistentes possa ser desenvolvida. De fato, esta tem sido a principal defesa contra patógenos externos na usinas brasileiras<sup>9</sup>.

Não existe ainda uma evidente contribuição da resistência varietal para minimizar as perdas causadas por algumas pragas: nematóides, cigarrinha da raiz, broca do colmo, *mioglyphus*.

Os programas de melhoramento genético também têm se mostrado eficiente para desenvolver variedades adaptadas a novas condições manejo. Recentemente, no Estado de São Paulo tem se observado um aumento relativo do uso da colheita mecânica de cana crua sem queimar, que proporciona uma condição biológica muito diferente à cultura. Não tem sido difícil desenvolver variedades adaptadas a estas novas condições.

Considerando o sucesso dos programas de melhoramento genético de cana-de-açúcar no passado e a ampla base física instalada, consideramos que o setor poderá contar com variedades adequadas para suportar com segurança a

manutenção e futura expansão da cultura em qualquer condição edafoclimática do país. No entanto, alguns cuidados devem ser tomados. Por exemplo, a expansão para áreas ainda não visadas especificamente pelos principais programas deverá envolver novos investimentos.

O investimento nessa área de pesquisa totaliza, em São Paulo, cerca de R\$15 milhões / ano; possivelmente, no Brasil, R\$20 milhões / ano<sup>9</sup>. Isto corresponde a 1,14 US\$/ha cultivado anualmente; na Austrália, o B.S.E.S. opera com cerca de 12 US\$/ha cultivado, para gerar variedades; em Maurícius, 82,2 US\$/ha. Em parte este sub-investimento é compensado pelo envolvimento de dezenas de empresas do setor sucroalcooleiro nas fases finais de avaliação. Isso pode significar mais 10 a 15% de investimento na área de experimentação, além de gerar ganhos adicionais no uso mais rápido dos resultados. Mas mesmo considerando o nosso fator de escala benéfico, é preciso investir mais em certas áreas; uma deficiência clara é a falta de renovação dos quadros de profissionais<sup>9</sup>. Também deve-se dizer que o surgimento de uma nova empresa na área deu-se em função de certo esvaziamento de um dos dois principais programas (RIDESA). O Centro de Tecnologia Copersucar passa no momento por uma re-estruturação que espera-se não vá comprometer sua atuação na área.

#### 10.1.2 Biotecnologia da cana nos próximos dez anos

Tem sido observado um significativo desenvolvimento da biotecnologia de cana-de-açúcar no Brasil (assim como na Austrália e África do Sul) nos últimos dez anos. O Centro de Tecnologia Copersucar foi pioneiro no Brasil na criação de variedades transgênicas de cana-de-açúcar em 1997, e no plantio experimental dos resultados destas pesquisas. A Comissão Técnica de Biossegurança (CTNBio) do MCT conferiu ao CTC o certificado de qualidade em biossegurança em 1997 (uso de área experimental restrita para variedades resistentes a herbicidas, pragas, doenças e ao florescimento obtidas por meio de modernas técnicas de biotecnologia).

Foi muito importante o desenvolvimento do projeto Genoma Cana, financiado pela Copersucar e FAPESP (2000 a 2003), com 200 pesquisadores de mais de 20 grupos, para identificar os genes expressos em cana de açúcar. Cerca de 300 mil seqüências genéticas expressas em cana foram analisadas e agrupadas em



aproximadamente 40 mil genes. Alguns grupos de pesquisa já utilizam estes genes em programas de melhoramento genético. O trabalho continua com o financiamento (também pela Copersucar e FAPESP) do projeto de genoma funcional iniciado em 2004.

Resultados preliminares são promissores para o desenvolvimento de variedades mais resistentes a pragas e doenças e alguns estresses importantes como seca e frio, que poderiam inclusive estimular a expansão da cultura em regiões hoje consideradas inaptas para a cana-de-açúcar<sup>49</sup>.

Os grupos de pesquisa se queixam da indefinição e complexidade da legislação brasileira na área; para o plantio de um campo experimental de cana transgênica há necessidade da aprovação do projeto em órgãos de três ministérios distintos : CTNBio, MCT; IBAMA, MMA e DDIV , MAPA. O tempo para avaliação de propostas tem inviabilizado alguns projetos. Não há definição clara sobre o protocolo a ser seguido por empresas interessadas em registrar o produto transgênico para uso comercial<sup>49</sup>.

A capacitação técnica coloca o Brasil na vanguarda mundial da biotecnologia de cana; mas um grande esforço precisa ser feito na área legislativa para que o país se beneficie desta tecnologia nos próximos 10 anos.

## 10.2 Disponibilidade de áreas livres adequadas

A cultura da cana é praticada no país há séculos. Um estudo da EMBRAPA<sup>3</sup> mostra que, na evolução da produção entre 1976 e 2000, continuaram a participar todas as unidades da federação (embora com produtividades médias diferentes); e houve um aumento relativo da participação da região Sudeste. Cana era cultivada em 484 micro-regiões em 1976; passou a ser cultivada em 495, em 2000. Das 484 micro-regiões de 1976, 453 permaneceram até 2000 (86%); e 42 novas entraram.

Nesse período, a área plantada em cana passou de 2,1 para 4,9 M ha (133%); a produção de 105 para 334 M t cana (219%); e correspondentemente a produtividade de 50 para 68 t cana / ha. Em 2000, as dez micro-regiões de maior

---

<sup>49</sup> Comunicação ao CGEE por William Burnquist, C.T.Copersucar, 2004

produtividade estavam com 88,7 t cana / ha; destas, sete estavam no Sudeste, duas no Centro-Oeste e uma no Nordeste.

Com esta distribuição, vê-se que a cana de açúcar pode ser cultivada em áreas de todas as regiões do país, adaptando-se com variedades adequadas. De fato, há macro-regiões onde a cultura se estabeleceu melhor; mas de certa forma isto foi um processo re-alimentado pelo desenvolvimento específico de variedades para estas regiões (em particular, Sudeste e Nordeste). Estas foram as regiões contempladas pelos grandes programas da Copersucar e RIDESA, nas duas últimas décadas . Provavelmente seria possível avançar muito com variedades específicas para outras regiões. Futuros desenvolvimentos devem considerar estas opções.

De acordo com a EMBRAPA (analisando a situação da expansão de soja)<sup>50</sup> existem aproximadamente 100 milhões de hectares aptos à expansão da agricultura de espécies de ciclo anual. Adicionalmente, estima-se uma liberação potencial de área equivalente a 20 milhões de hectares proveniente da elevação do nível tecnológico na pecuária, com maior lotação por hectare, o que tornaria disponíveis áreas atualmente ocupadas por pastagens para outros cultivos. São áreas próprias, sem restrições ambientais. Grandes áreas são disponíveis nos cerrados; cuja concentração se dá de modo importante nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Nordeste do país, em grande parte com disponibilidade de variedades de cana adequadas.

As expectativas de aumentar em 150 – 230 milhões de toneladas de cana a produção nacional, exigindo áreas novas de 2,2 – 3 M ha, seriam atendidas com cerca de 2% desta área de expansão, e portanto não se vê limitação neste sentido. A localização deve ser considerada em função da logística, para a fração correspondente ao etanol e açúcar exportados.

### 10.3 Capacidade industrial para a implantação de destilarias

Para um programa de expansão como o considerado, é preciso avaliar a capacidade do setor de produção de equipamentos para suprir a implantação de novas unidades de produção de etanol, incluindo sistemas de cogeração

---

<sup>50</sup> Comunicação ao CGEE por Vânia Beatriz R. Castiglioni, EMBRAPA, 2004

(convencionais, pressão de operação 60 - 80 kgf/cm<sup>2</sup>) para produzir excedentes de energia elétrica. Esta exigência sobre co-geração eficiente apenas reflete a tendência que as usinas deverão seguir, dentro de uma política saudável de aumento da geração distribuída com sistemas eficientes de cogeração.

A indústria brasileira de equipamentos para a produção de álcool e cogeração de energia tem hoje um índice de nacionalização de quase 100%. Cresceu desde 1975 com o PNA, nos anos 90 foi estimulada com o grande impulso da exportação de açúcar e evolui agora para sistemas de cogeração mais eficientes e uso integral da energia da cana. Como visto anteriormente, os estágios de evolução da agroindústria canavieira foram os grandes aumentos de capacidade; aumentos nas taxas de conversão e o uso integral do potencial da cana (em curso), que rebateram necessariamente sobre esta indústria de bens de capital. Vários exemplos são marcantes neste processo<sup>51</sup>. Neste processo a velocidade de desenvolvimento e principalmente de implementação de soluções evoluiu para os pacotes “turn-key” no fornecimento de destilarias e sistemas completos de cogeração.

Os principais fornecedores brasileiros produziram cerca de 200 destilarias autônomas (e 200 plantas de cogeração correspondentes) com uma média “histórica” de 5 usinas por mês. Os dois maiores fabricantes (Dedini e Zanini) produziram, considerando os “picos” de fabricação, 96 ternos de moenda em um ano, 81 destilarias em um ano, e uma média de 63 caldeiras por ano entre 1973 e 1982.

A experiência acumulada do maior fabricante (Dedini, 80% dos equipamentos) é comprovada com a produção de 726 destilarias (unidades de destilação), 106 usinas completas; 112 plantas de cogeração e 1200 caldeiras, sendo 16 destilarias completas para o exterior.

Os principais fabricantes de equipamentos e sistemas no país são<sup>51</sup>:

Produção de etanol: Dedini; Simisa; Mefsa; Acip; Sermatec; Renk;  
NG; Santin; Conger; JW

---

<sup>51</sup> Olivério, J. L.; DEDINI; **Fabricação nacional de equipamentos para a produção de álcool e co-geração**; Seminário BNDES , Álcool: potencial gerador de divisas e empregos, Rio de Janeiro, 2003

Co-geração: Dedini; Sermatec; Renk; Caldema;  
Equipalcool; TGM; Turbimaq; Dresser Rand;  
Alstom; Mausau; Weg; Gevisa

Instrumentação/ Controle Smar; Fertron

Recentemente a capacidade nacional de fabricação de unidades completas para uma expansão da produção de etanol foi estimada para duas alternativas de capacidades de usinas<sup>51</sup>:

Usina 1: 1 M t cana / safra:	40 usinas / ano	+ 3,2 M m <sup>3</sup> anidro
Usina 2: 2,16 M t cana/safra	24 usinas / ano	+ 4,3 M m <sup>3</sup> anidro

Complementando:

Plantas de cogeração: 40 plantas, 30 MW + 1,2 GW / ano

Portanto, para os níveis de expansão considerados, a indústria nacional poderá atender à demanda de equipamentos e sistemas.

#### 10.4 Logística para a exportação de etanol

O Brasil iniciou a exportação de volumes mais significativos de etanol na segunda metade dos anos 90. Os volumes exportados cresceram de 0,26 M m<sup>3</sup> / ano (1996) para 0,63 M m<sup>3</sup> em 2002; neste ano o Centro-Sul foi responsável por 73% desta exportação. Em 2003 o volume ficou acima de 0,72 M m<sup>3</sup>; 28% do etanol foi exportado para combustível (principalmente Suécia e EUA, via Caribe).

O comércio mundial foi de cerca de 2 M m<sup>3</sup>, com o Brasil atingindo cerca de um terço. O crescimento rápido foi um teste inicial para a capacidade da infraestrutura existente. Claramente, ocorrendo o aumento do consumo de etanol no país como previsto, a infraestrutura logística (armazenagem, transporte) deverá passar por aumentos nos próximos anos; a adição de 5 M m<sup>3</sup> para exportação será somada a esta necessidade, acrescentando-se a estrutura portuária (terminais e tancagem).

A estrutura de coleta e distribuição interna (mercado brasileiro) do etanol<sup>52</sup> hoje movimenta cerca de 1 M m<sup>3</sup>/mês; a maior distribuidora (BR) opera com 60 bases

<sup>52</sup> Cunha, F.; Petrobrás Distribuidora; **A logística atual de transportes das distribuidoras e a infra-estrutura para a exportação do álcool**, Seminário BNDES, Álcool: potencial gerador de divisas e empregos, Rio de Janeiro, 2003

de distribuição de combustíveis em geral (27,1 M m<sup>3</sup>) . Especificamente para etanol, tem 9 Centros Coletores (7 em S. Paulo e Paraná; 1 no NE; 1 no CO) e o Terminal Ferroviário de Paulínia. Opera 4 Terminais Portuários no Centro-Sul e 6 no Norte – Nordeste.

Cerca de 70% da distribuição de etanol no país é feita por transporte rodoviário; mas há utilização dos sistemas multi-modais incluindo oleodutos, ferrovias e rede fluvial. Destacam-se no sistema os polidutos Brasília - Ribeirão Preto - Paulínia - Duque de Caxias, e o trecho Araucária - Iguaçu. A malha ferroviária que cobre a região produtora de etanol compreende trechos de Paulínia para Brasília, C. Grande, Alto Taquari e Londrina; e de Paranaguá para Maringá e Guarapuava.

A infra-estrutura existente para exportação hoje, ligada à Petrobrás, compreende:

Os 8 centros coletores, interligação ferroviária; capacidade de tancagem para 0.09 M m<sup>3</sup>

Terminal de Paulínia, interligado à malha dutoviária

Portos: Duque de Caxias; Santos/ S. Sebastião; Paranaguá

Na avaliação da Petrobrás<sup>52</sup> os incrementos previstos na exportação de etanol exigem investimentos em algumas áreas:

Tancagem e melhorias nos Centros Coletores

Melhorias nas ferrovias: vagões, desvios, etc

Portos: tancagem e dutos; adaptações

Alcooldutos exclusivos, usando áreas de servidão do oleodutos.

Estes problemas têm sido avaliados pelo setor privado, que hoje exporta 0,7 M m<sup>3</sup>/ano. As exportações têm sido feitas com embarque em terminais para graneis líquidos (com muitas outras cargas); navios de 0,02 – 0.03 M m<sup>3</sup>. Alguns grupos produtores (Crystalsev, Copersucar, Cosan, Alcopar) e exportadoras têm planejado investimentos nesta área; em alguns casos tem havido atrasos em função de licenças ambientais.

A Crystalsev<sup>53</sup> tem sido o maior exportador nos últimos anos; estará concluindo em 2004 a primeira fase de um terminal para etanol em Santos, com acesso ferroviário. Nesta fase o terminal tem tancagem para 0.040 M m<sup>3</sup>, podendo movimentar 1 M m<sup>3</sup> / ano; a capacidade deverá dobrar em uma segunda fase, já prevista para 2005. Consideram que será necessário que o governo invista na malha rodo-ferroviária.

Todos os agentes envolvidos com questões logísticas do etanol (Petrobrás, produtores, exportadores) concordam que há necessidade de investimentos nos itens vistos acima, para volumes de aproximadamente 5 M m<sup>3</sup> etanol exportado; investimentos do governo na infra-estrutura básica, complementados por ações como as que o setor privado iniciou, poderão capacitar o país nos prazos adequados para um programa exportador importante.

10.5 Impactos na geração de empregos e no potencial de energia elétrica excedente

#### 10.5.1. Geração de empregos

Como visto, é possível que a produção de cana de açúcar no Brasil aumente entre 100 e 200 milhões de toneladas / ano, em dez – quinze anos, para atender a demandas de etanol e açúcar. Uma avaliação do impacto deste crescimento na geração de empregos e no potencial de geração de energia (aqui, simplificada, energia elétrica) deve ser feita a partir de hipóteses conservadoras.

A geração de empregos em 1997<sup>33</sup>, sem considerar os induzidos, foi:

Diretos: 654 mil. (510 mil em cana; 56 mil em álcool, 88 mil em açúcar)

Indiretos: 427 mil (109 mil em cana; 318 mil na indústria)

Produção de cana: 304 milhões t

Com hipóteses relativamente fortes (ganhos de produtividade de 20% no corte de cana manual e mecânico; avanço da colheita mecânica até 50% no Nordeste, e 80% no Centro-Sul) foi estimada<sup>34</sup> uma perda de 273 mil empregos diretos, e de

---

<sup>53</sup> Ferraz, J. C. F.; **A experiência brasileira com a exportação de álcool**, Seminário BNDES, Álcool: potencial gerador de divisas e empregos, Rio de Janeiro, 2003

11% (12 mil) empregos indiretos na produção de cana. Os empregos na indústria (diretos e indiretos) não se alteram, uma vez que os “indiretos” devidos à produção de cana já não estão considerados.

Portanto para uma produção futura nas condições acima poderá gerar, para cada 100 milhões de tonelada de cana:

Diretos: 125 mil (77 mil em cana; 47 mil na indústria)

Indiretos: 136 mil (32 mil em cana; 104 mil na indústria)

Mesmo considerando os avanços tecnológicos (mecanização da colheita, ganhos de produtividade na colheita manual e mecânica), bastaria uma produção total de aproximadamente 400 milhões t cana por ano para manter o nível de empregos (diretos + indiretos) de 1997. A qualidade dos empregos seria superior.

#### 10.5.2. Geração de excedentes de energia elétrica

Como indicado, tecnologias comerciais de co-geração mais eficientes estão sendo adotadas nas novas instalações (reformas, expansões). A maioria hoje é de sistemas de co-geração, operando na safra, a 60 - 80 bar, com bagaço; deve ser iniciada a utilização de parte da palha, a redução dos consumos internos de vapor e de ciclos de condensação-extração, anuais (11 meses / ano). Estes avanços, inclusive a “extensão” do período de geração, dependem principalmente de ser implementada no país uma política real de expansão da geração térmica distribuída, com co-geração; isto provavelmente será indispensável. De qualquer modo, seria um desperdício injustificável iniciar uma expansão da produção (destilarias e fábricas de açúcar novas) baseada em unidades de geração (novas) ineficientes.

Considerando que as novas unidades (ou expansões de antigas), ao longo de dez anos, serão de dois tipos:

- operação na safra, 60-80 bar, contra-pressão, uso de 500 kg vapor/t cana nos processos;
- operação em 11 meses, 80 bar, extração-condensação, uso de 340 kg vapor/t cana nos processos, uso de parte da palha;

teremos no primeiro caso 40-60 kWh / t cana excedentes, e no segundo 100-150 kWh/t cana. Variações correspondem aos níveis de pressão ou quantidade de palha utilizada. De fato deverá ocorrer uma combinação de alguns dos fatores (vapor usado nos processos; uso da palha).

Para verificar aproximadamente o valor de excedentes que pode ser esperado, usaremos como média 90 kWh / t cana. Neste caso, para cada 100 M t cana adicionais, teríamos 9000, GWh de energia excedente (cerca de 2 GW efetivos, em operação sazonal, ou alternativamente 1,1 GW em operação por 11 meses).

## 11. Resumo e Recomendações

Apresenta-se a seguir uma breve síntese deste estudo, separadas as visões retrospectiva e prospectiva da agroindústria canavieira. Algumas recomendações são feitas no sentido de viabilizar a expansão necessária para atender as oportunidades de mercado que se configuram.

### 11.1. Evolução e estágio atual da produção no Brasil

- O uso de etanol e a exportação de açúcar triplicaram a produção de cana no Brasil desde 1975; ela ocupa 8% da área de cultivo, está presente em todos os Estados, utiliza 300 unidades industriais e 60 mil produtores de cana.
- A evolução tecnológica agro-industrial no período levou aos menores custos de produção de cana, etanol e açúcar no mundo. Custos de produção podem continuar decrescentes nos próximos anos com melhorias incrementais na área de produção agrícola, e com inovações mais radicais em variedades (transgênicas), novos processos industriais, e novos produtos. Entre os novos produtos em comercialização destaca-se a energia elétrica excedente.
- A produção e uso de etanol no Brasil apresentam excelentes resultados na redução de emissões de gases de efeito estufa (30 M t CO<sub>2</sub> equivalentes por ano, somente com etanol). O setor (incluindo açúcar) promove redução equivalente à aproximadamente 18% das emissões dos combustíveis fósseis no país.
- O uso do etanol promoveu grande redução na poluição atmosférica em centros urbanos, desde 1980: com relação à gasolina, houve eliminação do chumbo, de todos os compostos de enxofre, particulados com carbono e sulfatos (E100); compostos orgânicos voláteis passaram a ter menores emissão e



toxicidade; e redução de 70% do CO (E100 antigos) e 40% do CO nos E-22. O custo social evitado, a partir desses benefícios ambientais a partir de 2001 seria da ordem de R\$ 0,5 bilhões anuais.

- Os impactos ambientais negativos da produção de cana são relativamente pequenos, com um controle eficiente a partir de cerca de 50 leis, decretos e regulamentações. A cultura não é irrigada; recicla todos os efluentes industriais (vinhaça, torta, cinzas); utiliza em larga escala controles biológicos de pragas; tem conseguido reduzir o uso de fertilizantes minerais e defensivos. Nas regiões de maior produção estão em curso programas para a redução gradual da queima da cana, e o mesmo deverá ocorrer com a proteção de nascentes e a redução da captação de água para uso industrial. A experimentação com transgênicos é controlada pela legislação vigente.

- Em 1991 a renda média do trabalhador na cultura de cana era superior à de outras culturas agrícolas no país. O investimento médio por emprego direto era inferior à metade do investimento equivalente médio nos 35 maiores setores da economia. A evolução da tecnologia determinou certa redução na geração de empregos registrada em 1991; em 1997 havia 1,08 milhão de empregos diretos e indiretos (60% diretos), e cerca de 1,8 milhão “induzidos”. O avanço da mecanização agrícola, entre outros fatores, deverá conduzir a reduções no emprego (agrícola) por unidade de produto nos próximos dez anos.

- O custo de produção sustentável (econômica, social e ambientalmente) em Janeiro, 2003, para o Centro-Sul brasileiro, é de US\$ 0,16 / l etanol, portanto competitivo frente à gasolina a US\$ 0,21 / l, para petróleo a US\$ 24 o barril.

11.2. Perspectivas de evolução e competitividade para exportação, próximos dez anos

- A produção atual de etanol no mundo é de cerca de 33 M m<sup>3</sup>, sendo 58% para combustível. O Brasil produz 13,5 M m<sup>3</sup>.

- Os custos de produção fora do Brasil são hoje: milho, Estados Unidos: US\$ 0,29 - 0,33 / l; trigo e beterraba, Alemanha: US\$ 0,51 / l. Com tecnologia em desenvolvimento, hidrólise de ligno-celulósicos, EUA: US\$ 0,36 – 0,44 (não comercial); com grandes avanços tecnológicos, US\$ 0,30 (2010) e talvez US\$

0,20 (2020). Portanto o custo de produção do etanol no Brasil dificilmente será atingido por outros neste período.

- As avaliações mais recentes do mercado para etanol no Brasil indicam ~22 M m<sup>3</sup> em 2013; e a demanda mundial externa deverá atingir 35 - 50 M m<sup>3</sup>, em 2010. O Brasil poderia suprir parte desta demanda (conservadoramente, 4,4 M m<sup>3</sup> em 2013).
- O mercado interno de açúcar , incluindo os usos (1,4 M t) para outros produtos, poderá chegar a 12,8 M t em 2013. O Brasil manteria sua posição no mercado “livre” externo (40%) atingindo 20,9 M t / ano.
- Estas estimativas levariam à necessidade de aumento de 230 M t cana / ano, até 2013. Portanto, devemos considerar os impactos de aumentos na faixa de 150 – 230 M t cana.
- A base genética atual (setor privado e público) é suficiente para o desenvolvimento contínuo de novas variedades, de modo a proteger as áreas produtoras de novas doenças ou pragas. Isto foi demonstrado algumas vezes nos últimos vinte anos. Além disto o Brasil lidera a biotecnologia de cana no mundo (com a Austrália e África do Sul), abrindo grandes possibilidades para o futuro. No entanto é necessário garantir a continuidade e expansão destes programas (sub-financiados hoje) e tornar mais ágeis os controles na área de biotecnologia.
- Não há zoneamento específico para cana no país como um todo; a experiência com a cultura em quase todo o país e a adaptação de cultivares conseguida em áreas de expansão, indicam que nas áreas de expansão livres hoje (90 M ha, apenas em cerrados) seria possível utilizar sem conflitos os 2,5 – 3 M ha necessários. Esta possibilidade é ainda maior com o uso de melhoramento genético específico para estas áreas.
- A indústria nacional tem capacidade para suprir totalmente, nos prazos previstos, a demanda de destilarias completas e sistemas de geração de energia associados. Já no período 1973 – 1982 a média de 5 usinas / mês havia sido atingida. Uma avaliação recente indica a possibilidade de implantação de novas unidades industriais, com uma capacidade instalada de produzir plantas para

processar adicionalmente 40 – 52 M t cana por ano, suficiente para agregar uma produção anual de 3,2 – 4,3 M m<sup>3</sup> etanol e 1,2 GW de capacidade de geração.

- A estrutura logística para a exportação (lembrando que também será necessária para a movimentação relativa ao aumento da demanda de etanol interna) precisará de investimentos em tancagem (centros coletores), melhoria de ferrovias (vagões e desvios, etc), terminais nos portos e alcooldutos. O setor privado está investindo em terminais (em curso: 2 M m<sup>3</sup>, até 2005; outros em análise). A melhoria da estrutura rodo-ferroviária precisa ser considerada pelo setor público, e a participação da Petrobrás (dutos, tancagem) deve ser integrada.
- Considerando as reduções de emprego por mecanização agrícola, estima-se em 125 mil empregos diretos e 136 mil indiretos a demanda para cada 100 M t cana, no final do processo de modernização. Uma produção de apenas 400 M t cana manteria o nível (absoluto) de empregos de 1997. A expansão do setor trará aumentos no número absoluto de empregos (1,3 milhão de empregos diretos e indiretos, para 500 M t cana) e melhoria na qualidade dos empregos.
- A expansão da produção deve ser acompanhada pela adoção de tecnologias modernas (comerciais) de geração de energia elétrica, incluindo o uso parcial da palha. Cada 100 M t cana adicionais podem fornecer aproximadamente 9000 GWh de energia excedente à rede (cerca de 3% do consumo). Esta oportunidade precisa ser aproveitada, exigindo para isto uma ação clara do governo abrindo espaço para esta co-geração distribuída, com energia renovável.

### 10.3. Recomendações

Visando aproveitar as excelentes oportunidades no mercado externo (açúcar e etanol) e atender uma crescente demanda interna, consolidando o programa de etanol no país e ampliando a oferta de empregos com maior qualidade, é importante buscar um novo ciclo de expansão para a agroindústria canavieira durante os próximos dez anos, o que exige um esforço coordenado dos setores público e privado envolvidos. Nesta direção é essencial manter e reforçar as condições de sustentabilidade (econômica, social, ambiental) já existentes, também mediante a agregação de novas tecnologias. Para isso, se recomenda:

- Manter o esforço de P&D nos setores privado (CTC, indústrias de insumos e equipamentos, Allelix - Canavialis) e público (IAC e RIDESA) pelo menos nos níveis de dez anos atrás (algumas áreas têm sido reduzidas); ampliar com um programa visando às áreas novas (considerando a aptidão agrícola e novas variedades) que poderia ser conduzido pela EMBRAPA. Buscar maior envolvimento (positivo) dos órgãos governamentais ligados ao controle dos experimentos e futuramente a liberação de variedades transgênicas, inclusive visando tornar mais ágeis os procedimentos.
- O governo federal deve abrir espaço para a geração distribuída de energia elétrica a partir das usinas, com o uso de contratos de longo prazo e com garantia de preços adequados, como sinalizado a partir da primeira fase do Proinfa. Com esta premissa poderemos ter toda a expansão com base em geração eficiente; esta energia será muito importante para auxiliar no atendimento à demanda nos próximos anos.
- Embora o setor privado já tenha iniciado os investimentos na infra-estrutura para exportação de etanol na parte mais crítica (terminais) é necessário que o setor público apóie decididamente e invista na melhoria da rede rodo-ferroviária, dutos e tanques (inclusive nos Centros de Coleta da Petrobrás). A participação da Petrobrás é importante, mesmo porque sua posição hoje exige uma visão de médio e longo prazos sobre toda a infraestrutura ligada à movimentação de combustíveis no país. Mantendo as exigências técnicas quanto à proteção ambiental, é necessário buscar agilidade muito maior nos trâmites de processos relativos a licenças ambientais nos empreendimentos em portos.
- A sustentabilidade ambiental exige o trabalho em conjunto dos órgãos do governo e do setor produtivo para, a exemplo do excelente trabalho feito em S. Paulo com a disposição da vinhaça e a queima da cana, chegar a regulamentar e definir cronogramas adequados para os níveis de captação de água para uso industrial nas usinas e para a proteção de nascentes e cursos de água.
- A expansão das exportações brasileiras deverá continuar, e exigirá um trabalho cada vez maior do setor público nas negociações, envolvendo uma grande diversidade de produtos e interesses. A posição do Brasil no mercado de açúcar (custos imbatíveis, capacidade de expansão virtualmente ilimitada) é

assustadora para os produtores da UE e EUA; da mesma forma, uma eventual ampliação da exportação de etanol. Será preciso negociar cotas e prazos que tragam alguma segurança para uma gradual adaptação dos produtores nestes países, buscando compensações em outras áreas. Mas não se pode deixar de avançar continuamente na introdução deste dois produtos, e os setores envolvidos (governo e setor privado) precisam estar coordenados nestas ações.

### **Nota 1 Correção dos custos de produção, Abril 2001 – Janeiro 2003**

A correção dos custos (R\$) para o período de Abril 2001 para Janeiro 2003 é necessária porque inclui uma inflação relativamente alta; foi feita utilizando diversos índices, buscando refletir a realidade dos vários segmentos (mão de obra, máquinas e equipamentos, combustíveis, serviços de terceiros, etc). O resumo abaixo indica a composição de custos e os índices utilizados. Foram avaliados para uma usina de porte médio, adquirindo cerca de 50% da cana de terceiros.

#### **Evolução dos custos de produção: Abril 2001 – Janeiro 2003<sup>54</sup>**

Itens de Custo	Part.(%)	Índice	abr/01	dez/02	var(%)	Total
Mão de Obra	37%	RMPO Nom SP	884,200	997,400	12,80%	4,73%
Compra de cana + arrendamento	23%	Cana	0,196	0,250	27,49%	6,27%
Máquinas, Equipamentos e Instalações	19%	Bens de Capital	124,300	105,200	-15,37%	-2,96%
Materiais Diversos	8%	Não Duráveis	100,000	106,500	6,50%	0,51%
Combustíveis e lubrificantes	4%	IGP DI	199,374	270,692	35,77%	1,25%
Serviços de Terceiros	5%	RMPO Nom SP	884,200	997,400	12,80%	0,63%
Peças,fretes,lic/seg,com/eletr,viagens,cpd	5%	IGP DI	199,374	270,692	35,77%	1,71%
	100%					12,14%
Sem a deflação de máq./equip./inst.						15,10%

Todos os índices obtidos da Conjuntura Econômica (exceto cana)

RMPO = Rendimento Médio do Pessoal Ocupado em SP

Cana = Atualização pelo valor do ATR safra 00/01 contra estimativa para 02/03

Bens de Capital = Indicadores industriais por categoria de uso

<sup>54</sup> Comunicação de J. Perez Rodrigo Filho, Centro de Tecnologia Copersucar, 2003

Bens de Consumo Não-Duráveis = Indicadores industriais por categoria de uso

IGP DI = Índice Geral de Preços - Disponibilidade Interna

#### Opções

Opção p/ Mão de Obra: utilizar IPCA no lugar de RMPO (18,78% de variação)

Opção para Compra de Cana e Arrendamento: utilizar variação do preço do álcool (~34%)

As opções acima levariam a correção para 19,09%; optamos por manter as hipóteses da tabela, assim como por “expurgar” a deflação (máquinas, equipamentos e instalações) ocorrida no período, por entender que ela corresponde a uma oscilação temporária.

### **Nota 2 Custos de produção de etanol de ligno-celulósicos**

A eventual competição da sacarose da cana com açúcares derivados de material ligno-celulósico (resíduos de produção agrícola, plantações para energia ou resíduos da produção e uso da madeira) para etanol poderá ocorrer, mas aparentemente não nos próximos anos; e poderá ser transformada em uma excelente oportunidade para as usinas de açúcar no Brasil.

Nos últimos anos o interesse mundial na produção de etanol tem acelerado muito a pesquisa e desenvolvimento na sacarificação e na fermentação destes materiais. Seria a única perspectiva atraente para os países temperados, para expandir a produção de etanol. Incluiria também a possibilidade de avançar na sucroquímica, visando substituir derivados de petróleo e desenvolver novos produtos. O volume de recursos investidos nos EUA e Europa tem sido grande, e os avanços são significativos, mas ainda não há aplicação realmente comercial. Em 2004, teremos quatro plantas ainda experimentais em início de operação (EUA: 10 – 20 milhões de galões/ano), com tecnologias diferentes (duas com ácido diluído, dois estágios; uma com ácido concentrado; uma com catálise enzimática). As matérias primas serão bagaço de cana, lixo urbano, resíduos agrícolas, e resíduos da indústria de madeira. Mesmo nestes “nichos” especiais (matéria prima barata), provavelmente não serão ainda competitivas.

No Brasil há um processo que estará em fase piloto neste ano: Dedini-Copersucar, tipo organo-solv, em usina de açúcar, visando a conversão da celulose do bagaço.

Resumidamente, os processos estão em desenvolvimento e as perspectivas para os próximos 20 anos são:

- As matérias primas ligno-celulósicas (resíduos agrícolas, resíduos de madeira, plantações para energia) têm 30-50% de celulose, 20-30% de hemicelulose e 20-25% de lignina. Para obter os açúcares da celulose, principalmente a glucose, e da hemicelulose, principalmente a xilose, é preciso um pré-tratamento do material que remova a lignina, e então uma hidrólise, quebrando as ligações nos polímeros e liberando os monômeros (glucose, xilose, etc).

- Fatores importantes no custo dos produtos finais são, como esperado:

4. o custo da biomassa

5. o custo do processamento

6. as taxas de conversão da biomassa para os produtos

Custo do processo e taxas de conversão estão relacionados. Como a levedura *Saccharomyces Cerevisiae* não pode converter xilose, há duas opções: conversão apenas da glucose (que vem da celulose) e uso da xilose para outro produto (o mais imediato seria furfural); ou uma fermentação mais complexa e cara, por exemplo com o *Clostridium Thermocellum*, para converter a xilose também em etanol. A produção de furfural correspondente a grandes escalas de produção de etanol não teria mercado hoje. Há inúmeras opções de processo, todas elas com um pré-tratamento do material. Pré-tratamentos (remoção da lignina e separação da hemicelulose, em alguns casos) são físicos (picadores, moagem) físico-químicos (auto-hidrólise: decompressão com vapor, com amônia ou com CO<sub>2</sub>) químicos (com ozônio, ácidos diluídos ou concentrados, alcalino) ou com solventes (para dissolver a lignina, como no processo Dedini-Copersucar).

A hidrólise pode ser feita com catálise ácida ou enzimática; em alguns processos a hidrólise (sacarificação) e a fermentação são feitas simultaneamente (SSF). Todos estes processos estão em fase de desenvolvimento e, apesar da insistência de vendedores, mesmo as plantas a serem operadas neste ano são

experimentais. Sua operação será essencial para o desenvolvimento final de sistemas comerciais, e para o estabelecimento dos custos reais.

O potencial de avanço destes processos visando a produção de açúcares (glucose e xilose, principalmente), lembrando que a xilose não poderia ser usada nos processos hoje desenvolvidos para a sacarose ou amido, tem sido muito analisado. Uma avaliação<sup>42</sup> feita em 2001, com quantificação das expectativas futuras, indica que os processos com catálise ácida apresentam hoje melhor resultado – em termos de custos finais - mas os enzimáticos parecem ter maior potencial de redução de custos, nos próximos anos. Resultados:

Processo considerado: pré-hidrólise com ácido (diluído); sacarificação (enzimática) e fermentação simultâneas; produção local da enzima (celulase); queima da lignina para energia; planta para 200.000 m<sup>3</sup> etanol/ano; investimento (capital): US\$ 234 milhões.

Resultados, hoje, incorporando tecnologia em fase final de desenvolvimento:

Etanol:	US\$ 0,38/litro	(0,44 – 0,36)
---------	-----------------	---------------

Resultados esperados, futuro:

Até 2010:	US\$ 0,29 – 0,32 /l
-----------	---------------------

Logo após 2010 (Comercial):	US\$ 0,28 /l
-----------------------------	--------------

Após 2020:	US\$ 0,20 /l
------------	--------------

Os resultados “esperados” supõem um avanço tecnológico extremamente ambicioso principalmente na área biológica, com a redução do custo de enzimas (com ótimos resultados, recentemente), e desenvolvimento de micro-organismos “estáveis” para a complexa fermentação simultânea; mas podem exigir mais tempo. Entre os avanços previstos estão:

1. Desenvolvimentos na produção de enzima;
2. Microorganismos para a fermentação simultânea de glucose e xilose, estáveis, operando a 50C;
3. Integração dos processos e uso de biomassa a US\$ 25/t (MS) (US\$ 1.25 / GJ).



Estes custos de biomassa, no Hemisfério Norte, só poderão ser conseguidos, por muitos anos, em situações especiais, com volumes limitados, utilizando, por exemplo, resíduos da colheita do milho. Redução do custo de biomassa especificamente para energia, nos EUA e Hemisfério Norte em geral, em volumes maiores só ocorrerá com consideráveis avanços tecnológicos. Seria necessário atingir os custos de produção abaixo:

Custo de biomassa a atingir, EUA, ( US\$/GJ)

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

### **Nota 3 Custos de produção de etanol de milho (EUA), e de beterraba e trigo (UE)**

Custo do etanol de milho (glucose) nos EUA

Uma análise recente feita em seminário da F. O. Licht <sup>39</sup> (2003) indica custos de produção para o etanol nos EUA. Entendemos que há uma flutuação constante nos preços dos subprodutos, que influenciam os resultados, como aliás é o caso em qualquer produto agrícola.

Planta de etanol: 53 M m<sup>3</sup>/ano (170 mil t milho, a 67 US\$/t); South Dakota

Processo: dry milling do milho, até etanol anidro

Depreciação: 20 anos (prédios) e 10 anos (equipamentos); juros de 5% ao ano.

	US\$/l anidro	%
Prédios	0.0039	
Máquinas e equipamentos	0.0340	
Mão de obra	0.0283	
Seguros, taxas, manutenção	0.0061	
Matéria prima (milho)	0.2093	53.0

Outros custos operacionais	0.1131	
Custo de produção	0.3948	100.0
Venda de subprodutos (*)	-0.0671	- 17.0
Custo de produção líquido	0.3277 (**)	

(\*) DDGS, vendido sem secagem, armazenado por até 3 dias

(\*\*) Subsídio federal (0,13737 US\$/l) e estadual (até 0.10567 US\$/l) se incluídos baixam o “custo” quando o etanol for usado para fins combustíveis nos EUA, em mistura de 10% v/v na gasolina.

#### Custos de etanol de beterraba e trigo na Europa

Analisar os custos de produção na Europa, a partir de trigo ou beterraba, é muito mais difícil pela complexidade dos sistemas de subsídio. Estimativas realizadas para plantas hipotéticas de 50 e 200 M litros/ano<sup>39</sup>, (2003) na Alemanha elucidam alguns pontos.

#### Hipóteses principais:

Operação em 214 dias/ano, 90 dias (safra) com beterraba e o restante com trigo (64% do etanol vem do trigo, 36% da beterraba).

Matéria prima: Trigo a € 109/t; beterraba a € 32.7/t, correspondendo a plantios em áreas “set aside”, como culturas não alimentares, e com margem bruta comparável à que seria obtida se fossem “fallowed”.

Para a planta de 200 M l/ano (para 50 M l/ano os custos de etanol seriam cerca de 13% maiores):

	Fração Trigo	Fração Beterraba
	\$/l anidro	\$/l anidro
Prédios	0.0082	0.0082
Máquinas e equipamentos	0.053	0.053
Mão de obra	0.014	0.014
Seguros, taxas, manutenção	0.0102	0.0102

Matéria prima (trigo,beterraba)	0.2775	0.3510
Outros custos operacionais	0.1868	0.1593
Custo de produção	0.5496	0.5957
Venda de subprodutos (*)	-0.0680	- 0.0720
Custo de produção líquido	0.4816	0.5237 (**)

(\*) DDGS, trigo, polpa de beterraba

(\*\*) O custo médio, para 64% de etanol do trigo, é de US\$ 0,4968/l anidro.

Isto indica que a beterraba deverá custar menos (cerca de € 26/t) para competir com o trigo. A mesma referencia indica que os custos calculados para a França são iguais. No entanto, estima-se que seria possível reduzir estes custos em cerca de US\$ 0.07/l etanol anidro, atingindo ~ US\$0.43/l anidro, com avanços em variedades de plantas, economia de energia nos processos e economias de escala.

#### **Nota 4 Políticas para a produção de etanol em algumas regiões selecionadas**

Entre os países e regiões que têm programas para a produção de etanol combustível propostos destacam-se<sup>37</sup>: Austrália, Guatemala, União Européia, Índia, Japão, Nova Zelândia, Nicarágua e Tailândia. Os importadores tradicionais são os EUA, a EU, Japão e Coréia. É importante conhecer e acompanhar a evolução das perspectivas destes mercados, seja pela natural oportunidade de demandarem etanol brasileiro, como também porque poderiam ser um mercado interessante para tecnologia e equipamentos.

Os Estados Unidos são o segundo maior produtor (7.2 M m<sup>3</sup>, 2002) e protegem sua produção (etanol de milho) com uma tarifa de importação de US\$ 0.14 / l. Um acordo comercial (CBI: Caribbean Basin Initiative, assinado em 1983 e válido até 2008) permite a importação de etanol processado no Caribe e América Central (mesmo originário de outras regiões) até o limite de 7% da demanda nos EUA, sem a taxa de importação. Desde 2002 etanol brasileiro passou a dominar nesta cota, que antes era suprida por excedentes de vinho da Europa. Se a Senate RFS Proposal for aprovada no Congresso americano, a demanda de etanol

poderá atingir 19 M m<sup>3</sup> em 2012, abrindo espaço para 1.33 M m<sup>3</sup> de importação (7%). Segundo este tratado existem outras duas formas de exportar etanol centroamericano aos Estados Unidos em condições favorecidas, uma delas sem limites, desde que pelo menos 50% da matéria prima seja nacional. Atualmente estes países negociam o TLC, Tratado de Livre Comércio, com os EUA, onde se pretende reproduzir de uma forma geral o CBI, sem restrições de prazo<sup>55</sup>.

A UE tem sua política com relação a bio-combustíveis norteada por duas diretrizes:

Diretiva 2003/30/EC, promoção de bio-combustíveis líquidos para transporte: atingir 2.5% (em 2005) e 5.75% (em 2010).

Diretiva 2003/96/EC, eliminando taxas sobre bio-combustíveis.

A promoção de políticas baseadas nestas diretivas permite metas diferenciadas entre países; há consenso sobre os combustíveis a utilizar: nos prazos propostos, somente etanol, bio-diesel e bio-metano estão em condições de implantação.

A intenção clara de proteger os produtores locais pode ser vista nos cenários analisados European Commission em 2003:

Cenário 1: As barreiras de proteção aos produtores de etanol nos países membros são quebradas pela ação dos países exportadores na WTO ou na EC; o mercado de etanol na EU colapsa, e os países membros se voltam para bio-diesel ou aguardam desenvolvimentos futuros (via gasificação).

Cenário 2: As importações de etanol inundam o mercado na UE; os ministros da UE retornam com as taxas sobre bio-etanol para evitar que seus recursos subsidiem os países exportadores; os países membros se voltam para o bio-diesel ou aguardam outras opções futuras.

Cenário 3: Um mercado estruturado é desenvolvido, com algum etanol importado e vários países membros produzindo localmente. O mercado de etanol se desenvolve, em competição “limpa” com outros bio-combustíveis, e os objetivos políticos são alcançados.

---

<sup>55</sup> Nogueira, L.A.H., **Perspectivas de un Programa de Biocombustibles en América Central**, CEPAL/GTZ, Ciudad de México, 2004

Esta visão é complementada pela posição dos produtores agrícolas, que apóiam os programas para bio-combustíveis mas não a concorrência com etanol importado. O bio-diesel ocupa, hoje, um espaço quatro vezes maior que o etanol.

O Japão apresenta condições peculiares. É o segundo consumidor de gasolina do mundo (56 M m<sup>3</sup>, em 1999); importa quase todo o combustível que utiliza (99,5% do petróleo); em 2001 proibiu a utilização de MTBE. É signatário do protocolo de Kyoto. Exportou em 2000 3,8 M veículos de passageiros, a maioria para os EUA e EU; portanto, em condições de usar E5 e E10.

O cenário é, portanto, favorável à importação de etanol. Além disto, desde outubro de 2003 restrições severas ao diesel em centros urbanos têm indicado a possibilidade de adição de até 15% de etanol no diesel<sup>56</sup>. O Renewable Portfolio Standard Act estabeleceu, a partir de abril de 2003, metas para a substituição de combustíveis fósseis por renováveis. Uma das metas é ter 3,5 M de veículos “limpos” em circulação em 2010. Todo o esforço de produção local de etanol tem sido voltado para desenvolvimento de processos de hidrólise de resíduos agrícolas, florestais e lixo urbano (poderia levar, no limite, a 6M m<sup>3</sup> etanol). Estes processos, como visto acima, são ainda muito caros.

A demanda de etanol do Japão poderá atingir, com os planos atuais, 5,5 M m<sup>3</sup> para adição de 10% na gasolina e adicionalmente 6 M m<sup>3</sup> para mistura de 15% no diesel. Os entendimentos com o Brasil visam buscar segurança de fornecimento a longo prazo, e é possível que os volumes atinjam alguns M m<sup>3</sup> l de etanol.

A China<sup>57</sup> é o terceiro produtor mundial de etanol ; até 2001, a produção não era usada como combustível (o principal mercado é o de bebidas). Na safra 2003/03, a produção de cana foi de 58 M t, e a de beterraba 8,4 M t. A produção de açúcar foi de 9 M t. O governo chinês tem estabelecido planos para o aumento da produção de etanol e seu uso como combustível; atualmente há produção em Jilin (milho); Henan (trigo); e Anhui (arroz); mas os critérios de expansão com redução de custos devem levar ao uso da cana. Planos indicam 1 M t etanol (2005) e 2 – 4 M t etanol (2010).

<sup>56</sup> Miranda, C.; COIMEX Trading: **Esforços e perspectivas para o uso de álcool no Japão**; II Conf. Internacional DATAGRO, “A internacionalização do álcool combustível”, S Paulo, 2002

<sup>57</sup> Carvalho, L. C. C.; **Evolução da produção e do consumo na China; o programa de etanol na Tailândia**; II Conf. Internacional DATAGRO, “A internacionalização do álcool combustível”, S Paulo, 2002

A Tailândia apresenta condições diferentes: grande dependência de petróleo importado; grande aumento na produção de cana (hoje: 50 M t cana) , e interesse em estabilizar o mercado de açúcar (e o de raspas de mandioca); sérios problemas de poluição urbana. Em 2002 haviam sido aprovadas 8 licenças para a produção de etanol de melaço e mandioca (0,5 M m<sup>3</sup> / ano)<sup>57</sup>. Em 2004 parece haver forte interesse da indústria na produção de etanol da cana.

A Índia , produzindo 290 M t cana / ano em 2002, (4,58 M ha; 91,7% irrigada; 31 milhões de fornecedores)<sup>58</sup>, estabeleceu um programa de etanol que em 2003 poderia ser resumido como:

Fase 1: E5 em dez estados

Fase 2: E5 em todo o país

Fase 3: E10 em todo o país

Fase 4: MAD15 em todo o país (mistura etanol 15% no diesel).

O cronograma não é claro; o programa poderia representar alguma importação do Brasil no início, mas em longo prazo seria suprido internamente. Para exemplificar, o seu cumprimento integral equivaleria a usar o equivalente a cerca de 8 M t açúcar (o país produz hoje 18 M t açúcar).

Três países centroamericanos, Guatemala, El Salvador e Costa Rica, desenvolveram experiências com etanol automotivo durante os anos 80 e atualmente retomaram de forma intensa o interesse nesse combustível. Empresários do setor canavieiro constituíram uma entidade regional para promoção do etanol, a Asociación de Combustibles Renovables de Centroamérica<sup>59</sup>. Estão sendo elaboradas leis e especificações, esperando-se a curto prazo iniciar um cronograma de introdução do uso de etanol em misturas (E5) nestes países. A região tem tradição na produção de açúcar como na produção de etanol para bebidas, e estimativas preliminares indicam que apenas utilizando como matéria prima o mel esgotado disponível seria possível produzir

<sup>58</sup>Nastari, P.; **Perspectivas de desenvolvimento de mercado a Índia, e seus impactos no Mercado de açúcar**; II Conf. Internacional DATAGRO, "A internacionalização do álcool combustível", S Paulo, 2002

<sup>59</sup> Poncian, Rolando; **Programa de Oxigenación de Combustibles con Alcohol Carburante**, Asociación de Combustibles Renovables de Centroamérica, Guatemala, 2003

etanol suficiente para substituir cerca de 5% da demanda de gasolina (0,18 M m<sup>3</sup> etanol/ano). A Guatemala corresponde a metade deste mercado, possuindo uma agroindústria canavieira com bons indicadores de produtividade, processando anualmente aproximadamente 17 M t cana<sup>55</sup>.

Outro país latino-americano que está iniciando um programa de utilização de etanol é a Colômbia. Com uma produção anual de 20 M t cana, a agroindústria canavieira colombiana é tecnologicamente bem desenvolvida e apresenta elevadas produtividades. No recente Plano Energético Nacional, visando especificamente “ampliar e garantir a oferta interna de energéticos com preços eficientes e adequada qualidade”, se propõe implementar o uso de etanol como oxigenante da gasolina colombiana. Espera-se benefícios ambientais, estímulo a atividades produtivas e geração de empregos na zona rural. Existe uma lei aprovada e um cronograma para a progressiva adoção da mistura de etanol à gasolina, devendo ser atendidos Bogotá, Cali, Medellín e Barranquilla até setembro de 2005. Foi assegurado aos produtores um preço mínimo de aproximadamente 0,34 US\$/ l etanol<sup>60</sup>.

---

<sup>60</sup> Nogueira, L.A.H., **Perspectivas de Sostenibilidad Energética en los Países de la Comunidad Andina**, informe para CEPAL, Santiago de Chile, 2004