

UFRRJ

INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS E SOCIAIS

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
DESENVOLVIMENTO, AGRICULTURA E
SOCIEDADE**

TESE

**Três patamares tecnológicos na produção de ETANOL: a Usina do
Proálcool, a Usina atual e a Usina do futuro**

Adriane Helena Rodrigues

2008



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO,
AGRICULTURA E SOCIEDADE**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO DE CIÊNCIAS SOCIAIS EM
DESENVOLVIMENTO, AGRICULTURA E SOCIEDADE**

INSTITUIÇÕES, MERCADO E REGULAÇÃO

TRÊS PATAMARES TECNOLÓGICOS NA PRODUÇÃO DE ETANOL: A USINA DO PROÁLCOOL,
A USINA ATUAL E A USINA DO FUTURO

ADRIANE HELENA RODRIGUES

Sob a Orientação do Professor
Antonio Barros de Castro

**Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor de
Ciências, Sociais no Programa de Pós-graduação de Ciências Sociais em
Instituições, Mercado e Regulação.**

Rio de Janeiro, RJ
Fevereiro de 2008

662.669
R696
T

Rodrigues, Adriane Helena.
Três patamares tecnológicos na produção de Etanol: a Usina do Proálcool, a Usina atual e a Usina do futuro / Adriane Helena Rodrigues. – 2006.
160 f.

Orientador: Antonio Barros de Castro.
Tese (doutorado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Ciências Humanas e Sociais.

Bibliografia: f. 133-137

1. Etanol – Brasil - Teses. 2. Processo de fabricação - Brasil – Teses. 3. Tecnologia – Brasil – Teses. I. Castro, Antonio Barros de. II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Instituto de Ciências Humanas e Sociais. III. Título.

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho a todas as minhas Mestras.

Pela LUZ que representam em minha vida:

Às minhas avós que prepararam o caminho

À minha mãe **Nara**, que me deu a base para ser e crescer no mundo.

À **Ana Célia Castro**, cuja dedicação ao saber, generosidade e inteligência foram responsáveis pela minha vontade de voltar a estudar.

A **Marilene**, pela ampliação da minha visão de mundo e compreensão do significado do crescimento que meu trabalho me proporcionou.

À **Renata** que tem sido exemplo de força, perseverança e que me incentivou em todos os momentos, principalmente os mais difíceis.

À **Lúcia, Lara e Tiana** que me presentearam com sua atenção carinhosa, seu conhecimento preciso e sua inestimável ajuda.

À minha filha **Helena**, por ter me proporcionado a descoberta de que posso criar e por personificar minha fé no futuro.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à vida por ter me proporcionado a oportunidade de me desenvolver um pouco mais através da experiência desse doutorado e pelas inúmeras pessoas maravilhosas que me incentivaram, me inspiraram, me orientaram, me confrontaram com a realidade e seus aspectos mais desafiantes e sem cuja preciosa contribuição eu não teria conseguido iniciar, desenvolver e concluir esse trabalho.

Antonio Barros de Castro
Ana Célia Castro
Marcio Macedo da Costa
Helder Queiroz Pinto Jr
Adriano Proença
Aluysio Antonio da Mota Asti
Manoel Reis
Urbano de Andrade Lima Rocha
Ricardo Cunha
Carlos David Guevara Abarca
Renata Buarque Goulard Coutinho
Beny Palatnic
Julia Torraca

É infinita a gratidão aos meus pais, Humberto Lauro Rodrigues e Nara Helena Rodrigues e à minha filha Helena Rodrigues Santos por aceitar e dividir comigo os momentos de maior dedicação a esse trabalho e acima de tudo, por serem a expressão do amor em minha vida.

Agradeço a meu querido irmão e grande amigo Humberto Lauro Rodrigues Junior por estar ao meu lado em todos os momentos.

Agradeço ao meu querido irmão e grande amigo Luis Flavio Rodrigues, à Luciane, Carolina e Bernardo por serem sempre tão queridos e confiantes na minha capacidade.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS E SOCIAIS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO AGRICULTURA E
SOCIEDADE**

ADRIANE HELENA RODRIGUES

Tese submetida ao Curso de Pós-Graduação em Desenvolvimento, Agricultura e Sociedade, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor de Ciências Sociais em Instituições, Mercado e Regulação.

TESE APROVADA EM ____/____/____

Antonio Barros de Castro. (Dr.)
Instituto de Economia / UFRJ
(Presidente / Orientador)

Adriano Proença (Dr.)
Instituto de Economia / UFRJ

Helder Queiroz Pinto Jr (Dr.)
Instituto de Economia / UFRJ

Ana Célia Castro (Dr.)
CPDA/UFRRJ e Instituto de Economia / UFRJ

Marcio Macedo Costa (Dr.)
Universidade Federal do Rio de Janeiro/UFRJ

LISTA DE TABELAS

Tabela I	Álcool e Gasolina – Proporção no Consumo.....	19
Tabela II	Expansão da Produção.....	21
Tabela III	Consumo de álcool e gasolina.....	23
Tabela IV	Rendimento da Agroindústria na Produção do Álcool.....	24
Tabela V	Rendimento de álcool.....	24
Tabela VI	Produtos da cana-de-açúcar.....	29
Tabela VII	Distribuição da produção – Comparação 2005/06 vs 1975/76.....	32
Tabela VIII	Exportações 2005.....	32
Tabela IX	Dados Técnicos e Custos Associados - Colheita de Cana Picada.....	40
Tabela X	Relação dos principais equipamentos utilizados na produção da cana-de-açúcar no cenário atual e previsão de sua inserção para 2015 e 2025.....	42
Tabela XI	Comparação dos consumos energéticos para diversas tecnologias de desidratação..... ..	56
Tabela XII	Produção e Consumo Específico de Vapor por Módulo de Produção.....	61
Tabela XIII	Consumo Específico Global dos Produtos.....	61
Tabela XIV	Sistematização da Evolução Tecnológica	63
Tabela XV	Perdas de ART no processo de produção do etanol	64
Tabela XVI	Destilaria padrão, desempenho conforme a tecnologia industrial praticada e a tecnologia industrial otimizada.....	65
Tabela XVII	Projeção de Aumento da Demanda.....	70
Tabela XVIII	Evolução da Frota de Veículos Leves – Brasil (2005-2025).....	76

Tabela XIX	Consumo de Álcool Combustível (2025).....	77
Tabela XX	Área Disponível em 2015 e 2025.....	78
Tabela XXI	Potencial de Produção das 17 Áreas - Atual e 2025.....	79
Tabela XXII	Principais Cenários de Desenvolvimento Tecnológico em Rotas Energéticas Baseadas em Vetores Biocombustíveis – Formas de Energia para o Usuário Final.....	85
Tabela XXIII	Composição do Bagaço e da Palha.....	86
Tabela XXIV	Impacto da hidrólise para obtenção de etanol.....	88
Tabela XXV	Potencial de transformação do bagaço em etanol por estágio.....	89
Tabela XXVI	Geração Específica de Energia Elétrica dos Projetos.....	95
Tabela XXVII	Consolidação dos dados Técnico-Econômicos dos Projetos.....	95
Tabela XXVIII	Indicadores de desempenho da Tecnologia Industrial.....	108
Tabela XXIX	Indicadores de desempenho da Tecnologia Energética.....	109
Tabela XXX	Aumento de produtividade previsto.....	109
Tabela XXXI	Recursos alocados anualmente em P&D no setor sucroalcooleiro no Brasil (valores estimados) por instituições ou centros de pesquisa usuários de recursos públicos e privados.....	117
Tabela XXXII	Recursos alocados por órgãos de fomento à pesquisa.....	115
Tabela XXXIII	Área ocupada e produção de culturas no Brasil.....	139
Tabela XXXIV	Uso da terra no Brasil.....	142
Tabela XXXV	Brazilian Specification for anhydrous and hydrated fuel ethanol.....	144

RESUMO

RODRIGUES, Adriane Helena **Três patamares tecnológicos na produção de etanol: a usina do proálcool, a usina atual e a usina do futuro.** 2008. 160 p. Tese (Doutorado em Ciências Sociais em Instituições, Mercado e Regulação). Curso de Pós-Graduação em Desenvolvimento, Agricultura e Sociedade, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2008.

Essa tese se dedica a aprofundar a dimensão tecnológica da etapa industrial do processo de fabricação de etanol no Brasil, partindo do passado recente do setor sucroalcooleiro e olhando para o seu futuro. A dimensão tecnológica foi e seguirá sendo determinante da competitividade do etanol como combustível substituto à gasolina e dos resíduos da cana-de-açúcar como fonte de bioeletricidade. A partir da confrontação da tecnologia de produção de etanol atualmente empregada com as novas tecnologias em desenvolvimento busca-se identificar ações necessárias à manutenção da posição de vanguarda do país na atualidade.

Palavras-chave: Etanol, Processo de fabricação, Tecnologia.

ABSTRACT

RODRIGUES, Adriane Helena. **Three technological patterns in the production of ethanol: the Proálcool Plant, the Current Plant and the Future Plant.** 2008. 160 p. Thesis (Doctor in Social Sciences, Institutions, market and regulation) Curso de Pós-Graduação em Desenvolvimento, Agricultura e Sociedade, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2008.

This thesis concentrate on the technological dimension of the industrial ethanol production in Brazil. It compares the technology adopted by the producing sector throughout time and looks into its future possible industrial configurations. The technological dimension has been and it will go on being a decisive part of ethanol competitiveness as a substitute fuel to gasoline and of the sugar cane residues as bioelectricity source. By the confrontation of the present ethanol production technology with the new emerging technologies some necessary actions are identified in order to guarantee the maintenance of the country's vanguard position.

Key words: Ethanol. Production systems, Technology.

LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

AEAC	Álcool Etílico Anidro Combustível
AEHC	Álcool Atílico Hidratado Combustível
ANP	Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
BIRD	Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento
CENAL	Comissão Nacional do Álcool
CENBIO	Centro Nacional de Referência em Biomassa
CFE	Consumo Final de Energia
CHESF	Companhia Hidro Elétrica do São Francisco
CIENTEC	Fundação de Ciência e Tecnologia
CNEN	Comissão Nacional de Energia Nuclear
CNP	Conselho Nacional do Petróleo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
Conserve	Programa de Conservação de Energia no Setor Industrial
COPERSUCAR	Cooperativa de Produtores de Cana-de-Açúcar, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo
CTC	Centro de Tecnologia Canavieira
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ETA	Estação de Tratamento de Água
FBCF	Formação Bruta de Capital Fixo
GCOI	Grupos Coordenadores de Operação Interligada
GERAC	Grupo Executivo de Racionalização do Uso dos Combustíveis
ICICDA	Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar
II PND	II Plano Nacional de desenvolvimento
IPI	Imposto sobre Produtos Industrializados
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
IPVA	Imposto Sobre Veículos Automotores
IUCLG	Imposto Único Sobre Combustíveis Líquidos
PME	Programa de Mobilização Energética
PRONCOVE	Programa de Controle da Poluição Veicular
PUI	Período útil de industrialização da cana
t	Tonelada
TCH	Tonelada de cana hora
TEP	Tonelada Equivalente de Petróleo
TPS	Termiska Processer AB
TRU	Taxa Rodoviária Única
UNICA	União da Indústria de Cana-de-açúcar

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	1
1. A USINA DO PROÁLCOOL.....	13
1.1 A usina antes do proálcool.....	14
1.1.1 Características predominantes.....	16
1.2 A USINA DO PROÁLCOOL.....	17
1.2.1 Contextualização e apresentação das duas etapas do proálcool.....	17
1.2.1.1 Respostas mediante a contenção do consumo.....	17
1.2.1.2 A primeira etapa do proálcool.....	18
1.2.1.3 A segunda etapa do proálcool.....	20
1.2.1.4 Desativação e saldo do proálcool.....	22
1.2.2 O processo de produção numa usina típica.....	25
1.2.2.1 Características predominantes.....	26
2. A USINA ATUAL.....	30
2.1 GERAL.....	31
2.2 CARACTERÍSTICAS PREDOMINANTES.....	33
2.3 A ETAPA AGRÍCOLA.....	33
Colheita da cana.....	38
Transporte da cana às usinas.....	43
2.4 A ETAPA INDUSTRIAL.....	43
Estocagem da cana.....	46
Limpeza da cana.....	46
Preparo da cana para extração do caldo.....	47
Extração do caldo.....	47
O bagaço.....	49
Fermentação.....	49
Destilação do etanol.....	53
A desidratação do etanol hidratado.....	54
Armazenamento.....	56
Utilidades em destilarias de etanol.....	57
Consumo e geração de energia.....	57
Vinhoto.....	61
2.5 EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA.....	63
Como seria uma Usina otimizada hoje?.....	66
3 A EXPANSÃO DA PRODUÇÃO DE ETANOL.....	69
3.1 A EXPANSÃO DA PRODUÇÃO DE ETANOL.....	69
Sobre a demanda por combustíveis líquidos.....	69
Sobre a disponibilidade de terras para a expansão da produção do etanol.....	72

Sobre a expansão da produção para atender ao mercado interno e externo de etanol.....	73
Sobre os investimentos que resultarão na expansão da produção.....	80
4. A USINA DO FUTURO.....	83
4.1 INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS QUE ESTÃO SENDO DESENVOLVIDAS E QUE PODERÃO SER INCORPORADAS AO PROCESSO DE PRODUÇÃO INDUSTRIAL.....	84
Sobre o bagaço e a palha.....	85
Hidrólise.....	87
A Hidrólise Ácida.....	89
A Hidrólise Enzimática.....	90
Gaseificação.....	92
Algumas experiências nacionais e internacionais no desenvolvimento de biocombustíveis.....	98
4.2 CONFIGURAÇÕES PARA O PROCESSO DE PRODUÇÃO: ALTERNATIVAS PARA A USINA E/OU DESTILARIA DO FUTURO.....	104
Maximização da Energia.....	104
Maximização de etanol.....	106
4.3 DESAFIOS NACIONAIS DIANTE DA QUEBRA DO PARADIGMA TECNOLÓGICO.....	113
Biotecnologia.....	119
Melhoria contínua do etanol como combustível.....	119
Tecnologia de produção.....	119
Alcoolquímica.....	120
CONCLUSÕES.....	121
....	
Sobre a quebra de paradigma tecnológico na produção de biocombustíveis.....	122
A trajetória do setor sucroalcooleiro nacional no futuro depende muito fortemente de ações do estado no presente.....	125
Pesquisa e desenvolvimento.....	125
Planejamento de expansão.....	127
Questão estratégica.....	129
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	133
ANEXOS.....	138
A – Sobre biomassa.....	139
B – Sobre o álcool.....	143
C – A oferta de energia no Brasil e no mundo.....	147
D – Projeções sobre produção, consumo e preços do petróleo.....	153

1) INTRODUÇÃO

Três patamares tecnológicos na produção de etanol: a usina do Pró-álcool, a usina atual e a usina do futuro

Nos dias em que essa tese foi finalizada o preço do petróleo comercializado batia todos os recordes da sua história¹ superando todas as expectativas e projeções. Já bastante conhecidos; aspectos da realidade imprimem instabilidade à oferta de petróleo, repercutem nos preços do petróleo e resultam em impactos econômicos em todo mundo. A oferta de petróleo vai continuar a crescer, mas com custos de produção mais altos. Soma-se a isso as expectativas de aumento da demanda por energia, indicando fortes tendências de sustentação do preço do petróleo em patamares altos.²

O agravamento das tensões políticas no Oriente, as decisões estratégicas de oferta de petróleo da OPEP, o tamanho dos estoques nos EUA, a estação dos furacões, são ameaças permanentes às economias das nações. Os eixos energéticos mundiais constituídos na atualidade majoritariamente por fornecedores de combustíveis fósseis alimentam a tensão no

¹ “Minutos atrás, em Nova York, o WTI para março recuava US\$ 1,80, a US\$ 89,95. O vencimento de abril declinava US\$ 1,88, para US\$ 89,80. Em Londres, o Brent com entrega em março estava a US\$ 90,45, com baixa de US\$ 1,76. O contrato de abril perdia US\$ 1,77, transacionado a US\$ 90,05.” Preço do petróleo declina mais de US\$ 1 nas praças londrina e nova-iorquina.” Valor Online Plantão | Publicada em 01/02/2008 às 14h32m.

“O preço do barril de petróleo passou de US\$ 84, recuando um pouco depois, para US\$ 81,28. É um nível talvez insustentável, mas a leitura geral do mercado é de que US\$ 80 é o novo patamar. A economia mundial tem se mostrado mais resistente a esses preços, mas essa resistência será contestada se eles continuarem subindo e se aproximarem de US\$ 90”. O Estado de S. Paulo, Petróleo a US\$ 80 estraga a festa, Alberto Tamer.

² “Concerning crude oil price assumptions for medium- to long-term analyses, it has been observed that the oil industry, guided by the recent price trends, has mostly revised upward the business-as-usual price assumptions. A further observation is that, due to the effect of several factors, economic growth and oil demand are both now more resilient to higher oil prices than had previously been thought. All these trends, in addition to rising costs, have become integral to the general perception of higher expected prices in the long-term.” PÁGINA 21 World Oil Outlook 2007, <http://www.opec.org/library/World%20Oil%20Outlook/pdf/WorldOilOutlook.pdf>

“Costs in Western Europe are expected to rise gradually and remain the highest, reflecting the maturity of the fields. Decline rates are also expected to remain the highest in the world. For developing countries, offshore deepwater projects, which will increasingly account for additional production, point to an expected rise in both future average costs, as well as decline rates. This also applies to China, although given the high cost of onshore capacity in the country, there is more of a balance in average cost movements as expansion gradually moves offshore. For the FSU, lower Russian costs are balanced by higher levels from the Caspian region, with longer term decline rates set to rise.” PÁGINA 41 World Oil Outlook 2007, <http://www.opec.org/library/World%20Oil%20Outlook/pdf/WorldOilOutlook.pdf>

mundo. O Brasil, como potencial fornecedor de bioenergia em larga escala mediante a realização de grande esforço, pode se posicionar como um novo eixo de energia mundial e ser um real protagonista na segurança energética.

Um segundo aspecto da conjuntura global determinante para o futuro do mercado dos biocombustíveis diz respeito ao ponto de equilíbrio (que será) estabelecido em um cenário em que deverão coexistir o crescimento econômico (particularmente o vertiginoso crescimento que se espera da China e da Índia) com a estabilização das emissões de carbono.

De um lado se espera minimizar os impactos ambientais projetados como decorrência da utilização dos combustíveis fósseis (para os quais o efeito China/Índia exacerbam o que seria o já preocupante crescimento vegetativo das emissões). Nesse sentido já há pressão dos países industrializados para que o limite às emissões seja adotado por todos os países.

Por outro lado, os países emergentes reivindicam que não podem ser privados da perspectiva de crescimento, de processos já realizados por países altamente emissores de CO² como Alemanha ou os Estados Unidos.³

Desse quadro resulta a necessidade de se construir uma agenda economicamente sustentável de substituição dos combustíveis fósseis que permita a transição da situação atual para uma infra-estrutura energética ambientalmente sustentável. No contexto mundial a transição para uma nova infra-estrutura energética será composta por um conjunto de modalidades de intervenção. Intervenções que impactem no volume de energia consumida tais como aumento da eficiência dos usos de energia e conservação de recursos energéticos por parte do usuário final. No campo da expansão da oferta de energia, pelo desenvolvimento e implementação de tecnologias de geração mais eficientes. Um terceiro conjunto de iniciativas diz respeito a medidas mitigatórias sobre o uso de recursos poluentes tais como desenvolvimento e implementação de tecnologias para captura e armazenamento de carbono.

³ “The key point is that the countries of the South protect their interests by ensuring that such investments are sustainable, that they are created in partnership with local firms, that they foster technology and knowledge transfer, and that they lead to further investments in the value chain. The countries that are likely to contribute to the target of creating 18 Brazils in a decade form a swathe across the entire tropical region. (The countries could include: Brazil (doubling its present output); Argentina; Colombia, Venezuela and Ecuador; Central American and Caribbean countries; Nigeria; Congo Republic; Angola, Namibia; Ghana; Senegal, Gambia, Guinea, Togo, Mali, Chad; Namibia, Zimbabwe, Zambia; Kenya, Swaziland, Rwanda; Uganda, Tanzania; Malaysia; Thailand; The Philippines; Indonesia; Vietnam; India; China; South Africa; and Indian Ocean islands: Malagasy Republic; Mauritius; La Reunion.)” Pag. 3559 “This then is the basis of the bargain. The North desperately needs biofuels as a way of dealing with GHG emissions and with the imminent peaking of oil supplies, while the South has the potential capacity to build new industries around biofuels and provide rivers of fuel to the North. Never before have the gains from trade been made so manifest. The issue is: can the two sides overcome the difficulties that stand in the way and reach an accommodation that will serve their mutual interests?” Pagina 3552 Mathews, John A., Biofuel: What a Biopact between North and South could achieve, Energy Policy 35 (2007) págs 3550-3570, http://www.lean.net.au/thoughts/Biopact_paper_5Feb07.pdf

Por último, e já dizendo respeito diretamente ao conteúdo desta tese, a adoção crescente de fontes de energia pouco poluentes tais como a energia eólica, solar, nuclear e dos BIOCOMBUSTÍVEIS.

Os benefícios dessa transição não vão se restringir ao meio ambiente, mas fortalecerão a segurança energética mundial pela redução da dependência dos combustíveis fósseis. O Brasil como país emergente se destaca pela possibilidade de exercer um papel diferenciado nesse contexto. O país tem potencial para conciliar seu próprio crescimento em condições auto-sustentáveis com a oferta de um produto ambientalmente correto que pode ser parte da solução para o problema energético de outros países. Configura-se aí a possibilidade de crescimento econômico também apoiado sobre a necessidade externa.⁴

Esforços para o desenvolvimento de soluções têm sido realizados em todo mundo. O volume de pesquisas dedicadas ao desenvolvimento de alternativas energéticas é imenso. O desenvolvimento tecnológico promete a viabilização de novas e mais eficientes fontes e processos de geração de energia. Esse aspecto da realidade em particular está associado o tema desta tese e sua hipótese central.

Fala-se muito nos ambientes acadêmico e empresarial, com repercussão na mídia internacional sobre a criação de um mercado global de biocombustíveis, e principalmente que o etanol brasileiro representa a melhor alternativa de combustível líquido para veículos leves na atualidade. O Brasil é o país com maior potencial de expansão imediata da produção de biocombustíveis no mundo. Há regiões na África onde as condições climáticas e disponibilidade de solos adequados à cultura da cana-de-açúcar permitiriam a implantação de agroindústria canavieira contribuindo com a oferta de etanol no mercado mundial. No entanto, pesados investimentos na cultura em si, na implantação das indústrias e na infra-estrutura necessária para o escoamento da produção, indicam prazos mínimos para a viabilização dessa indústria naquela região⁵. O etanol brasileiro é, atualmente, o biocombustível com melhor

⁴ “The next decade then provides the window of opportunity for the North to make a start on solving its GHG emissions problem with the substitution of fossil fuels by biofuels, sourced from the South, and the window of opportunity for the South to take advantage of this demand to establish new industrial clusters for the production of export biofuels. So, how could the South scale up in such a massive way in such a short time?” Pag. 3554 Mathews, John A., Biofuel: What a Biopact between North and South could achieve, Energy Policy 35 (2007) págs 3550-3570, http://www.lean.net.au/thoughts/Biopact_paper_5Feb07.pdf

⁵ “Em 2009, o etanol deve ser incluído entre os produtos africanos isentos de tarifas para entrar na União Européia, e, até 2012, os países europeus passarão a misturar 5,75% de álcool à gasolina.” “Há pelo menos 11 países no continente criando regras para produção e comercialização de etanol – entre eles África do Sul, Angola, Moçambique e Benin. A maioria pretende estabelecer a mistura de 10% de álcool à gasolina.” “Ambiente instável: Muitos países africanos têm conflitos tribais ou religiosos e instabilidade política, e nenhum ainda definiu regras para o funcionamento da indústria do etanol; - Mercado pequeno: O consumo africano é irrisório em comparação com o do Brasil. Especialistas calculam que serão necessários de cinco a dez anos para

saldo energético e maior competitividade em relação à gasolina. Quando comparado a outros biocombustíveis, o etanol brasileiro representa a melhor alternativa comercialmente ofertada na atualidade.

Somos o único país no mundo que implementou um programa nas proporções do Proálcool. Hoje o país colhe os frutos do investimento e do planejamento governamental feito no passado caminhando para a auto-sustentabilidade energética em bases ambientalmente corretas. A integração dos biocombustíveis com a hidroeletricidade e a bioeletricidade nos posiciona na vanguarda da oferta de energia limpa.

Nossa matriz energética é mais “verde” que a maioria das nações no mundo⁶. Através do planejamento energético e da implementação de ações articuladas e integradas do estado, da iniciativa privada e da academia, podemos até mesmo planejar e implementar estratégias para ter, em algumas décadas, opções de energia limpa em usos cada vez mais diversificados.

Justamente pela associação das potencialidades físicas de que o país dispõe com as competências acumuladas pelo setor sucroalcooleiro ao longo de sua trajetória, temos uma posição de vantagem que precisa ser explorada (e ampliada) através de um conjunto de ações privadas e estatais. É justamente essa combinação de ações, sua extensão, seu escopo e intensidade, que vai determinar a trajetória do setor no futuro: sua importância no cenário nacional e mundial.

A partir da confrontação da tecnologia de produção de etanol atualmente empregada com as novas tecnologias em desenvolvimento formula-se a hipótese central desta tese: **uma quebra de paradigma tecnológico na produção de biocombustíveis é iminente e a trajetória do setor sucroalcooleiro nacional no futuro depende de ações do Estado no presente.**

Essa tese se dedica a aprofundar a dimensão tecnológica da etapa industrial desse processo, partindo do passado recente do setor sucroalcooleiro e olhando para seu futuro. Pesa hoje sobre o país e sobre esse setor em particular a dúvida de que a imensa expansão da produção que se anuncia aconteça em prejuízo da destruição da biodiversidade, das nossas matas e através de condições de trabalho não aceitáveis.

A dimensão tecnológica, objeto de investigação neste trabalho, é apenas uma parte do contexto em que aconteceram e acontecerão as mudanças do sistema produtivo. Mas essa

a África desenvolver seu mercado; - Logística precária: O continente tem escassez de estradas, ferrovias e portos para escoar a produção. Parte do que existe foi danificada por guerras”

Fonte: Lima, Samantha -A nova fronteira do etanol- Empresas brasileiras começam a impulsionar o etanol na África - um mercado nascente e uma ponte para vender à Europa , publicado em | 20.09.2007, Reuters, <http://portalexame.abril.com.br/revista/exame/edicoes/0902/economia/m0138746.html>

⁶ <http://www.worldenergyoutlook.org/docs/weo2006/Brazil.pdf>.

dimensão foi e seguirá sendo determinante da competitividade do etanol como combustível substituto à gasolina e dos resíduos da cana-de-açúcar como fonte de bioeletricidade.

Toda a configuração agroindustrial da fabricação de etanol no Brasil é resultado de um balanceamento entre a produção agrícola da cana-de-açúcar e a produção industrial de seus derivados. Trata-se de um conjunto de inter-relações entre atores que vem evoluindo através de séculos de cultura da cana-de-açúcar no Brasil. Não há, no contexto mundial, nação cuja cadeia de produção agroindustrial do setor sucroalcooleiro conte com o amadurecimento e o acúmulo de conhecimento e experiência como o Brasil. A rede de atores que compõem o sistema agroindustrial da cana-de-açúcar não se reproduz em outros contextos econômicos o que constitui um diferencial competitivo deste setor. Somam-se a isso os elevados padrões de eficiência agro-energética aqui praticados que associam as vantagens climáticas e disponibilidade de solo e água no Brasil com desenvolvimento tecnológico e malha industrial.

A descrição e a análise das transformações tecnológicas que ocorreram e estão ocorrendo nas Usinas de Etanol no Brasil aqui apresentadas estão vinculadas ao programa do CPDA-UFRRJ e inseridas no quadro teórico das ciências sociais. O referencial teórico desenvolvido na Linha de Pesquisa Instituições, Mercado e Regulação, particularmente os conceitos da Economia Institucionalista e da Economia Evolucionista, constitui o pano de fundo a partir do qual é feita a análise dos fatos e processos que resultaram nos diferentes patamares tecnológicos das Usinas brasileiras nos períodos estudados.

O desenvolvimento agroindustrial é delineado pelas políticas que são implementadas e pelas instituições existentes. No que tange a bens e serviços cuja oferta depende em parte ou integralmente de mecanismos não mercantis, uma estrutura de governança adequada é de fundamental importância e essa tese assume a centralidade desse conceito na análise da oferta de bioenergia, particularmente em padrões sustentáveis.⁷

Mais intrinsecamente relacionado ao objeto de estudo desta tese, adota-se o conceito de que as instituições e as políticas têm vital importância em todos os processos de aprendizado tecnológico e de coordenação assim como nas mudanças econômicas.

⁷ “as instituições não mercantis (incluindo desde agências públicas até associações profissionais, e desde sindicatos até estruturas comunitárias) situam-se no cerne da própria constituição de todo o tecido socioeconômico. Ao mesmo tempo, elas moldam e restringem o comportamento de agentes econômicos com relação a seus concorrentes, clientes, fornecedores, empregados, agentes governamentais, etc. Ao fazer isso, também agem como instrumentos de controle dos “riscos de autodestruição” há muito assinalados por Polanyi (1957) e Hirschman (1982). Instituições e Políticas Moldando o Desenvolvimento Industrial: uma nota Introdutória Cimoli, Mario, Dosi, Giovanni, Nelson, Richard, Stiglitz, Joseph - Revista Brasileira de Inovação, Volume 6, número 1 – Janeiro /Junho de 2007, Rio de Janeiro, RJ, FINEP, 2007.

Instituições não mercantis que governam a produção, as trocas e a coordenação estiveram e ainda estão presente no contexto sócio-econômico do setor sucroalcooleiro. Suas configurações e as fronteiras entre as formas mercantis e não mercantis de organização econômica mudaram através do tempo, e possivelmente terão que se adaptar ao novo contexto tecnológico que se anuncia.

A arquitetura institucional brasileira tem organizado as interações entre os agentes e as maneiras como as políticas regulam os comportamentos e as formas de concorrência. Do ponto de vista teórico tradicional, políticas públicas são necessárias quando existem falhas de mercado de algum tipo. Adota-se aqui a idéia de que num contexto de globalização e de livre fluxo das informações, políticas e instituições podem, mais que suprir falhas de mercado, garantir que os mecanismos de acumulação de conhecimento sejam eficientes e que os problemas de coordenação do inter-relacionamento entre os agentes (públicos e privados, universidades, agencias, empresas, governos, etc.) sejam satisfatoriamente administrados.

Para os países que pretendem investir pesadamente na produção de bioenergia, a dinâmica da industrialização implicará em grandes transformações estruturais da atividade econômica, particularmente na geração de inovações tecnológicas e organizacionais (tecnologias adequadas aos recursos locais). Atividades produtivas vão demandar habilidades tecnológicas em novos paradigmas tecnológicos além da construção de infra-estruturas e de redes afins a uma variedade de atividades. No estágio atual de produção de etanol e bioeletricidade o Brasil domina tecnologias centrais configurando uma vantagem para o país. No entanto, não está definido o cenário tecnológico para a produção de bioenergia a partir da cana-de-açúcar no contexto internacional. Que rotas tecnológicas serão desenvolvidas e disponibilizadas? Essa tese apresenta algumas alternativas tecnológicas para a produção de bioenergia que representam uma quebra de paradigma tecnológico. Conforme demonstra a própria experiência histórica brasileira na implantação do Próalcool, combinações apropriadas de políticas podem determinar o futuro do setor. Além disso, elas podem representar para o país a exploração dos potenciais associados à atividade econômica.

“Num mundo caracterizado pela mudança técnica (tanto a “contínua”, ao longo de trajetórias tecnológicas bem definidas, como a “descontínua”, vinculada à emergência de novos paradigmas tecnológicos), as defasagens e as lideranças tecnológicas moldam os padrões dos sinais de lucratividade inter-setoriais e inter-produtos e, dessa forma, também os padrões da alocação microeconômica de recursos. Estes últimos, contudo, podem afetar o dinamismo econômico de longo prazo da economia de cada país, em

termos tanto das taxas de crescimento da renda consistentes com as restrições do balanço de pagamentos como da inovatividade tecnológica”.⁸

O framework teórico do programa de pesquisa permite extrair aspectos das políticas e da “engenharia institucional” afins ao setor sucroalcooleiro interpretando as capacidades tecnológicas das empresas brasileiras e o ritmo em que elas conseguem aprender; a “qualidade” dos sinais econômicos emitidos para o setor (custos de oportunidade, tecnologias emergentes) e, finalmente, as interações das empresas com as instituições não-mercantis (como agências públicas, bancos de desenvolvimento, entidades de treinamento e pesquisa, etc.).

“Na verdade, as instituições podem ser vistas como tecnologias sociais (Nelson & Sampat, 2001) controlando externalidades e conformando ou não padrões de atividades inovativas, estruturas de incentivos subjacentes, investimento, propensão a poupar, treinamento de mão-de-obra e competências socialmente distribuídas. Por sua vez, as instituições que governam tais externalidades e complementariedades fazem-no também administrando as regras de interação entre os agentes, moldando as crenças destes e as informações a que podem ter acesso, seu ethos e suas normas de comportamento”.⁹

Se num determinado momento da história o quadro regulatório, resultante da forte intervenção estatal promoveu a expansão da produção e do consumo do etanol brasileiro através do Pró-álcool, num segundo momento, foram as competências distintivas desenvolvidas e acumuladas nos muitos anos de experiência que permitiram que, mesmo apesar da extinção dos subsídios estatais, o setor sucroalcooleiro tenha sido capaz de seguir sua trajetória atingindo padrões de competitividade incomparáveis no cenário mundial dos biocombustíveis. O momento atual se caracteriza por dois aspectos: a flagrante expansão da produção sucroalcooleira nacional e o dinamismo das pesquisas (dentro e fora do país) que resultarão em novos processos de produção.

Os aspectos técnicos que determinam a viabilidade econômica da Usina sempre serão função dos custos de produção de cada empreendimento e, portanto sensíveis ao progresso técnico e a eventuais novas tecnologias de fabricação. O preço do petróleo, aparentemente se

⁸ Instituições e Políticas Moldando o Desenvolvimento Industrial: uma nota Introdutória Cimoli, Mario, Dosi, Giovanni, Nelson, Richard, Stiglitz, Joseph - Revista Brasileira de Inovação, Volume 6, número 1 – Janeiro /Junho de 2007, Rio de Janeiro, RJ, FINEP, 2007- página 72.

⁹ Instituições e Políticas Moldando o Desenvolvimento Industrial: uma nota Introdutória Cimoli, Mario, Dosi, Giovanni, Nelson, Richard, Stiglitz, Joseph - Revista Brasileira de Inovação, Volume 6, número 1 – Janeiro /Junho de 2007, Rio de Janeiro, RJ, FINEP, 2007 – página 66.

estabiliza num patamar bastante alto e não representa ameaça ao setor¹⁰. Os custos atuais de produção tornam o etanol competitivo em relação à gasolina. Ainda assim, os custos de produção dos combustíveis líquidos derivados do petróleo sempre vão impactar o mercado de etanol representando um canal para elevadas flutuações de preço.

Esse trabalho procura estudar as tecnologias de fabricação de etanol e entender o progresso técnico nas Usinas de etanol brasileiras. Como e onde ele é gerado? Como ele se difunde? Como é assimilado? As Usinas são usuárias do progresso técnico, mas elas realizam pesquisa e desenvolvimento? O setor de máquinas e equipamentos tem papel fundamental na viabilização em escala industrial dos processos desenvolvidos pelos centros de pesquisa. Que papel esse segmento da cadeia produtiva pode exercer no futuro? Qual tem sido o papel do governo no progresso técnico? Que papel ele pode ter no futuro? A nova fronteira tecnológica vai requerer que tipo de ação da iniciativa privada e do governo?

A tese é desenvolvida em quatro capítulos. No primeiro capítulo se apresenta a configuração industrial das Usinas típicas no período do Proálcool e analisadas as transformações tecnológicas que ocorreram naquele contexto. O segundo capítulo trata das Usinas típicas atuais, seus processos de produção e transformações tecnológicas que vêm sendo introduzidas. O terceiro capítulo apresenta dados e considerações sobre o processo de expansão da produção de etanol no Brasil. A partir dos desenvolvimentos tecnológicos em curso, o quarto capítulo apresenta configurações possíveis que os arranjos industriais do setor sucroalcooleiro poderão assumir no futuro. As conclusões são construídas a partir das lições do passado e das perspectivas tecnológicas do setor e buscam contribuir com o delineamento de ações futuras.

A metodologia de pesquisa adotada fez uso de informações sobre a realidade da produção do etanol na atualidade e no passado pelo acesso a fontes de dados primários (visitas a fábricas, entrevistas com especialistas do setor, participação em seminários e conferências) e secundários (fontes bibliográficas, IBGE, outras).

Apesar de sua importância e atualidade, esta tese não pretende aprofundar o estudo sobre alguns aspectos da produção de etanol no Brasil. Cada um deles isoladamente mereceria ser objeto de desenvolvimento de uma dissertação. A necessidade de delimitação do tema para apreensão efetiva de suas dimensões impõe que os aspectos descritos a seguir não sejam aqui abordados com profundidade.

¹⁰ WORLD PETROLEUM PRICES, International Energy Annual 2005. Report Released: June-October 2007

No contexto mundial, a principal crítica ao etanol é claramente a pressão exercida pelos biocombustíveis sobre o preço dos alimentos e as consequências sobre a segurança alimentar das nações. Há também o aspecto social, particularmente as **condições de trabalho** nas lavouras de cana. A tendência é que esse quadro se transforme com a criação de empregos de melhor qualidade por um lado, mas em volumes menores por outro lado. No Estado de São Paulo, maior produtor brasileiro de cana-de-açúcar, o quadro regulatório foi reformulado, aumentando a pressão sobre os produtores para a implantação da colheita mecanizada. Em outros estados a expansão da produção através de novos empreendimentos tende a adotar mão de obra qualificada na colheita mecanizada. Isso vai resultar na criação de novos postos de trabalho, impondo pressões sobre a respectiva oferta de mão de obra. O contingente hoje empregado na colheita da cana-de-açúcar dificilmente será deslocado para esses novos postos criados, tanto por conta de defasagem no perfil profissional, quanto pelo volume de cargos criados.

A oferta de **mão-de-obra qualificada** para a etapa industrial da produção de etanol também merece atenção. Um projeto atual de uma nova planta industrial, no estado da arte da tecnologia, prevê a adoção de equipamentos mais sofisticados. Sua operação dependerá de profissionais com perfil de qualificação diferenciado dos atuais.

O processo de transição para esse quadro futuro merece estudo e atenção por parte do empresariado, da academia e dos formuladores de políticas públicas, tanto na construção de soluções que minimizem os efeitos negativos da extinção dos postos de trabalho quanto viabilizem a oferta de mão-de-obra que atenda o setor.

A **internacionalização** do setor sucroalcooleiro brasileiro depende da transformação do etanol numa *commodity* internacional o que tem motivado esforços variados. Hoje, o Brasil e os Estados Unidos integram, juntamente com o Banco Interamericano de Desenvolvimento, a Comissão Interamericana do Etanol cujo objetivo é estabelecer uma ampla ação para que os dois países se tornem promotores da produção de etanol no mundo. Acredita-se que a afirmação do etanol como *commodity* internacional dependa da expansão da sua produção em outros territórios. Tailândia, Filipinas e Malásia já produzem cana, a América Latina pode contribuir com a formação dessa oferta e finalmente, a África sub-saariana também poderá ser um grande produtor de etanol. A consecução de debate multilateral, particularmente com os prováveis produtores na África e América Central abre a perspectiva de atingir de forma mais eficiente grandes mercados consumidores, como a Ásia e a Europa.

No entanto, entraves significativos ainda estão postos para a expansão desses mercados. É comum a manutenção de tarifas altíssimas à importação de etanol. Uma

variedade de argumentos têm sido invocados em nome da segurança alimentar, da proteção da produção local, e também têm iluminado os eventuais impactos ambientais da expansão da produção e as atuais condições de trabalho.

A expansão da comercialização do etanol brasileiro no mercado internacional não pode prescindir da construção de uma boa imagem do produto no exterior, espera-se inclusive que a **certificação** exerça um papel determinante nesse processo¹¹. É decisivo excluir a biomas ecologicamente sensíveis das áreas de expansão da produção. Para participar dos mercados globais não basta oferecer um bom produto pelo melhor preço. Não só pela determinante ética, mas também por interesses protecionistas, cada vez mais é preciso respeitar condições sociais da produção e os seus efeitos no ambiente.

Pressões pela extinção das tarifas ao etanol não vêm apenas do Brasil. O Banco Mundial (BIRD) também é favorável ao fim das barreiras tarifárias para o comércio do etanol. Segundo seus especialistas essa é a melhor forma de combater as mudanças climáticas, promover os biocombustíveis, gerar desenvolvimento e também evitar a perpetuação das distorções do mercado decorrentes dos altos subsídios¹².

As discussões na Organização Mundial do Comércio – OMC, Rodada Doha, também contemplam os interesses desse setor. Está sendo proposta uma lista de bens ambientais e isenção de barreiras no mercado internacional para os produtos incluídos nessa classificação. O Brasil tem enfrentado resistências para a inclusão do etanol nessa lista, em decorrência da indefinição do que é um bem ou serviço ambiental.

Apesar das resistências citadas acima, o **ambiente regulatório** impõe aos grandes consumidores a obrigatoriedade da mistura de biocombustíveis na sua matriz energética para transporte¹³ e indica que o mundo deve demandar entre 20% e 25% de todo seu consumo de energia para transporte até 2030 em biocombustíveis¹⁴.

¹¹ A Embrapa está desenvolvendo um mecanismo para avaliar os impactos ambientais dos biocombustíveis e um sistema global de certificação da produção com vistas a criação de um selo internacional de qualidade ambiental. Zanatta, Mauro, Valor Econômico 27 e agosto de 2007, Embrapa avaliará impacto ambiental de biocombustível.

¹² Os países ricos destinam quase US\$ 1 bilhão em subsídios à produção de etanol, distorcendo o mercado internacional, segundo dados da entidade Global Subsidies Initiative. “A Global Subsidies Initiative publicou os primeiros cálculos já feitos sobre o valor dos subsídios dados nos países ricos por ano ao etanol. O valor atinge US\$ 11 bilhões em apenas 12 meses e inclui os recursos distribuídos aos produtores de milho nos Estados Unidos e aos demais produtos na Europa, Austrália e Canadá. Segundo o estudo, esse valor tem tudo para aumentar nos próximos anos”. Jamil Chade, Bird defende fim das barreiras ao etanol, O Estado de S. Paulo.

¹³ 5,75% de mistura na UE em 2010, 20% no Japão até 2030, 10% compulsório em cinco províncias da China, 7,5 bilhões de galões nos EUA em 2012.

¹⁴ NÚCLEO INTERDISCIPLINAR de Planejamento Energético, Universidade Estadual de Campinas, Convênio: CGEE – Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, Projeto: Estudo sobre as possibilidades e impactos da produção de grandes quantidades de etanol visando à substituição parcial de gasolina no mundo. RELATÓRIO FINAL. Dezembro de 2005.

O **ambiente regulatório nacional** vigente espelha a realidade de transição que o setor está atravessando. Há consenso sobre a necessidade de criação de um marco regulatório específico para o setor, adequado ao seu contexto atual.

Vários aspectos afetos ao setor sucroalcooleiro estão em discussão no Congresso Nacional. Entre eles a diferença dos preços praticados pelos distribuidores de combustível e o preço pago às Usinas, a desconcentração da distribuição do álcool, a arrecadação de impostos sobre o combustível¹⁵. Na Câmara dos Deputados uma comissão especial está discutindo o projeto de lei 1.563/07, que propõe alterações na Lei do Proinfa e prevê novos incentivos à geração de energia eólica, por biomassa (cana-de-açúcar) e de pequenas centrais hidrelétricas, as PCHs.

Muito se tem discutido sobre a extensão da atuação de governo no controle e fomento ao setor. Por um lado argumenta-se que a questão de energia é estratégica para o país, devendo a atuação do governo acontecer através do controle mais intensivo da Agência Nacional do Petróleo (ANP) sobre produção, exportação e importação de etanol¹⁶. Por outro lado, argumenta-se que o fim do Instituto do Açúcar e do Alcool (IAA) provou que o setor não precisa mais da interferência do governo ou de financiamento público nos moldes do Pró-álcool. Há ainda quem argumente sobre a necessidade de criação de uma institucionalidade específica para coordenar todo o campo de questões e ações afins ao etanol brasileiro. Dentre os atores envolvidos, o consenso a respeito da extensão das medidas do governo ainda está muito longe de ser atingido.

Enquanto não há definição sobre essa coordenação, uma série de ações urgentes são postergadas ou ainda superpostas. Exemplo disso são os investimentos em **infra-estrutura** que precisam ser implementados. Entre eles a **logística** para o escoamento da produção (que está se expandindo em novos territórios), para a exportação do combustível e a ligação das usinas geradoras de bioeletricidade à rede. Por quem, quando, onde e com que recursos esses investimentos serão realizados? A definição de regiões favoráveis à expansão da cultura da cana-de-açúcar também está carente de um projeto / uma definição que concilie os interesses

¹⁵ Na venda das usinas para as distribuidoras, são recolhidos ICMS e PIS/Cofins de 3,65%. Na comercialização das distribuidoras para os postos, são recolhidos ICMS e outros 3,65% de PIS/Cofins. Mônica Scaramuzzo, Usinas vão disputar o mercado de distribuição de álcool nos postos, Valor Econômico.

¹⁶ A ANP ganharia poderes para controlar os estoques privados de álcool. A Petrobras passaria a ser o principal exportador do setor. Paralelamente, o governo também planeja criar um zoneamento para o cultivo da cana-de-açúcar, restringindo áreas para plantio. Inicialmente, a idéia é proibir o cultivo na Amazônia, no Pantanal e em outras áreas de preservação ambiental, Além disso, em caso de risco de desabastecimento do mercado interno, o álcool das usinas poderia ser confiscado. Alexa Salomão e Murilo Ramos: Vem aí a Alcoolbrás? Época, nº. 485, 3/09/2007.

nacionais com os do setor privado. A expansão desordenada da produção por novos **territórios** pode ter consequências desfavoráveis para o país e para o setor.

Finalmente, a etapa agrícola, campo de atuação intensivo em conhecimento e desenvolvimento científico que sustentou, e seguirá sustentando fortemente a competitividade do etanol brasileiro, não será contemplada diretamente neste trabalho. A produção da cana-de-açúcar envolve questões de engenharia agrônômica, variedades, controles fito-sanitários, (sistema de produção) e engenharia agrícola (novos sistemas de plantio, colheita, transporte, uso dos resíduos).

CAPÍTULO I

A USINA DO PRÓALCOOL

2) CAPÍTULO I - A USINA DO PROÁLCOOL

1.1 A usina antes do Proálcool

O emprego sistemático no Brasil do etanol proveniente da cana-de-açúcar como combustível, que teve origem antes da Segunda Guerra Mundial, compreende quatro fases distintas:

- de 1934 até 1975: Fase do “etanol motor” anidro, adicionado à gasolina automotiva;
- de 1976 até 1980: Primeira fase do “Proálcool”, com ênfase no etanol hidratado como substituto da gasolina com objetivos modestos;
- de 1981 até 1986: Intensificação do “Proálcool”;
- de 1987 até 2006/07: reduzida ação do Estado¹⁷.

No primeiro período tratava-se de transformar o etanol hidratado, produto normal das destilarias anexas às usinas de açúcar, em etanol anidro (graduação mínima de 99%), de forma a possibilitar o seu emprego como aditivo à gasolina automotiva comum. O Estado interviu diretamente: o IAA - Instituto do Açúcar e do Alcool foi criado como órgão regulador de atividades econômicas privadas e como agente econômico. Inicialmente foram constituídas três destilarias centrais, respectivamente no Cabo (PE), Campos (RJ) e Rio Branco (MG). Àquela época a cultura da cana não tinha grande expressão no estado de São Paulo. A adição do etanol à gasolina foi compulsória.

Na primeira fase da promoção e do incentivo à indústria do etanol relacionava-se mais com a conjuntura agrícola e do mercado de açúcar, do que com a substituição de energia importada. A proporção entre o consumo de etanol e o de gasolina foi, no decênio 1935-1945 de 5,5%, em média. O etanol representou, em 1941, menos de 1% do consumo nacional de energia. Se por um lado sua participação como energético era insignificante, por outro lado ganhava-se experiência e acumulava-se conhecimento com o seu uso. Isso foi fundamental

¹⁷ Inicialmente houve um período de total abandono do setor, inclusive com a quebra de algumas Usinas. Nos últimos anos, conforme será descrito no próximo capítulo, o Estado tem implementado algumas iniciativas de apoio ao setor.

quando, anos depois ele passou a representar papel significativo no quadro energético nacional.

A produção de etanol no Brasil variava de ano para ano. Mas a cada década subia o consumo anual de etanol combustível, e a proporção entre consumo de etanol e consumo de gasolina manteve-se relativamente estável, em torno de 4% a 6%.

Antes do Proálcool as Usinas destinavam-se principalmente à produção de açúcar, de forma que a produção de etanol no Brasil era associada à produção de açúcar, nas chamadas “Destilarias Anexas”, projetadas para a produção de etanol a partir dos açúcares não cristalizáveis, contidos nos melaços e méis residuais, subprodutos da produção do açúcar.

Uma medida da importância da produção do etanol no Brasil, antes do Proálcool, é a magnitude da chamada “Alcoolquímica”, que precedeu à Petroquímica, no cenário industrial brasileiro. Eteno, Derivados Acéticos e Butanol, por exemplo, foram produtos que, antes de serem “petroquímicos”, foram “alcoolquímicos”.

Quadro I

i) SOBRE ALCOOLQUÍMICA

“Em 1889, quando da proclamação da república, o Brasil já possuía indústrias diversas (extração mineral, vegetal e animal, siderúrgica, papel, vidro, cimento sabões e vela, além de adubos e inseticidas. Na área química já existiam indústrias de produtos inorgânicos de síntese, de produtos orgânicos e de fermentação, neste último grupo era produzido álcool etílico e álcool iluminante”.¹⁸

Ao longo do século passado uma variedade de produtos da alcoolquímica passaram a serem produzidos no país tais como cloreto de etila, éter dietílico, butanol, acetona e acéticos muitos deles a partir do etanol. Foi na década de 70, a partir da entrada em operação da Petroquímica União e da COPENE, que a oferta de eteno petroquímico passou a representar uma alternativa ao eteno derivado de etanol.

Dois grandes grupos de produtos eram produzidos na alcoolquímica brasileira: aqueles derivados da transformação do etanol em eteno ou acetaldeído e os que utilizavam o etanol em sua função química como álcool. O primeiro grupo perdeu sua competitividade em relação ao eteno obtido da nafta (em decorrência do retorno da taxa paga ao IAA – cuja cobrança fora suspensa em 1983 e retornou em 1984). Além disso, algumas empresas passaram a importar diretamente o ácido acético que utilizavam como insumo. O consumo de álcool etílico pela indústria alcoolquímica sempre foi pequeno, situando-se entre 400 e 500 milhões de litros ano.

¹⁸ Wongtschowsky, Pedro. Indústria Química – Riscos e Oportunidades. Editora Edgard Blücher Ltda, 2ª. Edição. 2002. págs. 134 e 174.

(b) *1.1.1 Características predominantes*

Antes do Proálcool, as usinas se caracterizavam por processar matéria-prima oriunda de canaviais de baixa produtividade, em safras curtas, o que implicava em pequena capacidade média de esmagamento. Um pequeno percentual dos açúcares totais da cana-de-açúcar, relacionados com os açúcares não cristalizáveis, escapava à produção de açúcar, produzindo os melaços e méis residuais, enviados à fermentação, para a produção de aguardente ou etanol, em pequenas destilarias anexas, com capacidades definidas pela disponibilidade dos “açúcares residuais”.

Uma estimativa da baixa produtividade do processamento para produção de etanol pode ser feita a partir dos dados apresentados a seguir. Um canavial de 10.000 hectares, com uma produtividade de 60 toneladas de cana colmo por hectare por safra, disponibilizava 600.000 toneladas de cana colmo ao esmagamento, com uma produção de açúcar, em torno de 60.000 toneladas/ano, com uma produção de “açúcares residuais” (contidos nos melaços e méis), da ordem de 1.500 toneladas por ano, as quais seriam suficientes para uma produção da ordem de 600 toneladas de etanol/ano (cerca de 1% da produção de açúcar). A destilaria, de capacidade mínima, correspondente ao esmagamento daquela quantidade de cana colmo, operando 180 dias/ano, teria uma capacidade da ordem de 5.000 litros/dia. A destilaria de capacidade máxima, correspondente ao esmagamento daquela quantidade de cana colmo, teria que ser projetada para produzir cerca de 420.000 litros/dia. Não há notícia de que uma destilaria deste porte tenha sido construída naquela época.

Do ponto de vista de processo e de concepção de equipamentos, as Usinas anteriores ao Proálcool já tinham uma configuração parecida com as atuais. Certos autores observam que o fato de a configuração anterior ao proálcool ser semelhante à atual significa que boa parte das usinas atuais não foi concebida para a produção de álcool, mas sim de açúcar, tendo sido o álcool considerado um sub-produto por ocasião do projeto das mesmas. Entretanto, as capacidades específicas e o desempenho de seus equipamentos eram muito inferiores aos atuais. Seus balanços térmicos eram tão deficientes que a maioria das usinas tinha que utilizar madeira ou óleo combustível, para a geração de vapor, pelo menos na partida da Unidade, em cada safra.

De um modo geral, o processamento da cana-de-açúcar, nestas usinas, seguia o seguinte padrão:

- Recepção e lavagem da cana;
- Picagem da cana no picador acionado por turbina a vapor;

- Extração do caldo por moagem em ternos de moenda seqüenciais, acionados por turbina a vapor;
- Envio do bagaço 50% para combustão em caldeiras de bagaço, gerando vapor de média pressão (para acionamento das turbinas a vapor);
- Tratamento do caldo;
- Evaporação e cristalização, com separação dos açúcares residuais;
- Secagem e ensacamento do Açúcar Cristal (Demerara ou Branco);
- Fermentação do melaço e méis residuais;
- Destilação – para Aguardente e/ou Etanol.

O vapor exausto das turbinas era enviado, tanto aos evaporadores, quanto aos “aparelhos de destilação”, que o consumiam, conforme a ineficiência térmica destes sistemas, a qual não era aprimorada, sob pena de criar um outro problema para a usina: o acúmulo indesejável de “montanhas” de bagaço.

O vinhoto (ou vinhaça), resíduo da destilação era acumulado em tanques ou reservatórios e descartado continuamente, com baixa vazão, no rio servindo a usina. A produção de vinhoto, em relação à produção de etanol, era da mesma ordem da atual, ou seja, cerca de 12 litros de vinhoto/litro de etanol. Isto implicava em que, mesmo uma usina de porte médio (600.000 toneladas de Cana Colmo/ano), estaria “despejando”, no rio que lhe servia, cerca de 60.000 litros de vinhoto/dia, durante a safra. O uso deste vinhoto como “fertilizante líquido” só viria a ser adotado muito tempo depois.

1.2. A USINA DO PROÁLCOOL

1.2.1 Contextualização e apresentação das duas etapas do Proálcool

1. 2.1.1 Respostas mediante a contenção do consumo

Diante das duas crises de preços do petróleo, e especialmente da segunda, os países importadores de petróleo procuraram tornar-se menos dependentes, diminuindo o consumo de derivados e substituindo-os, onde possível, por formas alternativas de energia.

Além disso, do lado do consumo de energia, era clara a existência de grandes desperdícios. Governos de muitos países os combateram com políticas de “conservação de energia”, concebidas com base na eficiência na produção, transformação e consumo de energia. Exemplos de medidas adotadas foram a observância com rigor das limitações de velocidade de veículos, a exigência de aumento do isolamento térmico de prédios e lugares frios, a criação de incentivos à co-geração e a informação e o esclarecimento dos consumidores.

No Brasil foram criados os Grupos Coordenadores de Operação Interligada (GCOI), como entidades que promovem a operação do sistema de forma otimizada e a distribuição dos ônus e benefícios dela decorrentes entre as concessionárias. Depois disso foi criado o Grupo Executivo de Racionalização do Uso dos Combustíveis (GERAC), que não chegou a ser implantado. Foram também adotadas medidas de efeito duvidoso, como o fechamento dos postos de gasolina nos fins de semana, e foi proposta a elevação do preço da gasolina através da cobrança de um empréstimo, cujos títulos foram apelidados de “simonetas” e que, pelas dificuldades práticas encontradas, não chegaram a entrar em vigor.

Uma medida drástica obrigava a uma redução de 10% no uso do óleo combustível nas instalações industriais. Embora constituindo-se em racionamento despertou a atenção das empresas e resultou em ações de redução de consumo sem prejudicar a produção. Preparou ainda o terreno para o Programa de Conservação de Energia no Setor Industrial (Conserve), que viria a seguir.

1.2.1.2 A primeira etapa do Proálcool

Em 1974, como parte do II PND o etanol foi citado como uma opção de fornecimento de energia ao país. Em 1975 o Programa Nacional do Alcool foi criado como estratégia para o desenvolvimento de uma alternativa energética¹⁹. O Programa foi baseado na expansão do uso de etanol anidro como aditivo à gasolina, tal como se fazia nos quarenta anos anteriores. A meta agora era passar de 500.000m³ para 3 milhões de m³ anuais em 1980, a qual foi superada. Ampliava-se a proporção do etanol na mistura procurando atingir 20%, considerado tecnicamente possível sem requerer modificações substanciais nos motores dos veículos. Essa proporção atingiu, de fato, cerca de 17% em 1979. Em termos de instalações físicas, baseou-

¹⁹ Governo de Ernesto Geisel, gestão do ministro Severo Gomes, Secretário de Tecnologia Industrial, José Walter Bautista Vidal – Decreto 76.593 de 14 de novembro de 1975.

se inicialmente o programa na capacidade existente no setor açucareiro, ao qual foram anexadas destilarias de etanol.

Do conjunto de ações previstas constavam:

- Comissão Interministerial formada por: Indústria e Comércio, Planejamento, Minas e Energia, Interior, Agricultura e Fazenda;
- Estabelecimento de preço final do fabricante;
- Definição de prazos de financiamento e custeio da produção;
- Taxas de juros subsidiados;
- Garantia de compra pelo Conselho Nacional do Petróleo (CNP) de todo etanol produzido conforme as diretrizes do programa;
- Direcionamento dos créditos do programa para financiamento da expansão industrial, pesquisas tecnológicas, desenvolvimento da produtividade agrícola dos insumos para a atividade industrial;
- Definição dos agentes financeiros que repassariam os recursos provenientes do Banco do Brasil para o atendimento da agroindústria alcooleira.

Antes do Proálcool a participação do etanol em mistura com a gasolina automotiva foi feita em proporções muito baixas. O maior índice de mistura foi atingido em 1972, com um percentual de 3,59% decaindo anualmente até 1,00%, em 1975. Na safra de 1975, o volume de produção de etanol, no Brasil, foi de 796.000.000 de litros; deste montante, 162.000.000 foram destinados para mistura à gasolina. A TABELA I apresenta a evolução do consumo de gasolina álcool ao longo das décadas, a partir do início de sua adoção como carburante até o período inicial do Proálcool.

(c) **TABELA I**
Álcool e Gasolina – Proporção no Consumo
Consumo de gasolina e álcool (1.000 m³/ano – IBGE, 1987)

Período	Álcool	Gasolina	%
1937-1946	33	615	5,4
1947-1956	109	2618	4,2
1957-1966	295	5130	5,8
1967-1976	527	10819	4,9

Continua...

Continuação...

Anos	Milhões de litros de álcool em mistura	Participação do álcool na mistura Porcentagem
1972	391,1	3,59
1973	308,8	2,63
1974	190,2	1,35
1975	162,2	1,08
1976	150	0,94
1977	1233	7,5

1.2.1.3 A segunda etapa do Proálcool

Em 1979, com o agravamento da crise, foi feito pelo governo Figueiredo o esforço no sentido de melhorar a coordenação intersetorial através da constituição da CNEN, cujo secretário executivo foi o Vice-presidente Aureliano Chaves. A finalidade era “estabelecer diretrizes e critérios visando à racionalização do consumo e ao incremento da produção nacional de petróleo, bem como a substituição dessa por outras fontes de energia”. Reiterava-se o conceito de energia como instrumento de segurança nacional. As diretrizes básicas para a Comissão se referiam à racionalização “da utilização da energia obtendo a diminuição dos insumos energéticos e substituir progressivamente os derivados do petróleo por combustíveis alternativos”. O documento principal do governo foi um Programa de Mobilização Energética (PME).

Estas iniciativas deram origem a vários desdobramentos específicos, entre os quais:

- “Projetos de Desenvolvimento do carvão e outras fontes alternativas de energia”;
- Programa de Conservação de Energia no Setor Industrial (Conserve) - protocolos específicos com indústrias de cimento, siderurgia e celulose e papel;
- Programa de substituição de Energéticos importados por eletricidade;
- **Reformulação do programa do álcool, abrindo nova fase do Proálcool, com execução a cargo de uma Comissão Nacional do Álcool (CENAL) e coordenação superior pela CNEN.**

A substituição de energéticos importados atendia a uma situação de emergência já que o peso dos gastos de divisas com a importação do petróleo haviam se aproximado, no Brasil, de 50% do total das importações.

A cargo da CENAL, a execução da segunda etapa do Proálcool trouxe soluções novas e metas bem mais ambiciosas. Baseava-se principalmente em **destilarias autônomas**, contemplando também a expansão dos canaviais para novas áreas, e visava a produção de **etanol hidratado para ser usado como substituto da gasolina e não como aditivo à gasolina na forma tradicional**. Esse programa requeria significativas modificações nos motores, o que demandou algum tempo para que os fabricantes alcançassem atendimento satisfatório aos usuários dos veículos movidos pelo novo combustível. No combustível tradicional as proporções na mistura gasolina-etanol foram variando até atingir 22%, valor esse consagrado pelo CNP e pelo Programa de Controle da Poluição Veicular (Proncove) baixado pelo CONAMA. Mais tarde esse número seria estabelecido em lei. A produção e a participação das destilarias anexas às usinas de açúcar e das Usinas autônomas evoluiu rapidamente. Em termos quantitativos e de capacidade executiva, o sucesso do programa é evidente.

(d)
Tabela II

Expansão da Produção²⁰

Safra	1975/76	1980/81	1986/87
Produção (milhões de m³)			
Álcool anidro	0,2	2,1	2,2
Álcool hidratado	0,3	1,6	8,3
Destilarias (%)			
Anexas	90	84	59
Autônomas	10	16	41

Os números apresentados na Tabela II demonstram tanto o tamanho da expansão da produção, quanto a mudança da configuração do parque industrial. Eles são significativos, ao caracterizar a diversificação da expansão da produção do etanol (entre anidro e hidratado), e a respectiva participação no consumo final, em confronto com o da gasolina, que passou de 1% em 1975 para 41% em 1985.

²⁰ Fonte: Leite, Antonio Dias. A Energia do Brasil. Ed. Nova Fronteira. Rio de Janeiro, 1997.

O governo federal construiu uma série de instrumentos para a implementação do programa. Além do apoio creditício a plantio da cana de açúcar e às destilarias de etanol, procurou incentivar a demanda do etanol. Fez isso através de conjunto de medidas fiscais e para-fiscais: redução do Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI), relativo aos veículos a etanol; redução das alíquotas da Taxa Rodoviária Única (TRU), depois substituída pelo Imposto Sobre Veículos Automotores (IPVA); não incidência do Imposto Único Sobre Combustíveis Líquidos (IUCLG) nas vendas de etanol carburante; fixação de uma relação constante de 65% entre o preço de venda do etanol hidratado e a gasolina automotiva, com base em estudos inicialmente feitos sobre o poder energético dos dois combustíveis quando usados pelos motores existentes, relação esta modificada para 67% em virtude de novos estudos sobre a eficiência dos motores mais modernos; além de outras de menor importância (Comissão Nacional de Energia, 1987, p. 38-40).

A controvérsia central sobre o Proálcool versava, contudo, a respeito das relações entre o custo de produção, o preço de venda e a equivalência energética entre o etanol e o petróleo, já **que a superioridade do etanol sobre a gasolina em termos ambientais só foi adquirindo importância aos poucos e na medida em que as discussões a respeito se acirravam**. Tendo em vista que a motivação inicial do Proálcool foi o desequilíbrio do balanço de pagamentos provocado pela dependência externa de energia, havia grande dúvida sobre o potencial de competitividade futura do etanol, na hipótese de não vir a ocorrer alta contínua do petróleo. Àquela altura, eliminando-se totalmente a correção cambial, para se determinar o custo para o produtor, chegava-se ao valor de US\$ 62,5 por barril equivalente. Esse valor era 70% superior ao preço do barril do petróleo importado²¹. Esse número revela o quanto foi ambicioso o programa, e o quanto os produtores nele confiaram.

O aumento global de eficiência foi significativo. Dependendo da região e da fonte de informações, a produtividade da agroindústria cresceu em média 4,3% ao ano entre a safra de 1977/78 até a de 1985/86. Essas melhorias de eficiência se traduziram em redução de custos, que se efetivaram ao ritmo de 3,1% ao ano ao longo de vinte anos. A margem de novas melhorias é nitidamente demonstrada na pesquisa sobre a produtividade em amostra de 44 usinas da Copersucar em novas safras. Por hectare colhido, as cinco melhores atingiram 94t e as cinco piores 41t, com a média de 71t. Cabe aqui ressaltar a grande dispersão observada nos indicadores apurados para os diferentes produtores.

²¹ Fonte: Leite, Antonio Dias. A ENERGIA DO BRASIL. Editora Nova Fronteira. Rio de Janeiro, 1997.

1.2.1.4 Desativação e saldo do PRÓ-ALCOOL

O Proálcool, como programa de benefícios e incentivos fiscais do governo federal, foi praticamente desativado em 1988/89. Permaneceram em vigor as normas relativas à adição de etanol anidro à gasolina, na proporção de 22%.

A evolução técnica das usinas no período foi notável. Os números apresentados nas tabelas III e IV, a seguir, revelam essa evolução. Entre os anos de 1977 e 1986, o rendimento agroindustrial da produção de álcool evoluiu de 2663 litros/ha para 3811 litros/ha. Entre 1972 e 1992, o rendimento de álcool em litros por tonelada de cana aumentou em 25% no país.

O consumo do etanol passou por um máximo de 50% do total gasolina mais etanol, em 1988, declinando depois para atingir 40% em 1994. Nessa evolução, a grande variação ocorreu no etanol hidratado, já que o etanol anidro manteve-se estável, exceto durante a crise de suprimento de 1989/90, quando o teor teve de ser baixado a 18% e a 13%. Do ponto de vista técnico, essa variação de teor trouxe grandes dificuldades para o desempenho dos motores, criando problemas para usuários e fabricantes.

A produção total depois de crescimento sustentado estacionou por volta de 1987 em torno de 12 milhões de m³ anuais. As importações se tornaram necessárias a partir de 1990, variando bastante de ano para ano, com a média no quinquênio de 1,2 milhões de m³, na proporção, portanto de 10% da produção local.

A Tabela III, apresenta dados sobre a evolução do consumo de álcool e gasolina durante o período do Proálcool, possibilitada pela expansão da produção com índices de rendimento crescentes apresentados nas Tabelas IV e V.

(e)
(f) **TABELA III**
Consumo de álcool e gasolina

Anos	1975	1980	1985	1990
Em termos absolutos				
Álcool em milhões de tEP	0,1	1,4	4,1	6,1
(i) Em termos relativos %				
Álcool	1	14	41	44
Gasolina	99	86	59	56
Consumo total	100	100	100	100

Fonte: Balanço Energético Nacional, 1991.

(g) **TABELA IV**

Rendimento da Agroindústria na Produção do Alcool
Rendimento agroindustrial da produção do álcool (litros/ha)

Safra	Rendimento	Safra	Rendimento
77/78	2.663	82/83	3.141
78/79	2.837	83/84	3.398
76/80	2.923	84/85	3.600
80/81	2.948	85/86	3.811
81/82	3.062		

Fonte: Comissão Nacional de Energia, 1987.

(h) **TABELA V**

Rendimento de álcool (litros/tcana)

Região/Estado/País	1972/74	1982/84	1992/94	1972/92
Norte-Nordeste	55,5	60,3	70,5	27%
São Paulo	65	70,1	79	22%
Brasil	60,6	65,9	76	25%

Fonte: Antonio Carlos Fernandes, Produção e produtividade de cana-de-açúcar, CTC, Copersucar.

Nos dez anos da década de 80 foram vendidos no país 4.523.000 veículos a etanol (70%), contra 1.907.000 a gasolina (Petrobrás, 1996).

As condições de financiamento durante a primeira fase do Proálcool, até setembro de 1979, foram bastante favoráveis. Para a agricultura da cana-de-açúcar as condições não diferiam muito em relação ao período anterior. A grande novidade era o financiamento à construção de destilarias para o qual, a partir de 1979, intensificaram-se os incentivos e subsídios.

O instrumento específico mais importante foi o crédito para a construção de destilarias. Foi pequena, portanto, a contribuição financeira da iniciativa privada para a expansão da produção nesse período. “Considerando-se as condições estabelecidas para uma operação concluída em 1975, o prazo de quinze anos e a desvalorização da moeda, estima-se que esse subsídio possa ter alcançado 71% do valor do financiamento concedido. Nas condições ainda mais favoráveis de 1979, essa proporção poderá ter atingido 96%. A

importância despendida pelo Estado com essas operações teria sido da ordem de US\$ 15 bilhões”.²²

Outros dispêndios, ou renúncia de impostos, foram estimados em US\$ 7 bilhões de moeda corrente, compreendendo: redução da arrecadação do IPI sobre veículos a etanol; redução da arrecadação do IUCLG sobre o etanol hidratado, cobertura da diferença da conta etanol pelo governo e pela Petrobrás.²³

Ao contrário do que muitos esperavam o preço do petróleo caiu abruptamente. Com o fim do Proálcool o preço pago aos produtores pelo litro do etanol, em termos de US\$ de 1996, baixou de US\$ 1,01 em 1981 para US\$ 0,44 em 1995. E o preço do litro equivalente de petróleo caiu de US\$ 0,47 para US\$ 0,11 em 1995. Para a iniciativa privada do setor sucroalcooleiro, o preço vigente em 1996 não deixava margem para o prosseguimento dos investimentos em novas instalações ou em pesquisas. Para o país, o equilíbrio econômico só se daria se o barril de petróleo subisse substancialmente, o que viria a acontecer somente no século XXI (ver adiante).

Uma significativa parcela do parque industrial instalado ao final do Proálcool dispunha de configurações industriais com grande flexibilidade na produção de etanol ou açúcar. Nesses casos foi possível converter a produção de um produto para o outro. Desta forma, o sistema agroindustrial dispôs de capacidade para responder com agilidade à flutuações de preços. Que ocorreu a partir daquele momento.

1.2.2 O processo de produção numa usina típica

O advento do Proálcool criou, como “carro-chefe”, a figura da destilaria autônoma, ou seja, destilaria desenhada para o consumo de toda sacarose da cana-de-açúcar, destinando-a à produção de etanol anidro e/ou hidratado. A destilaria anexa, desenhada para o consumo de parte da sacarose, merecia, do programa, um incentivo menor.

²² Fonte: Leite, Antonio Dias. A ENERGIA DO BRASIL. Editora Nova Fronteira. Rio de Janeiro, 1997.

²³ Estudo do PENSA sobre o sistema agroindustrial da cana-de-açúcar apresenta os seguintes dados: “A implantação do parque sucroalcooleiro necessitou de investimentos da ordem de US\$ 12 bilhões, grande parte financiada a juros subsidiados. Há ainda renúncias fiscais perdão de dívidas e outros benefícios..... Por conta do Proálcool o Brasil economizou cerca de US\$ 30 bilhões em substituição ao petróleo. Em 1996, contribuiu com US\$1,6 bilhões para redução do déficit na balança comercial (substituição das importações de petróleo e aditivos para gasolina) ”.

O Proálcool incentivou, também, a melhoria da tecnologia agrícola, que implicou num aumento do tamanho econômico dos canaviais, o que, por sua vez, viabilizou o aumento da capacidade média das usinas e/ou destilarias, implantadas durante a vigência do programa. Para se ter uma idéia do aumento das escalas de produção, é suficiente mencionar que destilarias com capacidades entre 120.000 litros/dia e 180.000 litros/dia, eram típicas daquela época²⁴.

(i) *1.2.2.1 Características predominantes*

As usinas e/ou destilarias da época do Proálcool não se tornaram, em termos de configuração e/ou equipamentos, muito diferentes de suas antecessoras – nem mesmo a destilaria autônoma. A grande diferença foi, de fato, o aumento da capacidade de produção e melhoramentos graduais no desenho, construção e desempenho dos equipamentos, que ajudaram a melhorar o aproveitamento do açúcar. Apesar disso, o balanço térmico continuou deficiente, com um consumo específico de vapor, especialmente na destilaria autônoma, muito acima daquele estimado por uma “otimização de processo”.

Ganhos incrementais foram obtidos em todos os subsistemas de produção, mas nem sempre as inovações disponíveis eram adotadas. A implementação das melhorias no processo de fabricação nem sempre se justificavam em face das margens obtidas pelos processos tradicionais.

“No Centro de Tecnologia Copersucar o desenvolvimento de tecnologia nesta área foi iniciado em 1974. Naquela época, a tecnologia disponível no Brasil era ultrapassada quando comparada a outros centros produtores de açúcar como Austrália e África do Sul; foi iniciado um programa de desenvolvimento na área pela contratação de um corpo técnico e da assessoria da Deon Hullet do Brasil. Esta assessoria atuou também no desenvolvimento de outros setores do processo de fabricação de açúcar e etanol; trazia a tecnologia sul-africana principalmente para os processos de preparo e moagem da cana”.

...

“Diversos equipamentos têm sido introduzidos na melhoria do processo de batelada: os sistemas de fechamento de dornas e recuperação do etanol, sistema de mistura em linha para preparo do mosto o aquecimento do caldo com trocadores de calor regenerativos, o decantador rápido sem bandejas, etc”.

“O setor de destilação poderá apresentar grandes avanços no que concerne ao consumo de energia, se a demanda de bagaço justificar os investimentos. As destilarias atuais no Brasil, embora já incorporando melhoramentos,

²⁴ Barreto, Tobias, ETANOL, O COMBUSTÍVEL DO BRASIL, Editora agrônômica Ceres Ltda, São Paulo, 1980

ficam muito aquém das possibilidades: esquemas utilizando recompressão mecânica de vapor ou destilação em dois estágios são comuns hoje onde o óleo combustível é utilizado. A indústria nacional começa a oferecer diversas opções mais modernas, e existe capacidade para o projeto e fabricação destes equipamentos”.²⁵

O aumento da produção de etanol resulta no aumento da produção de vinhoto. À época do Proálcool o vinhoto começou a ser usado como fertilizante, tendo sido usado em larga escala na região de São Paulo. Trabalhos importantes se iniciaram visando a concentração parcial do vinhoto, essencialmente para reduzir os custos de transporte e bombeamento.

Paralelamente o desenvolvimento de biodigestores para o vinhoto também vinha sendo realizado em plantas piloto.

No que diz respeito ao saldo de vapor, a termodinâmica indica a possibilidade de consumo específico de vapor, na destilação do vinho oriundo da fermentação, da ordem de 1.0 tonelada de vapor/tonelada de etanol. As destilarias da época operavam com consumos específicos da ordem de 5 a 6 toneladas de vapor/tonelada de etanol. A justificativa, sempre empregada, era de que não havia uso para o bagaço e também que “em geral, não é atrativa a produção de energia elétrica”.

De uma forma geral havia grandes variações entre regiões, diferenças na mesma região, entre rendimentos industriais e modos de operação, “tornando difícil calcular um custo padrão para a produção industrial do etanol”.

A seguir apresentamos uma lista dos equipamentos básicos de uma destilaria típica²⁶:

1. Duas balanças de pesagem de cana;
2. Duas pontes rolantes: uma de 20t outra de 16t;
3. Uma mesa alimentadora basculante de 7,0 X 9,0 m;
4. Um esteirão de cana de 40,0m;
5. Dois picadores de cana acionados por 2 turbinas;
6. Três ternos de moendas “34x36” acionados por 3 turbinas;
7. Três caixas separadoras de areia de 40m³ cada uma;
8. Um decantador tipo Raji-Door de 4 estágios, com capacidade de 300m³;
9. Quatro peneiras estáticas Door-Oliver DSM;

²⁵ MACEDO, Isaias C., Tecnologia e custos industriais da produção de álcool, em ENERGIA, Economia e Tecnologia, La Rovere, Emílio Lebre, Rosa, Luis Pinguelli, Rodrigues, Adriano Pires, Orgs. Editora Marco Zero, FINEP, Rio de Janeiro, 1985, p. 262, p. 266.

²⁶ Alcídia: a primeira destilaria aprovada pelo Proálcool, localizada no município de Teodoro Sampaio com capacidade instalada de 330.000 litros diários e uma área de 13.500 hectares cultivados com matéria prima.

10. Um filtro rotativo a vácuo “10 X 12”;
11. Três conjuntos de aquecedores horizontais de 3 corpos tipo Webre;
12. Um pré-evaporador de 1.500m^2 ;
13. Três caixas de evaporação de triplice efeito com 320m^2 cada caixa;
14. Seis cubas de pré-fermentação de 60m^3 ;
15. Vinte e duas dornas de fermentação de 200m^3 ;
16. Duas dornas volantes de 200m^3 ;
17. Dois aparelhos de destilação de 120.000l/d ;
18. Um aparelho de destilação de 90.000l/d ;
19. Seis separadoras centrífugas EWestphalia de $50\text{ m}^3/\text{h}$;
20. Uma esteira elevadora de bagaço;
21. Uma esteira alimentadora de bagaço;
22. Uma esteira de retorno de bagaço;
23. Duas caldeiras de 1200m^2 de superfície de aquecimento com grelha;
24. Uma caldeira de 1200m^2 tipo fornalha com pré-aquecedor de ar;
25. Três geradores de 1500kVA acionados por três turbinas;
26. Dois reservatórios de xarope de 500m^3 ;
27. Quatro tanques de armazenagem de 5500m^3 ;
28. Dois reservatórios de benzol de 20t ;
29. Dois reservatórios de ácido sulfúrico de 20t ;
30. Uma instalação de tratamento de água com capacidade de $200\text{m}^3/\text{h}$;
31. Um sistema de abastecimento de água de $2000\text{m}^3/\text{h}$ de capacidade de bombeamento;
32. Um sistema de lavagem de cana com capacidade de $1500\text{m}^3/\text{h}$;
33. Um sistema de bombeamento de vinhaça com capacidade de $300\text{m}^3/\text{h}$;
34. Um sistema de decantação da água de lavagem de cana com 4 caixas de $25,0 \times 50,0$.

Os produtos obtidos a partir do processamento de uma tonelada de cana-de-açúcar são apresentados abaixo, na tabela VI.

(j) **TABELA VI**
Produtos da cana-de-açúcar²⁷

1 tonelada de cana-de-açúcar	Produtos	Subprodutos
	90 kg açúcar	300kg de bagaço
	45 kg melaço	
	12 l de etanol Destilaria anexa	156l de vinhaça
	67 l de etanol Destilaria autônoma	300kg de bagaço 870l de vinhaça

Alguns parâmetros técnicos de operação praticados à época:

- Temperatura ótima de atividade na fermentação: 28 a 30° C;
- pH do mosto entre 4,5 e 5,0, mantido com uso de ácido sulfúrico;
- Correção do caldo da cana, normalmente deficiente em nitrogênio e fósforo pela adição de 100g de fosfato de amônio na proporção de 100g por 1.000l de mosto. Além disso, deve-se enriquecer o caldo que dá início à fermentação nas dornas com sulfato de amônio e farelo de arroz na proporção de 1g de cada, para um litro de mosto.

A Usina do Pró-álcool, como demandante de equipamentos, insumos e serviços variados, contribuiu para o desenvolvimento agroindustrial em toda a sua cadeia produtiva, tanto a montante, quanto a jusante. Naquele contexto de forte expansão do consumo e da produção a figura da Usina funcionou com uma engrenagem que acionava todo um diversificado sistema de fornecedores e compradores, de agentes econômicos e sociais. Ressalta-se aqui, em função do tema deste trabalho, a emergência de um moderno e eficiente setor de máquinas e equipamentos para as usinas de etanol.

Esse aspecto foi fundamental para a etapa atual. Conforme será descrito no próximo capítulo, a existência de oferta de tecnologia industrial possibilitou ao setor seguir efetivando ganhos, ainda que incrementais, no processo produtivo. Graças à experiência acumulada pelo setor, a extinção do Próálcool não significou estagnação do progresso técnico ou do aumento da produtividade do setor.

²⁷ Fonte: Etanol: o combustível do Brasil, p. 50.

a.

CAPÍTULO II

2) A USINA ATUAL

3) CAPÍTULO II - A USINA ATUAL

(ii) 2.1 GERAL

A extinção do Proálcool provocou um distúrbio acentuado no setor sucroalcooleiro²⁸. A adição de etanol anidro à gasolina, em proporções tão elevadas quanto 25% em volume, atenuou os efeitos negativos da extinção do Proálcool. A demanda continuada pelo etanol anidro incentivou os desenvolvimentos agrícolas e industriais, observados até os dias de hoje. Pode, inclusive, ter havido “incentivo” à redução dos custos do álcool como decorrência da redução observada no preço do petróleo nos anos subsequentes à extinção do Pró-álcool. No entanto, essa redução não foi decorrente de subsídios ou qualquer outro tipo de ação do governo brasileiro.

O etanol representa hoje 13,2% (em t.e.p.) do consumo de energia pelo setor de transporte rodoviário e 40,4% (em gasolina equivalente) do consumo total de combustíveis do ciclo Otto (que já chegou a representar 56,8% em 1988). O único país cujo volume de produção em termos absolutos rivaliza com o Brasil é os EUA, todavia seu consumo representa apenas 2,5% do consumo de combustíveis ciclo Otto²⁹.

Os produtos energéticos resultantes da cana representaram 13,8% da Matriz Energética Brasileira de 2005, posição ligeiramente superior à de 2004, quando este valor foi igual a 13,5%^{30,31}.

²⁸ Afetando também no setor automobilístico, através da drástica redução da produção de veículos movidos a etanol hidratado.

²⁹ International Energy Agency. Key World Energy Statistics, 2005. <http://www.iea.org/statist/index.htm>.

³⁰ “A produção de etanol em 2005, de 276,4 mil bbl/dia, representou um significativo aumento de 9,5% em relação à produção de 2004, quando foi verificado um aumento de apenas 1,2% em relação ao ano anterior. O consumo final de etanol manteve tendência de crescimento verificada em 2004, passando a 241,1 mil bbl/dia, o que é explicável pela crescente penetração dos veículos bicompostíveis.

O consumo térmico de bagaço de cana cresceu 4,6%, chegando a 106,5 milhões de toneladas, resultante, principalmente, crescimento da produção de álcool, já que a produção de açúcar não apresentou grande crescimento em 2005. Cerca de 75% do etanol produzido é proveniente do caldo de cana (rendimento próximo de 87 l/t de cana). Os restantes 25% têm origem no melaço, resultante da produção de açúcar (rendimento próximo de 325 l/t de melaço).” Fonte: BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL 2006 - ano base 2005”.

³¹ A participação dos derivados da cana-de-açúcar na oferta interna de energia renovável no Brasil passou de 31,0%, em 2005, para 32,2%, em 2006, praticamente igualando-se com a “hidráulica e eletricidade” entre as fontes renováveis, e representando 14,5 % da oferta interna de energia total. Devido ao forte crescimento das exportações de etanol em 2006, que alcançaram 3,43 bilhões de litros (um aumento de 50% frente ao período

O grande destaque das exportações do setor sucroalcooleiro na atualidade é o açúcar. A participação do açúcar brasileiro no mercado externo ocupa uma posição que o etanol brasileiro ainda nem sequer se aproxima. No entanto as perspectivas futuras são de que esse quadro venha a sofrer grandes alterações.³² As tabelas VII e VIII apresentam dados atuais e do início do Próalcool sobre a produção, o consumo interno e as exportações brasileiras de etanol.

(k) TABELA VII

Distribuição da produção – Comparação 2005/06 vs 1975/76

Ano/safra	2005/06	1975/76
Cana (milhões de tons)	386.67	91.52
Açúcar (milhões de tons)	26.06	6.02
Etanol (bilhões de litros)	15.92	0.56
% sacarose par etanol	51,0%	13,7%
% sacarose para açúcar exportação	31,0%	19,7%
% sacarose para etanol exportação	8,1%	0,0%

Fonte: DATAGRO, 2007. http://datagro.com.br/r_analise.php

(l) TABELA VIII

(m) Exportações 2005

Açúcar (milhões de toneladas)	18.16
Etanol (bilhões de litros)	2.89
Consumo de etanol	
Anidro combustível(bilhões de litros)	7.51
Hidratado combustível(bilhões de litros)	5.10
Uso industrial e doméstico(bilhões de litros)	1.02

Fonte: DATAGRO, 2007. http://datagro.com.br/r_analise.php

anterior), os “produtos da cana-de-açúcar” não alcançaram a primeira posição na OIE. Em termos de produção, em 2006 o resultado de “produtos da cana-de-açúcar” foi 17 % superior ao de “hidráulica”. Fonte: Brasil. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética - Balanço Energético Nacional 2007: Ano base 2006: Resultados Preliminares / Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro : EPE, 2007. Pág. 28.

³² “Dados da Datagro consideram que o avanço do álcool combustível no mercado interno contribui indiretamente para os resultados da balança comercial. A receita com exportações de açúcar e álcool chegou a R\$ 6,57 bilhões em 2007, queda de 15,4% sobre o ano anterior, de US\$ 7,77 bilhões. O resultado reflete os menores preços da *commodity* no mercado internacional. Em volume, os embarques de açúcar somaram 19,36 milhões de toneladas em 2007, 2,6% acima de 2006. Os de álcool subiram 2,3%, para 3,51 bilhões de litros”. *Mônica Scaramuzzo*. Valor Econômico, 31/01/2008.

Os desenvolvimentos agrícolas e industriais continuados elevaram a capacidade de esmagamento das usinas e a capacidade máxima das destilarias autônomas. Unidades com capacidade de esmagamento da ordem de 4.0 a 6.0 milhões de toneladas de cana colmo/ano e capacidades de destilação da ordem de 1.0 milhão de litros/dia, começam a ser comuns nos dias de hoje. A produção de energia elétrica, embora não amplamente disseminada já é parte integrante do desenho conceitual das novas usinas.

(n) 2.2 CARACTERÍSTICAS PREDOMINANTES

As usinas atuais não se tornaram, em termos de configuração ou equipamentos, muito diferentes de suas antecessoras, nem mesmo a destilaria autônoma. A grande diferença foi, de fato, o aumento da capacidade de produção e melhoramentos graduais no desenho, construção e desempenho dos equipamentos, que contribuíram para melhorar o aproveitamento do açúcar contido na cana. Na maioria das instalações o balanço térmico continua deficiente, com um consumo específico de vapor, especialmente na destilaria autônoma, muito acima daquele estimado por uma “otimização de processo”.

Uma unidade típica tem produtividade média, na fase agrícola, de 89,3 toneladas de cana por ha colhida e na fase industrial de 85 litros de etanol por tonelada de cana. Essa unidade apresenta uma produtividade global de 7.590,5 litros de etanol anidro por ha colhido. No entanto, a área colhida representa apenas 64% da área total ocupada pela unidade de produção, incluindo-se nela as áreas destinadas para reserva natural. O investimento por destilaria (2 milhões de toneladas de cana /ano)é de R\$ 280 milhões, sendo 205 na indústria e 75 na etapa agrícola.

2.3 A ETAPA AGRÍCOLA

Nas últimas décadas o desenvolvimento de espécies tem gerado resultados excepcionais para o setor sucroalcooleiro brasileiro. Através do uso de técnicas convencionais, mais de 500 variedades comerciais foram desenvolvidas. São variedades mais produtivas, mais resistentes às doenças, mais adaptadas a novos ambientes de produção com

maiores ou menores teores de sacarose ou celulose. No entanto, a tecnologia convencional é bastante demorada (aproximadamente 12 anos). Apesar de estar na vanguarda tecnológica, inclusive no desenvolvimento de espécies geneticamente modificadas, os mecanismos e leis para avaliação dos impactos ambientais não são ágeis, o que representa um entrave ao desenvolvimento deste setor.

Nas atividades de plantio e colheita são usados máquinas e implementos agrícolas tradicionais, tais como tratores, arados, grades e tanques com baixo grau de especificidade, semelhantes aos adotados em outras culturas. As máquinas específicas para a cana-de-açúcar são as colheitadeiras, os cultivadores e sub-soladores, entre outros.

Nas últimas décadas começaram a surgir empresas especializadas na atividade de prestação de serviços na etapa agrícola, tais como aplicação de insumos, atividades de solo e até mesmo colheita, de forma que nem sempre o produtor é dono da totalidade dos equipamentos que são utilizados na produção. Da mesma forma, empresas especializadas em manutenção do maquinário passam a ofertar serviços de reparo e reposição de maquinário (empréstimo) aos produtores. As principais empresas de máquinas e implementos agrícolas são Massey Ferguson, Valmet, New Holland, John Deer, Case e Caterpillar.

Outro insumo à etapa agrícola são os fertilizantes, cujos principais fornecedores são a Manah, Copas, Iap, Ipiranga, Solo Rico, Fertibras, Fertiza e misturadores regionais. Essas empresas oferecem serviços adicionais tais como análise de solos, formulação ideal, orientação técnica específica para cada propriedade, e eventualmente a própria aplicação do produto na propriedade.

A cana-de-açúcar tem elevada especificidade locacional o que determina as relações de interdependência entre a produção agrícola e a unidade de processamento. A atratividade do processamento da cana é determinada pela distância entre a produção agrícola e a unidade de esmagamento. Tanto pelos custos de transporte, quanto pelo tempo de transporte (conforme descrito adiante; a cana passa a perder qualidade depois de um certo tempo de colheita).

Normalmente uma unidade de esmagamento se relaciona com a produção agrícola de três formas diferentes e coexistentes na maioria dos empreendimentos³³:

- a própria usina é dona da terra – integração vertical;
- arrendamento da terra de produtores pela usina;

³³ É comum a distribuição entre os três tipos de fornecedores se dê em 1/3, 1/3 e 1/3.

- produtores especializados – fornecedores;

Nessa última relação, o produtor assume os riscos de condições climáticas, doenças e pragas, queima acidental do canavial, e ainda está vulnerabilizado pela programação do esmagamento, dado que existe o ponto ótimo de maturação da cana. A coordenação e o manejo dos canaviais próprios e de terceiros é fator que merece especial atenção. Desta forma, uma vez tomada a decisão de investir na cana-de-açúcar, o produtor estabelece uma relação de dependência com a usina localizada próxima ao canavial por um prazo mínimo de 5 anos. Em regiões com alta densidade de usinas, essa relação pode se inverter.

As variedades atualmente utilizadas têm um período útil de em torno de 10 anos, após o qual se inicia um processo de degenerescência atribuído a condições biológicas desfavoráveis tais como queda de fertilidade e condições físicas desfavoráveis do solo e efeito cumulativo de moléstias e pragas. A prática de alternar espécies³⁴ de cana em um mesmo solo aumenta a produtividade da cultura.

Esses aspectos da lavoura da cana-de-açúcar e suas inter-relações com as usinas demonstram a importância da racionalização dos diferentes processos de forma a obter sincronicidade com as operações de colheita e transporte respeitando a sofisticação do manejo dos canaviais e seu plantio. Usa-se, com frequência recursos de informática para o gerenciamento, simulação e o controle da produção agrícola. São grandes as atribuições e atividades gerenciais de planejamento e controle desta etapa da produção, dentre elas a gestão da frota de caminhões, tratores, colhedoras e implementos, a racionalização das atividades das frentes de corte, avaliação de desempenho, maximização da quantidade de açúcar por área plantada, entre outras.

Existe grande variabilidade nas produtividades obtidas nas diversas regiões produtoras do país. Observa-se que as melhores produtividades são obtidas por usinas que dispõem de equipes técnicas próprias ou assessorias com larga experiência. A especialização no manejo de variedades, adubação e tratamentos culturais mais aprimorados garantem condição otimizada aos empreendimentos.

A composição básica das canas³⁵ é:

Caldo absoluto:	de 83 a 92%
Fibras:	de 17 a 8%

³⁴ A sigla que designa uma espécie corresponde ao nome da estação experimental do país ou região seguida do número de ordem que localiza o ano de obtenção da variedade e o número do experimento.

³⁵ Composição química do substrato do colmo. Fonte: Álccol Carburante, Lima, Leo Rocha.

A qualidade da cana está relacionada à quantidade de sacarose que ela contém. Esse é um atributo muito importante da matéria-prima que será processada nas usinas. Nos colmos estão contidos 75 a 80 % do caldo. A riqueza de sacarose da cana no Brasil (média obtida em São Paulo) é de 13 a 18%.³⁶ Os açúcares redutores (glicose e frutose) são substâncias que facilitam a recuperação da sacarose, pois diminuem sua solubilidade. A presença destes açúcares em quantidades anormais indica que a cana não atingiu a maturação plena ou está deteriorada. Atualmente a sacarose é o principal componente orgânico tanto para a produção do açúcar quanto do etanol.³⁷

O Período Útil de Industrialização da cana – PUI é o espaço de tempo que uma variedade de cana é capaz de se manter em condições de ser industrializada³⁸. Canas de precocidade média atingem o teor mínimo entre julho e agosto. Existem variedades de PUI curto (atingem o teor mínimo precocemente e declinam rapidamente) e tardio. A adoção de uma combinação destas variedades de forma racional permite o fornecimento da matéria prima às usinas com a regularidade necessária. Desta forma é possível dispor de cana em grau de maturação ótimo para a colheita, durante todo o período da colheita.

O ciclo da cana está dividido entre dois períodos distintos: o do crescimento vegetativo e o de armazenamento da sacarose. Vários fatores influem na maturação da cana, entre eles: o clima (temperatura e umidade relativa do ar – em climas quentes e alta umidade relativa do ar a cana se desenvolve vegetativamente, em baixas temperaturas e umidade a cana atinge a maturação por paralisação do crescimento, ocorrendo o aumento da sacarose e diminuição dos açúcares redutores); o solo (solos porosos, secos e bem drenados oferecem amadurecimento mais rápido que solos compactos e úmidos – a adubação nitrogenada, ou aplicação de vinhaça, pode retardar a maturação).

Regiões adequadas para o cultivo são aquelas em que a temperatura seja entre 21 a 23°, com luz e umidade (mínima de 1200mm anuais, sendo a maior parte na época do crescimento) abundantes. Condições diferentes dessas são necessárias no período de maturação, colheita e transporte. Onde não há deficiência hídrica, é necessário que a temperatura média diária seja inferior a 21°C nos três ou mais meses de maturação. Nas

³⁶ “A produtividade média da região Centro-Sul é bem superior à da região Norte-Nordeste, 80 toncana/há e 55 toncana/há, respectivamente. Nas regiões de várzeas nordestinas essa produtividade pode chegar a 140 toncana/há”.

³⁷ Conforme será descrito adiante, novas tecnologias poderão viabilizar industrialmente a produção de etanol a partir da celulose contida no bagaço, resultando no desenvolvimento de espécies com teores de sacarose/celulose diferenciados.

³⁸ Totaliza o intervalo de tempo no qual ela atinge o teor mínimo de sacarose somado a um período de 160 a 210 dias. Este é o período da safra agrícola e da produção industrial.

regiões onde haja necessidade de irrigação, esta é suspensa 30 a 60 dias antes do provável corte.

A maturidade da cana (do canavial) é medida através dos seguintes índices:

Brix (porcentagem mínima de sólidos solúveis no caldo):	18
Pol (porcentagem mínima de sacarose aparente no caldo):	14,4 – início da safra 15,3 – durante a safra
ART (porcentagem máxima de açúcares redutores – glicose e frutose)	1,5 – início da safra 1,0 – durante a safra
Açúcar provável (mínimo)	10,4 – início da safra 11,4 – durante a safra

A composição do caldo de cana madura é a seguinte:

(o) Componentes	Variação %
Brix	18,0 - 25,0
Açúcares (sacarose, glicose e frutose)	12,0 - 18,0
Não açúcares (proteínas, aminoácidos, vitaminas, gorduras, ceras, corantes, ácidos orgânicos, etc.)	0,80 - 1,80
Sais minerais (sílica, sódio, potássio, cálcio, magnésio, fósforo, ferro, etc.)	0,80 - 2,00

O plantio da cana nos estados do Centro-Sul se dá tanto nos meses de janeiro a março quanto nos meses de setembro a outubro. Em Pernambuco ela acontece de junho a setembro e em Alagoas, de setembro a dezembro. Em todas as regiões a primeira colheita é prevista para 16 a 18 meses. Após isso acontece a rebrota, seguida da soca e ressoça. A safra agrícola dura aproximadamente 7 meses e acontece na região sul entre maio e novembro, no norte/nordeste de setembro a abril. O aprimoramento genético das espécies e o manejo dos canaviais tem tornado possível estender o período da safra. . Cabe aqui ressaltar que as condições descritas

acima não são observadas na Amazônia de forma que a exploração econômica da atividade canavieira em larga escala dependeria do desenvolvimento de variedades adaptadas às condições climáticas e aos solos daquela região.

As atividades de preparo do solo são: sulcamento (25 a 30 cm com 1,30 a 1,5 m), correção do solo (pH deve ser maior que 5,5 – correção com calcário), adubação, plantio (colmos despalhados e desinfetados com 12 a 14 meses de idade cortados em toletes de 3 a 4 gemas), tratos culturais, combate e prevenção de pragas e moléstias.

A produtividade média de um canavial é definida em função da variedade de cana plantada, do clima, do solo e das técnicas cultivares. A produtividade média dos canaviais do nordeste brasileiro é de 55 a 60 toneladas por hectare, já na região centro-sul, a produtividade atinge até 90 toneladas por hectare ano.

Colheita da cana

A colheita manual requer tratamento prévio, seja pelo despalhamento manual (atividade raramente praticada) ou pela queima do canavial. Já foram desenvolvidas variedades de cana que perdem uma parte das folhas, quando maduras, facilitando a colheita manual.

O corte da cana deve obedecer a certas técnicas quando este é feito na parte superior (ponta) e na parte inferior (base do colmo); a ponta deve ser cortada na altura da primeira folha verde. A ponta tem baixo teor de sacarose e alto teor de gomas, sais, etc. Já a base do colmo deve ser cortada o mais rente possível do solo para melhor aproveitamento da planta, e principalmente, para melhor brotação da soqueira e facilitação do combate a pragas.

O processamento industrial da cana queimada para produção de açúcar pode ter aspectos negativos: as mudanças em sua composição devido às altas temperaturas. Na etapa de clarificação do açúcar, o caldo produz mais lodo, consumindo maiores quantidades de cal (10 a 15%), e sofrendo algumas alterações na coloração final. Para a produção do etanol recomenda-se que a cana queimada seja processada em, no máximo, 24 horas.

O combate às queimadas, todavia, é motivado por questões sociais e ambientais. As condições de trabalho nos canaviais são alvo de severas críticas. A emissão de poluentes, como CO² e particulados também representa um aspecto bastante negativo, já motivando, inclusive, o surgimento de legislação específica estabelecendo prazos para eliminação desta prática. Um outro aspecto que contribuirá para a eliminação das queimadas é a perspectiva de

utilização em larga escala da palha para a produção de energia, tanto na forma de bioeletricidade, quanto na forma de etanol.

Após a colheita da cana crua, a palha pode permanecer no campo por alguns dias. Deixar toda a palha colida no solo pode provocar queimadas acidentais ou retardar o período de rebrotamento. Especialistas recomendam a retirada de 50 a 90% da palha. Deixar uma parte no campo trás vantagens agronômicas no controle de ervas daninhas e da fertilidade do solo.

Ainda pouco empregada no Brasil, exceto do estado de São Paulo, a colheita mecanizada provavelmente dominará o cenário da colheita no futuro. O quadro atual revela a prática insipiente desta modalidade de colheita. Estimativas indicavam a existência de apenas 600 máquinas na safra de 2004-2005³⁹.

O sistema de colheita mecânica deve atender às condições das plantações, tais como relevo e solos (com pedras e socos, solos secos e úmidos). Não há oferta de implementos agrícolas adequados à lavoura tropical. Desta forma, as soluções disponíveis necessitam sofrer adaptações às condições brasileiras.⁴⁰

O sistema de colheita adotado no Brasil atualmente é o sistema australiano de colheita de cana picada. As duas restrições principais desse sistema de colheita são suas incompatibilidades com o plantio direto e sua incapacidade de colher eficientemente a palha, com qualidade e custo atrativos para sua integração ao processo de produção de etanol. Além disso, a incapacidade da colhedora operar em terrenos com inclinação superior a 12% determina que a expansão da cana-de-açúcar deva acontecer em áreas planas. Além disso, a cana obtida a partir desse processo de colheita apresenta perdas de matéria-prima, baixa qualidade da matéria-prima (palha e terra) Apesar de exigirem elevado investimento os equipamentos apresentam baixa estabilidade direcional e ao tombamento e causam danos às soqueiras e ao solo. O tráfego intenso dos equipamentos de colheita e transporte nas entrelinhas de plantio representa, também, uma restrição importante deste sistema de colheita.

A implementação da colheita mecanizada requer o emprego de mão de obra qualificada. Em regiões onde não há oferta desta mão de obra são necessários anos de treinamento para a obtenção da produtividade esperada⁴¹. A capacidade média de

³⁹ Fonte O uso da Biomassa para produção de energia na indústria brasileira – p. 221.

⁴⁰ Existem dois conceitos de colheitadeiras para cana. O princípio da cana picada, desenvolvido na Austrália e o sistema de colheita inteira, desenvolvido na Louisiana. Outros países que usam colheita mecanizada utilizam derivações destes princípios.

⁴¹ “A Usina São Martinho, no interior de São Paulo, ultrapassou a produção de 600t/máquina/dia, devido principalmente ao emprego de mão-de-obra qualificada e à infra-estrutura adequada, enquanto a Usina Santa Helena, no interior de Goiás, após seis anos de operação, obteve um rendimento médio de 400t/máquina/dia”.

colheitadeiras em condições favoráveis de terreno, chega a 70 toneladas por hora.

A colhedoras de cana crua apresentam um rendimento diário 30 a 40% inferior quando operam em canaviais não queimados. Como consequência, há relatos da prática de colheita mecanizada da cana queimada, respeitando-se, nesses casos, apenas um raio mínimo em torno das cidades.

Várias rotas têm sido estudadas na busca de soluções de colheita que permitam o recolhimento da palha⁴². São elas:

- colheita de cana picada sem queimar, com o sistema de limpeza da colhedora funcionando normalmente; enfardamento da palha que fica no chão e transporte dos fardos para a usina;
- colheita de cana picada sem queimar, com os ventiladores do sistema de limpeza desligados; transporte da palha junto com a cana para a usina; separação da palha na estação de limpeza de cana a seco na usina;
- colheita de cana picada sem queimar, com o ventilador principal da colhedora operando e rotação reduzida e o ventilador secundário desligado; parte da palha é transportada com a cana para a usina; separação da palha na estação de limpeza da cana a seco na usina.

Na Tabela IX, abaixo, são apresentados dados técnicos e custos associados às três alternativas descritas acima.

(p)

(q) **Tabela IX**

Dados Técnicos e Custos Associados - Colheita de Cana Picada

	Alternativa 1 Enfardamento	Alternativa 2 Sem limpeza	Alternativa 3 Limpeza parcial
Transporte	9,61	23,23	2,74
Perda de produtividade	2,41	-	-
Custo de oportunidade da palha no campo	5,59	5,37	6,50
Separação na esteira de limpeza	-	2,79	3,69
Processamento	0,98	0,85	1,14
Impactos na indústria	-	-1,13	0,37
CUSTO TOTAL (US\$/t, base seca)*	18,49	31,12	13,70
CUSTO TOTAL (US\$/GJ)	1,06	1,79	0,79
Quantidade de palha posto usina (Kg/t)	**90	95	70

(*) PCS, base seca

(**) kg palha seca/t cana

Fonte : CTC³⁸

⁴² ESALQ (Piracicaba), FEAGRI/UNICAMP e CTC Fonte:CGEE.

Na rota do enfardamento a palha é amontoada em fileiras contínuas depois de secar no campo. Para ser transportada às usinas ela deverá ser enfardada. Estão comercialmente disponíveis dois tipos de enfardadeiras: de fardos cilíndricos e circulares, capazes de compactar numa densidade entre 150 e 200 kg/m³.

Os custos operacionais desta atividade são determinantes para a adoção da palha como insumo às usinas⁴³. O desenvolvimento de implementos agrícolas que aumentem a operacionalidade desta atividade é de grande importância para o setor. Esse desenvolvimento não tem sido prioridade dos fabricantes de implementos agrícolas em função da alta produtividade da cultura da cana por hectare em comparação com outras culturas. Por exemplo, a quantidade colhida por área cultivada com grãos é bastante inferior à cana-de-açúcar o que resulta em tamanhos das áreas cultivadas/ colhidas bastante superiores ao da cana e em maior necessidade de aumento da produtividade na atividade da colheita.

No futuro os equipamentos deverão eliminar a condição de pisoteio intenso, praticado atualmente na colheita mecânica. Serão adotados sistemas alternativos, envolvendo, por exemplo, técnicas de controle de tráfego, cujo desenvolvimento e implantação não demandam pesquisa de fronteira e são factíveis a partir da engenharia e da capacidade atual de investimento por parte do setor canavieiro.

Num primeiro estágio (possivelmente se efetivando até 2015) serão desenvolvidas colhedoras-2L com corte simultâneo de duas linhas, de forma a reduzir o pisoteio a 50% do valor atual e elevar a restrição topográfica de 12% para 22%, aproximadamente. Num segundo estágio (este se efetivando até 2025), serão introduzidas estruturas de tráfego controlado (ETC's) com bitola extra larga, de 20 a 30 m, com restrição topográfica da ordem de 40% e que viabilizam a introdução da técnica de plantio direto. A Tabela X sistematiza as alternativas de colheita e sua expectativa de adoção no futuro.

(r)

⁴³ O custo das alternativas à palha são: US\$2/GJ para o carvão e US\$3,00 para o gás natural e o óleo combustível. O custo da palha na usina próximo a US\$1,00/GJ a torna extremamente competitiva como fonte geradora de energia.

(s) TABELA X

Relação dos principais equipamentos utilizados na produção da cana-de-açúcar no cenário atual e previsão de sua inserção para 2015 e 2025

Atividade	2007	2015	2025
Preparo do solo	- Calagem - Subsolagem - Gradagem - Adubação	- Subsolagem	- Nulo
Plantio	- Sulcação, adubação e cobertura mecânica - Distribuição manual de mudas	- Plantio mecanizado 2L	- ETC com módulo de plantio direto 4L
Tratos Culturais	- Cultivo triplice operação 2L	- Cultivo triplice operação 3L - Pulverizador autopropelido 24 m	- ETC com módulo de cultivo 4L
Colheita	- Manual (70%)- Mecânica picada 1L	- Mecânica picada 2L	- ETC com módulo de colheita 2L
Transporte	- Treminhão	- Rodotrem	- Rodotrem

L: Linhas de plantio, trato cultural ou colheita sendo processada em cada passada do equipamento.

Relacionada à questão da colheita manual da cana-de-açúcar e da maior importância para a competitividade futura do etanol brasileiro, as condições de trabalho na lavoura são objeto de severas críticas ao setor sucroalcooleiro. A cana-de-açúcar é uma das atividades agrícolas que mais gera emprego por unidade de área cultivada. A perspectiva de certificação dos biocombustíveis quanto às questões sócio-ambientais exerce pressão para a adoção de mecanização na lavoura de cana, reduzindo os atritos com a sociedade civil organizada.⁴⁴ A contrapartida dessa tendência será a redução do número de empregos gerados. Desta forma, a transição da colheita manual para a mecanizada deve ser objeto de planejamento e controle por parte das autoridades competentes. O vigoroso aumento da produção de cana em novas regiões do país pode vir a resultar na absorção da mão-de-obra eliminada caso sejam concebidas e implementadas políticas de planejamento da expansão e treinamento da mão-de-obra.

⁴⁴ “.. o Centro de Tecnologia Canavieira avaliou o impacto da colheita da cana sem queimar sobre a mão-de-obra. Para uma situação futura, com 100% de mecanização em São Paulo e 50% no restante do país, haveria uma redução de 165mil empregos em relação ao sistema de corte totalmente manual. Este processo está em curso. Por outro lado, a utilização da palha como fonte energética, poderá gerar aproximadamente 12 mil novos postos de trabalho na área agrícola, na alternativa de uso de enfardadoras”. Fonte: *A energia da cana de açúcar* – p. 222.

Transporte da cana às usinas

O transporte da cana às usinas/destilarias é realizado através de caminhões especialmente projetados para o trabalho; com capacidades que vão de 8 a 15 toneladas podendo atingir até 25 toneladas.

As usinas normalmente são dotadas de duas balanças que se prestam à pesagem do caminhão carregado e após o descarregamento para obtenção da tara.

A descarga pode ser manual, por guindastes variados (rotativos, sustentados por cabos, entre outros), plataformas basculantes, plataformas hidráulicas (tombamento do veículo). Também muito utilizados são os veículos com carrocerias basculantes, dotados de pistões hidráulicos nos chassis.

O abastecimento às usinas e destilarias deve ser ininterrupto, mas o transporte da cana do campo para os pátios só acontece durante o dia, com implicações na estimativa do tamanho do pátio visando a armazenagem da cana que será processada à noite.

2.4 A ETAPA INDUSTRIAL

Há grande heterogeneidade nas configurações industriais existentes no Brasil na atualidade. Nas configurações onde se produz açúcar e etanol, é possível escolher que volumes serão produzidos em cada subsistema, adequando-se a produção às condições de mercado. Devido a essa flexibilidade há ainda no Brasil muitas usinas anexas.

O processo produtivo de uma Usina Padrão (Anexa) é composto de 8 subsistemas produtivos, apresentados no Quadro II:

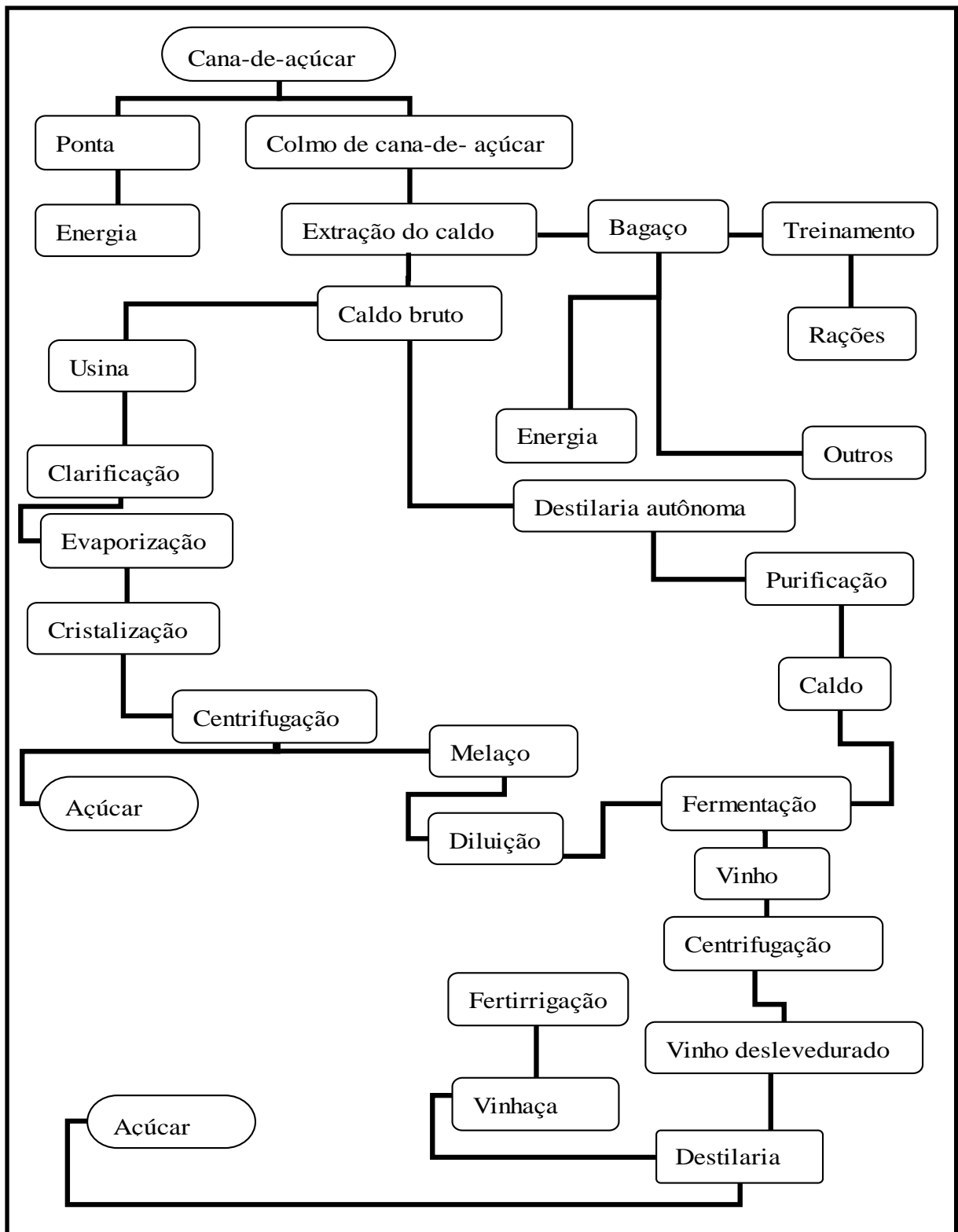
Quadro II

SUBSISTEMA	EQUIPAMENTOS
Extração (Lavagem, Preparo e Moagem)	2 conjuntos de facas
	Desfibrador
	1 tandem de 6 ternos de moenda

Continua...

....Continuação

Tratamento do Caldo para Açúcar e etanol	Desacerador
	Peneira
	Coluna de sulfitação (somente pra produção de açúcar)
	Tanque de dosagem
	Aquecedor (somente para a produção de açúcar)
	Decantador
	Filtro rotativo
Evaporação	1 pré-evaporador
	Evaporador de 4 efeitos
	3 Cozedores de açúcar de primeira, todos de 50 ton cada
Cozimento e Secagem de Açúcar	1 Cozedor de açúcar de segunda, de 50 ton
	Cristalizadores de açúcar de primeira e de segunda
	Centrífugas descontínuas de açúcar de primeira
	Centrífuga contínua de açúcar de segunda
	Misturador de magma
	Tanques de aquecimento de xarope
	Secador de açúcar
	18 Dornas de fermentação de 500m3 cada
	Colunas de lavagem de gases
Fermentação	Centrífuga
	Dorna volante
	Cuba para tratamento de fermento
Destilação	3 conjuntos para tratamento de etanol hidratado , cada um de 120 m3/dia, constituídos por coluna de concentração de cabeça, coluna de depuração do vinho, coluna de esgotamento, coluna de retificação e trocador de calor da vinhaça
	3 conjuntos para produção de etanol anidro, cada um de 120m3/dia, constituídos pelos mesmos equipamentos do conjunto para produção de etanol hidratado mais coluna de desidratação, coluna de debenzolage e resfriador
Turbogeração	4 grupos de geradores com capacidade de geração de energia elétrica de 1200kW cada, sendo de reserva
Geração de Vapor	
	6 caldeiras geradoras de vapor com capacidade de 40 ton.Vapor /h cada
	Turbo bomba para água de alimentação da caldeira
	Tanque de recuperação do condensado



Estocagem da cana

A cana-de-açúcar é uma matéria-prima altamente perecível. Após sua colheita se iniciam processos bioquímicos e microbiológicos que provocam a sua decomposição e modificações indesejáveis em sua constituição. Os fatores que influenciam esse processo são: a variedade da cana, o estado de maturação, condições climáticas, o estado de sanidade dos colmos, métodos de colheita, geadas, ressecamento, dos colmos, perdas por inversão⁴⁵ e desenvolvimento de microorganismos. A inversão da sacarose ocorre devido à combinação de três fatores: acidez do caldo, temperatura e presença de invertase o que resulta na diminuição gradativa da sacarose que se hidrolisa, gerando glicose e frutose. Por esse motivo a cana-de-açúcar deve ser processada o mais rápido o possível.

Limpeza da cana

Impurezas minerais e vegetais são trazidas à usina junto com a cana. Os teores de impurezas dependem de vários fatores, desde o método de colheita, até o tipo de solo, variando também ao longo do período de colheita. A quantidade de impurezas contida na cana varia de 8 a 12% (solo e fuligem) aumentando no período chuvoso para 15%. É necessário remover estas impurezas pelos problemas que elas causam ao processo produtivo, à qualidade do produto final e à manutenção dos equipamentos.

A cana é conduzida para a limpeza com auxílio de esteiras de transporte. Dois métodos de limpeza estão disponíveis comercialmente: a lavagem e a limpeza a seco.

O volume de água de lavagem é aproximadamente 4 a 6 metros cúbicos por tonelada de cana hora (TCH). Algumas usinas atingem 12 a 15 metros cúbicos de TCH. A lavagem pode ser fria ou quente (aproveitando água dos condensadores) e a água resultante deve ser tratada (peneiramento, floculação e decantação). Como cada vez mais os projetos buscam incorporar práticas ambientais mais desenvolvidas, há uma tendência a reduzir a adoção da lavagem da cana-de-açúcar, substituindo-a pela limpeza a seco.

⁴⁵ Quím Hidrólise de certos carboidratos, como a sucrose, que resulta na inversão de dextrogira em levogira, ou vice-versa, da solução de carboidrato.

Preparo da cana para extração do caldo

Consiste da desintegração do colmo e rompimento das células, para a subsequente extração do caldo. Com o auxílio de facas rotativas e desintegradores (desfibradores), a cana é preparada para a moagem visando o aumento da capacidade de extração das moendas (aumento da densidade da massa de alimentação, que se torna mais compacta e homogênea); rompimento da estrutura da cana tornando a extração mais fácil e eficiente; e produção de um bagaço mais eficaz (pela ação da embebição).

Algumas configurações adotam um rolo de pressão para empurrar a cana para os rolos de moagem, o que contribui para um melhor preparo, favorecendo a moagem.

Em sistemas bem utilizados, a operação de preparo e moagem da cana pode elevar o rendimento da extração a 90 a 95%.

Extração do caldo

A extração do caldo da cana constitui a primeira etapa básica na fabricação do açúcar e na produção do etanol podendo ser realizada através da moagem ou da difusão.

A difusão é pouco adotada no Brasil apresentando vantagens e desvantagens em relação à moagem. Esse sistema é muito difundido na África do Sul. O caldo resultante da difusão é mais limpo e o processo consome menos vapor de alta pressão em seus acionamentos. Seu rendimento é superior ao da moagem e seus custos de manutenção são inferiores. Em contrapartida, o investimento inicial (custo de capital) nessa alternativa é superior.

Um terno de moenda é constituído de três cilindros que são dispostos de forma que seus eixos formam um triângulo isósceles. Esses cilindros possuem ranhuras que visam o aumento da superfície útil de contato, podendo variar o perfil da ranhura de projeto em projeto.

No primeiro terno de moenda obtém-se normalmente uma extração de 50 a 70% do caldo. O bagaço resultante é embebido e sofrerá tantas compressões quanto forem necessárias. As configurações mais comuns de usinas adotam três ternos de moenda em seqüência.

As versões atuais de moendas sofreram uma série de modificações em relação a seu projeto original, baseado em moendas sulafricanas. Entre elas estão o reprojetado dos castelos de moenda (para suportar maiores esforços mecânicos decorrentes do aumento da capacidade), projeto de mesa a 45°, espalhador e correias transportadoras e alta velocidade

(para melhorar a uniformidade do colchão de cana), introdução da calha Donnelly (para criar uma coluna de cana desfibrada na entrada da moenda), automação dos ternos (permite ajustar a rotação dos rolos do terno à quantidade de cana alimentada). Essas modificações resultaram no aumento da eficiência de extração das moendas de 91,0-93,0 no projeto original para 97,0-97,5 nos projetos atuais.

Existe um *trade off* nos projetos e em alguns parâmetros operacionais das moendas. Velocidade e volume de extração são divergentes com o rendimento da atividade. Desta forma é comum, em momentos de pico de produção, através de ajustes no equipamento, privilegiar o volume de cana processado em detrimento do rendimento desta etapa da operação.

O caldo de cana obtido ao final da etapa de moagem é um dispersóide constituído de materiais em todos os graus de dispersão, contendo desde partículas grosseiras até íons solúveis. As dispersões grosseiras (bagacilhos, areia, terra e gravetos – encontrados em quantidades inferiores a 5%) são separadas através de sistemas de peneiramento. As dispersões coloidais (graxas, ceras, proteínas tanino, materiais corantes, colóides resultantes de microorganismos – encontrados em quantidades que variam de 0,05% a 3%), as dispersões moleculares (e iônicas (fosfatos e silicatos, sulfatos, íons Ca, Mg, K, Na) são separadas utilizando-se processos de clarificação. O principal componente orgânico contido no caldo da cana é a sacarose, cuja constituição varia de 8 a 21%).

São vários os tipos de peneiras empregados no processo de purificação do caldo: peneiras de malha (1,0 milímetro de diâmetro), peneiras estáticas, vibratórias ou rotativas. Um segundo peneiramento pode ser feito em peneiras hidrodinâmicas, sendo finalizado o tratamento físico do caldo com a sedimentação em hidrociclones.

Para a produção do etanol é necessário que o vinho que chega à etapa de destilação tenha alto teor alcoólico (acima de 8,5° GL, preferencialmente 10-11° GL). Com esse objetivo, ainda na etapa da preparação, parte do caldo é concentrado em evaporadores (de múltiplo efeito, de filme descendente, de placas ou de névoa turbulenta) resultando num xarope que é retornado ao caldo. O mosto terá, então o teor de açúcares requerido.

Há espaço para avanços tecnológicos no tratamento mais exaustivo do caldo. Já existem estudos que definem os parâmetros técnicos para esse que seria um processo físico-químico mais rigoroso. Esse novo processo precisa ainda ser validado em uma unidade semi-industrial. Uma vez desenvolvido em escala industrial será necessária adaptação em todo o circuito até a fermentação (válvulas, tubulações e acessórios) que evitem a reinfecção do mosto após seu resfriamento.

Após a limpeza do caldo iniciam-se os procedimentos de controle produtivo com o uso de balanças especiais e de medidores de fluxômetros de massa para caldos. O objetivo é controlar o início do processo produtivo, determinar os valores que serão monitorados durante a produção (medição das perdas, por exemplo); produzir dados que serão utilizados no monitoramento da usina durante a safra; controlar o processo produtivo de caldo em relação ao material que entrou na usina. Em particular, a concentração de sacarose deve ser acompanhada.

O bagaço

O bagaço é um subproduto resultante da moagem e é constituído de fibras de celulose. Ele representa cerca de 220 a 260 quilos por tonelada de cana moída. Ao sair das moendas contém entre 45 e 50% de umidade residual.

O poder calorífico do bagaço é em torno de 1650 quilocalorias por quilograma, de forma que, para cada tonelada de cana moída (250 quilos X 1650 quilocalorias/quilo) obtém-se 412.500 quilocalorias (isso representa de 40 a 42 quilos de óleo pesado de petróleo que seria queimado nas caldeiras (o óleo combustível pesado possui 10.250 quilocalorias por quilograma)).

A composição química do bagaço de cana é:

Carbono – C	47%
Hidrogênio – H	6,5%
Oxigênio – O	44%
Cinza	2,5%

De grande importância para a co-geração de energia, o uso bagaço será discutido adiante.

Fermentação

A fermentação alcoólica é um processo biológico em que ocorre a ação de leveduras sobre açúcares fermentáveis contidos em uma solução ou suspensão e resulta na produção do

etanol. O que acontece é a conversão de açúcares redutores (D-glucose) em etanol, com produção de etanol e gás carbônico simultaneamente.

Leveduras são fungos unicelulares utilizados na produção de etanol e se dividem basicamente entre duas espécies: *Saccharomyces cerevisiae* e *Saccharomyces pombe*. Na produção do etanol a seleção da levedura deve respeitar alto controle tecnológico visando o bom rendimento industrial. Entre os aspectos que são influenciados pela qualidade da levedura destaca-se a produtividade da fermentação, o rendimento do etanol, a tolerância das mesmas ao etanol, à temperatura, à contaminação e ao baixo pH.

Em condições de trabalho reais o rendimento teórico é reduzido pela ocorrência de reações secundárias (esterilização e oxidação) e contaminação (consumo de parte de açúcares por microrganismos contaminantes) o que resulta no rendimento real máximo de 95%. Nas destilarias industriais (tecnicamente bem conduzidas) o rendimento obtido é de 60 litros de etanol por 100 quilos de sacarose, chegando em alguns poucos casos a 61 litros. Dois processos são mais difundidos nas usinas atuais: fermentação em batelada alimentada com reciclo e reativação de fermento (Melle Boinot) e a fermentação contínua múltiplo estágio com reciclo e reativação de fermento.

Na etapa de fermentação o controle sobre as condições físico-químicas do meio fermentativo é de extrema importância.

O efeito da concentração do açúcar no mosto sobre a taxa de produção de etanol deve ser monitorado de forma que concentrações muito baixas (menor que 3g/l) não permitem o desenvolvimento de leveduras, caindo a produtividade. Altas concentrações inibem as enzimas do processo resultando em taxas de conversão reduzidas. O etanol é um elemento tóxico para as leveduras devendo ser sua concentração mantida abaixo dos 20g/l.

A produção alcoólica é resultado das reações anaeróbicas. A oxigenação excessiva prejudica a produção de etanol uma vez que atua apenas na reprodução de células (processo aeróbio) da levedura.

No processo fermentativo há intensa liberação de energia térmica. Após 12 a 15 horas de fermentação atinge-se o ponto crítico, onde o calor do meio é mais alto. A temperatura deve, então, ser controlada e mantida abaixo dos 30 - 32°C evitando a degradação das enzimas que fazem parte do processo de fermentação.

Um aspecto adicional no incremento do rendimento da fermentação é o meio nutricional que o mosto apresenta para as leveduras. Existem meios sintéticos que, uma vez adaptados às leveduras em culturas contínuas, resultará em alta produtividade e rendimento.

Nutrientes podem funcionar como agentes de crescimento da levedura (sais minerais, vitaminas, botina) e de rendimento do etanol (tiamina e piridoxina).

Antes da fermentação procede-se à pré-diluição do caldo até que se atinja a concentração ideal e correção do pH resultando no mosto⁴⁶.

O processo fermentativo é realizado em dornas de fermentação com refrigeração externa (trocadores de tubos e cascos ou trocadores de placas) ou interna (por meio de serpentinas), fabricadas com chapas de aço comum e com volume de até 300 metros cúbicos. A vida útil deste equipamento é de 15 a 20 anos. A implantação de destilarias em novas regiões, e a virtual operação em novas condições ambientes de temperatura e umidade (variando inclusive durante o dia, a safra e a região) podem significar a necessidade de desenvolvimento de sistemas de refrigeração mais eficientes.

O volume de cada dorna e a quantidade de dornas a serem adotadas em cada usina deve ser balanceado com a capacidade da destilaria.

A levedura é obtida através da centrifugação do vinho da fermentação anterior, ou obtida comercialmente (e multiplicada em laboratório pela própria usina). Antes de ser enviada a uma nova dorna, a levedura é tratada com ácido sulfúrico e nutrientes. As centrífugas e os tanques de tratamento das leveduras são de aço inoxidável.

A contaminação de leveduras representará prejuízo significativo ao processo de produção de forma que a assepsia das dornas e todo o sistema de limpeza e higienização devem ser rigorosos e controlados. A assepsia dos meios de cultura pode ser controlada pela desinfecção e pela esterilização. A desinfecção é resultado da aplicação de produtos químicos com o objetivo de evitar a contaminação por microorganismos estranhos ao meio, sem afetar aqueles microorganismos que devem fazer parte da fermentação. Dentre os anti-sépticos de emprego mais comum estão o H^2SO^4 , o formol, a H^2O^2 , KMnO^4 e o fenol. A esterilização destrói a totalidade das células bacterianas e realizadas através de vapor úmido, calor seco, filtração bacteriológica, radiação, pasteurização.

Além da qualidade da levedura, de seu ambiente e temperatura, alguns aspectos técnicos adicionais podem influenciar a produtividade nesta etapa de produção do etanol. A velocidade de fermentação pode ser aumentada de 30 a 40% pela adoção de sistemas de agitação, cuja movimentação não deve ser turbulenta. Além disso, os fermentadores podem

⁴⁶ O mosto também pode ser obtido a partir do melaço de cana, um subproduto da industrialização do açúcar, da ordem de 35 a 60 quilos por tonelada de cana processada. O melaço é diluído em água até atingir a concentração e 15 brix, a seguir é esterilizado com vapor d'água vivo e tem seu pH corrigido para 4,0 a 4,5. A partir daí ele segue para a fermentação onde é processado nas mesmas condições que o mosto obtido a partir do caldo da cana.

ser ligados a um sistema de lavagem de CO² (coluna de lavagem) que permite a recuperação do etanol arrastado pelos gases (da ordem de 1% do volume de produção diária).

O conjunto de equipamentos que compõem a etapa da fermentação é constituído, além das dornas de fermentação e das centrífugas, já citadas, por um pré-fermentador em aço inoxidável, um tanque para ácidos (clorídrico e sulfúrico), um tanque de dissolução de melaço, um tanque para antiesumante, um tanque para detergente, um tanque de diluição de produtos químicos (nutrientes), compressor de ar, filtro biológico e sistemas auxiliares (bombeamento, transporte, controle).

Em resumo, os pontos críticos da etapa da fermentação são:

- Aumentar o grau alcoólico do vinho final;
- Controlar a floculação do fermento;
- Estabelecer as bases de um tratamento de reativação de fermento efetivo;
- Estabelecer um processo de tratamento de caldo e inativação térmica do mosto;
- Melhorar o projeto das instalações de fermentação introduzindo conceitos sanitários;
- Desenvolvimento de linhagens de levedura de melhor performance;
- Redução do consumo de ácido sulfúrico e desenvolvimento de alternativas para eliminação da dosagem de ácido sulfúrico;
- Eliminação do emprego de antibióticos ou biocidas;
- Introdução da separação centrífuga do fermento em dois estágios, com lavagem intermediária com água;
- Operação da fermentação a temperaturas de 32° C;
- Desenvolvimento de sensores em tempo real para melhorar o controle operacional da fermentação.

Alternativas de processos fermentativos; têm sido objeto de pesquisa⁴⁷ sem que se tenha até o momento obtido resultado que comprove sua viabilidade técnica e econômica. Entre eles: processos empregando leveduras floculantes (Alcon e Uhde), o Biostil (permitiria a redução do volume de vinhaça gerado para 1 a 4 litros por litro de etanol), processos empregando leveduras imobilizadas, processos empregando leveduras geneticamente

⁴⁷ Centro de Tecnologia Canavieira, UNICAMP, CPQBA – Centro Pluridisciplinar de Pesquisas Químicas, Biológicas e Agrícolas - UNICAMP

modificadas, processos com reciclo de fermento, processos com fermentação alcoólica empregando bactérias em substituição das leveduras. Também no processo de resfriamento algumas pesquisas buscam alternativas, mas ainda não há tecnologia que substitua eficientemente os trocadores a placas.

Ao final da etapa de fermentação, o mosto, rico em etanol passa a ser chamado de vinho. O vinho, contendo usualmente de 7 a 10° GL (% em volume), é bombeado para o setor de destilação onde o etanol será separado dos produtos secundários resultantes da fermentação.

Destilação do etanol

A destilação é um processo físico de separação, mediante calor dos componentes voláteis de uma mistura líquida. Através da evaporação aumenta a concentração do componente mais volátil, o etanol, na fase vapor. A etapa da produção conhecida como destilação é realizada em três processos distintos: a separação inicial, a retificação e a desidratação.

As colunas ou torres de destilação são divididas em três partes básicas: a própria coluna, o rebulidor e o condensador.

Na industrialização do etanol são usadas as colunas de pratos e borbulhadores, também conhecidos como bandejas e calotas. O projeto da coluna determina o número de bandejas (variando de 30 a 70) e o número de borbulhadores que é fixado sobre cada bandeja (150 a 200).

Os rebulidores são responsáveis pelo aquecimento das colunas. Instalados em sua base, funcionam como trocadores de calor de feixes de tubo. Na primeira coluna de destilação, como um dos componentes é a água, pode haver o contato direto do vapor com a mistura (vapor vivo).

Os condensadores são instalados no topo da coluna com o objetivo de proceder à condensação dos vapores leves que atingem o topo da coluna. A maioria dos condensadores é dotada de sistemas de refluxo que pode ser de líquido saturado ou vapor parcialmente condensado. O objetivo deste dispositivo é permitir a obtenção do produto puro, nas especificações desejadas.

Nos projetos mais bem sucedidos, a eficiência das colunas de destilação pode ser da ordem de 90 a 95% . O material utilizado na construção das colunas pode ser aço carbono ou aço inoxidável.

Na primeira coluna de destilação, denominada *coluna A*, o componente água do vinho não é evaporado, retornando, por gravidade à base da coluna como resíduo do processo: vinhoto ou vinhaça e óleo fúsel. Inicialmente o vinho passa por pré-aquecedores (50 a 60°C) e segue para a *coluna A* para sofrer a separação inicial. Deste processo resultam vapores ricos em etanol (35 a 45% de etanol) que são enviados para a *coluna B* onde sofrem a degaseificação final e a destilação primária. Os vapores que resultam desses dois processos seguem para a *coluna C* onde sofrem a retificação final, atingindo 96,4° GL, etanol hidratado. Aqui são separados os produtos secundários: etanol metílico e álcoois superiores através de coletores localizados ao longo da altura da coluna retificadora. Esses produtos secundários são removidos dessa coluna e enviados para a coluna de tratamento, *coluna D* (coluna de lavagem). Esta última coluna tem o objetivo de reduzir ao mínimo as perdas de etanol e garantir a obtenção de etanol carburante de alta qualidade, isento de produtos secundários da fermentação.

Alguns aspectos técnicos podem ser considerados no design do processo de destilação e respectivos equipamentos. A capacidade das destilarias atuais é superior aos conjuntos de destilação disponíveis no mercado. O vinho resultante de processos de fermentação mais elaborado é mais uniforme e fornecido continuamente. O campo da instrumentação, automação e controles digitais evoluíram muito e pode oferecer soluções interessantes para essa etapa da produção.

Considerando-se esses aspectos é possível a reformulação destes equipamentos resultando em um conjunto único, totalmente instrumentado e automatizado dotados de internos de colunas de maior eficiência e menor perda de pressão⁴⁸.

A desidratação do etanol hidratado

O etanol hidratado é uma mistura de água e etanol com teor alcoólico de aproximadamente 96° GL. Uma vez desidratado o etanol deverá ter um teor de 99,7° GL.

O processo mais tradicional de desidratação, a desidratação por desidratação azeotrópica com benzeno; é realizado em três colunas distintas, com auxílio de solventes e resulta em etanol com concentração de 99,5% em peso (graus GL). Após a adição de solvente

⁴⁸ “Estas mudanças de internos de menor perda de pressão vai permitir aumentar o número de estágios diminuindo a taxa de retrogração e em consequência o consumo de vapor. Introdução de arranjos de destilação em múltiplos efeitos operando em diferentes níveis de pressão onde os vapores destilados de uma coluna são recondensados do efervor de outra coluna, reduzindo o consumo de vapor a valores entre 1,4-3 kg por litro de álcool hidratado.”Fonte : CGEE

(tal como hexana – mistura de benzeno/benzina com outros solventes) resulta a mistura “etanol-água-solvente”. Essa mistura é enviada para o separador/decantador (tanque de separação) onde a parte mais densa (água-etanol) é decantada. A mistura rica em solvente retorna ao topo da coluna desidratadora. A fração inferior do decantador, etanol-água é enviada à *Coluna E* – coluna de recuperação de solvente onde é obtido o produto desidratado. Pela toxicidade do benzeno, a partir da década de 80 esse processo vem sendo substituído pela destilação azeotrópica com ciclohexano.⁴⁹ Esse processo requer reformulações e otimização do consumo de vapor de aquecimento.

Há ainda outras tecnologias mais recentes, sendo a adoção de peneiras moleculares e o sistema MEG já bastante difundidos.

A peneira molecular não faz uso de aditivo químico, resultando em um produto mais puro além de consumir menos energia. O princípio usado nesse tipo de equipamento é a capacidade do zeólito⁵⁰ de reter as moléculas de água da mistura quando da passagem do fluxo de vapor que contém etanol e água. A água retida é recuperada por evaporação e os vapores de etanol são condensados e enviados para a retificação.

A desidratação por absorção com monoetilenoglicol (MEG) utiliza esse produto como seqüestrador de água.

As tecnologias empregadas nas destilarias atuais apresentam baixo grau de automação, e adota aparelhos de pequeno porte o que resulta numa multiplicidade de unidades para atender a capacidade da destilaria padrão. Essa configuração acaba tendo limitações para redução do consumo energético. A reformulação da destilação permitirá a redução do consumo de vapor de processo cujo uso será direcionado para pré-concentração do caldo, necessária para operar a fermentação em alto grau alcoólico. A alternativa de processo disponível e com maior viabilidade de implementação é a destilação e retificação em múltiplos efeitos que permitem uma redução do consumo de vapor de processo e da demanda de água de resfriamento.

⁴⁹ “numa coluna de destilação o ternário é destilado, condensado, resfriado e separado por decantação em duas fases, uma pobre em água que é reintroduzida na coluna, enquanto a que carrega a maior parte da água originária do etanol retificado é conduzida à coluna recuperadora que destila o ciclohexano no topo, sendo removida do fundo uma flegma hidroalcoólica para re-processo junto à retificação de etanol”.

⁵⁰ Os zeólitos são os membros aluminossilicatados da família dos sólidos microporosos conhecidos como peneiros moleculares. O termo peneiro molecular refere-se à propriedade particular destes materiais que consiste na capacidade de reter seletivamente moléculas por um processo de exclusão baseado no tamanho destas. Esta capacidade deve-se à sua estrutura porosa altamente regular de dimensões moleculares. O tamanho máximo da espécie molecular ou iônica que pode entrar nos poros de um zeólito é limitado pelos diâmetros dos tubos. *Fonte: Wikipédia.*

Completando as alternativas de desidratação com baixa demanda de vapor pode-se fazer uma previsão da entrada dos processos de desidratação por per-vaporação através de membranas. Estes processos já se provaram eficientes e de baixo consumo energético, ficando limitado seu uso pelo custo elevado das membranas. Na Tabela XI, abaixo, são sintetizados os dados técnicos referentes às diferentes alternativas tecnológicas para destilação.

(t) **TABELA XI**

Comparação dos consumos energéticos para diversas tecnologias de desidratação

Tecnologia empregada	Consumo de vapor kg/m³ de AEHC	Consumo de energia elétrica kwh/m³ de AEAC	Energia primária total kcal/m³ de AEAC	
Destilação com ciclohexano convencional	1750	-	1272,5	Vapor de escape
Destilação com ciclohexano otimizada	1450	-	1062,5	Vapor de escape
Destilação com ciclohexano a 3 efeitos	580	23	435,5	Vácuo, vapor de escape e vapor de baixa pressão
Absorção com MEG	750	15	572,5	Vapor a 10 kg/cm ²
Per-vaporação	110	34,5	124,5	Vapor de escape e vácuo
Peneiras moleculares	550	19	432,5	Vapor a 10kg/cm ² e vácuo

Fonte: CGEE, 2006

Armazenamento

Como se trata de um produto altamente inflamável, os tanques onde se procede a armazenagem do etanol (por um período mínimo de 45 – 60 dias e máximo de 90 dias) devem ser projetados e construídos segundo normas de segurança da ABNT.

Usualmente é construído um parque de tancagem com tanques metálicos de forma cilíndrica, com teto ligeiramente côncavo e base plana, assentados sobre base de concreto, dotados de inclinação para escoamento. São revestidos internamente por pintura anticorrosiva e externamente por pintura metálica (visando maior reflexão do calor). A área de armazenamento deve ser dotada com sistemas de bombeamento e de medição de carga e descarga. A instalação elétrica deve contar com sistema de aterramento e dispositivos de proteção contra descargas naturais (pára-raios) em todo parque, sendo ideal que caminhões e carros-tanque também respeitem com rigor as normas de segurança.

Por mais bem projetado que seja um tanque ele sempre apresentará perdas por evaporação (da ordem de 2 a 3% num período de 90 dias). Essas perdas podem ser reduzidas pela adoção de sistemas de resfriamento.

Não menos importante que o projeto físico da armazenagem do etanol, a segurança operacional ocupa papel decisivo na segurança global da usina.

Utilidades em destilarias de etanol

As utilidades são aquelas atividades auxiliares à produção que geram, no caso da produção de açúcar e etanol: *ar de processo* (ar atmosférico depois de tratado e seco usado em sistemas pneumáticos e na esterilização de equipamentos); *água de processo* (utilizada na lavagem da cana e dos equipamentos, em trocadores de calor e nas caldeiras – cada uso requer um tratamento específico); *água de uso industrial*⁵¹ (água tratada por filtração, floculação, decantação e tratamento final); *vapor d'água* (utilizado na geração de energia elétrica, aquecimento de equipamentos, esterilização das dornas de fermentação, aquecimento das colunas – pode ser de baixa pressão ou de alta pressão superaquecido); *energia elétrica* (gerada pela própria usina com vapor de alta pressão).

Desta forma, toda usina deverá contar com as instalações e equipamentos necessários para o fornecimento das utilidades descritas acima. A Estação de Tratamento de Água – ETA procede à captação da água (em represas, lagos ou rios) através a casa de bombas e a conduz à estação onde sofre o tratamento. Para a obtenção de água desmineralizada são utilizadas colunas de resinas iônicas. O uso de filtros e esterilizadores sobre o ar atmosférico produz o ar de processo necessário para as pré-fermentações e para a instrumentação pneumática.

Consumo e geração de energia

A biomassa residual da cana-de-açúcar vem sendo utilizada como fonte de energia primária para geração de energia desde o Proálcool. Originalmente a adoção desta prática se devia à necessidade de eliminação do bagaço, cujos altos volumes gerados, com a expansão da produção, representavam um problema para as usinas. Desta forma, as instalações foram projetadas para eliminar o resíduo o que resultou em configurações muito pouco eficientes, em vista do potencial energético desta biomassa.

⁵¹ Mediante emprego de torres de resfriamento algumas usinas conseguem atingir 90% de recirculação.

“Devido às peculiaridades de desenvolvimento do setor sucroalcooleiro no Brasil, bem como a necessidade de se descartar o bagaço de cana-de-açúcar, subproduto considerado como um resíduo indesejável, o ciclo vapor, conjunto de equipamentos constituído de caldeira geradora de vapor, tubulações de vapor, turbinas a vapor e equipamentos de processo da produção de açúcar e etanol consumidores de vapor, apresentam concepção antiga e baixa eficiência energética. As caldeiras foram por décadas tratadas como incineradores para eliminação do bagaço (CAMARGO et al., 1990) e os equipamentos de processo, tanto para acionamentos como de insumo térmico, foram deliberadamente projetados para auxiliar na eliminação da energia contida no vapor. Em resumo, o conteúdo energético do bagaço de cana-de-açúcar é muitas vezes superior às necessidades energéticas de uma usina sucroalcooleira projetada em termos energéticos”. *Corrêa Neto, Vicente Análises de Opções Tecnológicas para Projetos de Co-geração no Setor Sucroalcooleiro. p.16.*

O cenário mundial na atualidade, inclusive do setor elétrico brasileiro, apresenta tendência descentralizadora, onde há mais espaço para geradores independentes (em pequena escala, com exportação integral ou de excedentes), a autoprodução energética e a geração distribuída e para o uso mais intensivo de fontes renováveis. Nesse contexto, o saldo energético positivo de uma usina representa a possibilidade de geração de rendas adicionais pela exportação da bioeletricidade gerada a partir dos resíduos da cana-de-açúcar.

A otimização do saldo energético de uma usina resulta da exploração máxima do potencial na geração da energia (eficiências térmicas, mecânicas e elétricas) e por medidas de conservação energética que permita elevar os excedentes de energia elétrica gerados.

A respeito do potencial de exportação de bioeletricidade para a rede elétrica das usinas atuais atingem 1650MW, representando 2% das necessidades do país⁵². Caso fosse utilizada 50% da biomassa da cana disponível essa oferta poderia cobrir 8% das necessidades nacionais até 2012, totalizando 9 mil MW⁵³. Conforme já mencionado no início deste capítulo, a adoção da colheita mecanizada da cana-de-açúcar sem queimar, pode elevar o volume de biomassa disponível. Somente o aproveitamento da palha e dos ponteiros disponibilizados com o fim da

⁵² Antes do racionamento de 2001 esse potencial era de 120MW.

⁵³ A produção de eletricidade no Brasil em 2005 foi igual a 402.938 GWh, sendo o consumo final estimado em 375.193 GWh. Considerando um simples modelo de crescimento tendencial do consumo de eletricidade no país, tendo por base as taxas de crescimento do consumo de eletricidade nos últimos anos, pode-se estimar o consumo de 564,2 TWh em 2015 e de 781,4 TW em 2025. Portanto, a geração de eletricidade excedente nas destilarias poderia contribuir com 5,3% do consumo projetado em 2015 no caso de adotar tecnologias convencionais, e poderia chegar a 15,6% no caso de haver maior número de destilarias que destinam o bagaço para a geração de bioeletricidade com maiores índices de geração de excedente de eletricidade. Para 2025, considerando essas ultimas condições a geração de eletricidade excedente representaria, respectivamente, 12,3% e 23,6% do consumo projetado.

queima da cana em São Paulo poderia ampliar essa participação para 20% da matriz energética brasileira até 2020, superando 20 mil MW. (Fonte: CGEE 2006).

O processo produtivo das usinas utiliza duas formas de energia final: a energia térmica, na forma de calor e a energia mecânica em acionamentos diversos. No Brasil, a tecnologia adotada nas usinas de açúcar e etanol para co-geração é a geração termoelétrica em ciclo de co-geração *topping* a vapor em contrapressão.

Segundo Edgardo Olivares Gómez, em trabalho coordenado pelo NIPE/UNICAMP, o Cenário Médio Atual de Dimensionamento Energético das Usinas / Destilaria – Brasil está assim caracterizado:

- Pressão operacional, $P_{vv} = 22$ bar;
- Temperatura operacional, $T_{vv} = 300^{\circ}$ C;
- Auto-suficiente em energia térmica e eletromecânica:
 - Consumo de energia elétrica: 13kWh/TC,
 - Consumo de energia mecânica: 17kWh/tc,
 - Consumo de energia térmica: 330 kWth/ TC (equivalente a um consumo de vapor de processo de 500 kgvapor/tc – para uma capacidade de 500 tc/h são requeridos 250 tvapor/h);
- Excedente de bagaço de 7 a 12% (50% umidade);
- Utilização de palha: não é prática comum ainda.

O vapor produzido nas caldeiras é chamado de vapor primário ou de alta e alimenta as turbinas a vapor (simples estágio e contrapressão) para o acionamento de equipamentos (facas rotativas, desfibradores, niveladores, ternos de moenda, bomba de água de alimentação da caldeira, ventiladores de ar de combustão e de gases de exaustão das caldeiras e os geradores de energia elétrica). Na saída das turbinas, obtém-se o vapor de contrapressão ou vapor de escape (0,245MPa a 0,275 MPa) que é utilizado como fonte de calor no processo produtivo. Há ainda o vapor vegetal, também utilizado no processo obtido da evaporação da água contida no caldo. Ao final desta sessão, nas Tabelas XII e XIII são apresentados dados sobre a produção e o consumo de vapor para os diferentes módulos de produção e dados sobre o consumo específico de energia por produto.

As caldeiras usualmente utilizadas nas usinas são dotadas de fornalhas com leito fixo e pulverizado em suspensão do tipo celulares, com fornalha ferradura, grelha estacionária

(horizontal, plana ou inclinada), com queima em suspensão. São caldeiras de concepção antiga e que podem ter aumento de eficiência através de algumas medidas tais como:

- Instalação de superaquecedores, (redução dos gases de exaustão);
- Desaeradores térmicos (eliminam oxigênio do condensado e outros gases incondensáveis, reduzindo a corrosão e elevando a temperatura da água de alimentação de caldeira);
- Economizadores: recuperam energia dos gases efluentes reduzindo as perdas na chaminé e aumentando a eficiência termodinâmica do ciclo com elevação da temperatura da água de alimentação da caldeira;
- Pré-aquecedores de ar: recuperando energia dos gases de chaminé;
- Secadores de bagaço.

Há ainda algumas medidas de manutenção que aumentam a eficiência das caldeiras.

A adoção de caldeiras mais eficientes tem se disseminado no país. Comumente adota-se caldeiras de 60 MPa nos projetos mais recentes que pretendem exportar energia, já havendo projetos com caldeira de 85MPa. No entanto, existem outras configurações tecnológicas mais eficientes do ponto de vista de geração de excedentes de energia elétrica (algumas inclusive estão disponíveis comercialmente, a partir de equipamentos produzidos no Brasil).

A exploração do potencial de produção de bioeletricidade excedente depende de políticas direcionadas. A viabilização dos investimentos em sistemas baseados na geração de vapor a 90 bar, 520° C, tecnologia hoje disponível resultaria em maiores excedentes. Mas a decisão de produzir tais excedentes depende da viabilização da construção de linhas de transmissão para escoar a eletricidade gerada. O potencial estimado será significativamente sub-aproveitado se forem mantidos os procedimentos atuais de comercialização da eletricidade excedente gerada em usinas de açúcar e etanol.

Tais investimentos podem ser induzidos caso a geração de bioeletricidade no setor sucroalcooleiro venha a ser explicitamente considerada no planejamento da expansão do setor elétrico brasileiro⁵⁴.

⁵⁴ O usineiro Maurílio Biagi informa que, para gerar energia em 2011, os empresários precisam saber agora se terão os estímulos necessários. Caso contrário, instalam caldeiras de baixa pressão, bem menos eficientes. "Cerca de 50% das usinas que estão sendo construídas neste momento não estão colocando as caldeiras e demais equipamentos necessários para a co-geração", diz. Segundo ele, uma caldeira de alta pressão representa 20% do investimento de novas usinas e não há sentido colocá-las sem uma forte sinalização de que será possível vender a energia. Para isso, reclama de dois obstáculos: o próprio usineiro deve construir a conexão ao sistema interligado, mas é obrigado a repassar essa estrutura à concessionária de distribuição e depois paga,

(u) TABELA XII

Produção e Consumo Específico de Vapor por Módulo de Produção

Módulo	Tipo de Insumo			
	Vapor de Alta	Vapor de Escape	Vapor Vegetal	Bagaço
Extração (Lavagem, Preparo e Moagem) (kgvapor/toncana)	255			
Tratamento do Caldo para Açúcar (kgvapor/toncaldo)			165,4	
Tratamento do Caldo para Etanol (kgvapor/toncaldo)			192	
Evaporação (kgvapor/ton xarope)		1780		
Cozimento e Secagem de Açúcar (kgvapor/tonaçúcar)			2150	
Destilação de Etanol Anidro (kgvapor/l alcool hidratado)		3,2		
Destilação de Etanol (kgvapor/l alcool anidro)		4,55		
Geração de Vapor (kg vapor/ton bagaço 50%)				2.030
Geração de Energia Elétrica (kg vapor/kWh)	25			

Fonte: Camargo et al. (1990)

(v) TABELA XIII

Consumo Específico Global dos Produtos*

Açúcar (MJ/kg açúcar)	Etanol Hidratado (MJ/l etanol)	Etanol anidro (MJ/l etanol)
13,065	18,59	19,95

* Consumo específico global de energia com base no consumo de vapor de alta de cada produto, sem levar em consideração a eficiência da caldeira.

Fonte: Camargo et al. (1990).

Vinhoto

O vinhoto pode ser utilizado como fonte de energia, seja pela concentração e secagem (que o transforma numa matéria sólida combustível) ou pela fermentação anaeróbia (que resulta numa mistura de gases combustível). O vinhoto residual, após a fermentação anaeróbica, constitui-se num fertilizante líquido adequado a fertirrigação do canavial, retornando ao campo parte daquilo que a cana-de-açúcar trouxe à usina.

paradoxalmente, pelo uso da rede, e, em segundo lugar, é preciso passar por um novo processo de licenciamento ambiental para aumentar a potência de geração elétrica de uma usina, quando poderia haver um "rito sumário" para a licença. Biagi lembra que o fator crucial é ter um preço "justo" nos leilões de energia. "Não queremos subsídios, só um preço que seja um bom adubo para o negócio", assegura o empresário. Daniel Rittner, Câmara discute incentivo à energia alternativa, Valor Econômico. Daniel Rittner, Câmara discute incentivo à energia alternativa, Valor Econômico.

A concentração térmica do vinhoto apresenta-se como uma das tecnologias comercialmente disponíveis para redução do volume do vinhoto. A tecnologia para concentração é oferecida por Vogelbusch/Dedini, Messo/GEA e Alfa Laval entre outros. Todos estes processos sofrem problemas relacionados à rápida incrustação dos evaporadores e cristalização espontânea à medida que o teor de sólidos aumenta. O consumo energético nestes processos também é outro entrave, pois uma quantidade adicional de vapor é requerida para efetuar esta concentração.

A Messo/GEA oferece um processo de recuperação de sais de potássio da vinhaça, baseado na evaporação e cristalização combinadas.

A remoção do sulfato presente na vinhaça é uma alternativa que deve ser considerada. Diversos estudos propõem processos de dessulfurização biológica que poderiam ser aplicados ao vinhoto. Estes processos se fundamentam no emprego de microorganismos redutores do sulfato, empregando linhagens específicas e operando em bioreatores anaeróbicos na faixa termofílica (55-70°C) ou termofílica extrema (70-80°C). Estão disponíveis estudos que demonstram a viabilidade técnica destes processos (LETINGA, VALLERO E FORESTI, VAN GROENESTIJN) para tratamento de efluentes com elevada concentração de sulfatos.

Os estudos relacionados a biodigestão de vinhoto resultante da produção de etanol foram realizados na década dos 80, atingindo o nível de unidades de demonstração comercial. Fundamentalmente estes estudos objetivavam a produção de biogás e o aumento da eficiência energética da destilaria. Citamos por exemplo a tecnologia Metax da Codistil (Grupo Dedini), os estudos realizados pelo CTC e os realizados na Usina São Martinho. A retomada do desenvolvimento da biodigestão, Agora com esta nova tecnologia e não apenas objetivando a produção de energia, e sim visando atender às necessidades de remoção do sulfato da vinhaça, redução da carga de matéria orgânica e da elevação do pH deste efluente, deverão ser estudadas como uma alternativa para redução dos impactos negativos do vinhoto.

A separação do potássio através de eletro-diálise é alternativa que está em estágio de desenvolvimento, em escala laboratorial. A eletro-diálise deve ser considerada como uma alternativa futura para tratamento do vinhoto.

2.5. EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA

O setor sucroalcooleiro não é tido como inovador. No entanto, é inegável a evolução dos processos e da produtividade obtida nos últimos 30 anos, particularmente no Centro/sul. Uma sistematização da evolução tecnológica, refletida pelos parâmetros técnicos nos diferentes sub-sistemas produtivos industriais é apresentada abaixo, na Tabela XIV. Na etapa agrícola ocorreu significativo melhoramento genético da cana e nos sistemas de produção. Na etapa industrial uma série de inovações incrementais vem contribuindo para maior produtividade nas usinas.

Tabela XIV
Sistematização da Evolução Tecnológica

	Início do Proálcool	Hoje
Capacidade de moagem – TCD	5.500	13.000
Tempo de fermentação (h)	24	4-6
Teor alcoólico do vinho (°GL)	7,5	10,0
Rend. Extração (% açúcar na cana)	93	97
Rendimento fermentativo (%)	80	91
Rendimento da destilação (%)	98	99,5
Rendimento total (l etanol hidrat/t cana)	66	86
Consumo total de vapor (kg/t cana)	600	380
Consumo de vapor hidratado (kg/l)	3,4	2,0
Consumo de vapor anidro (ks/l)	4,5	2,8
Eficiência da caldeira (%PCI)	66	87
Bagaço excedente (%)	Até 8	Até 78
Metano a partir da vinhaça (NM3 metano por litro de etanol)	-	0,1
Produção de vinhaça (l vinhaça/l etanol)	13	0,8*

Fonte: DEDINI – Apresentação feita em reunião no BNDES

*Potencial máximo adotando-se as tecnologias mais avançadas

Essas unidades idealizadas não apresentariam deficiências em equipamentos e na incorporação das tecnologias de ponta, inclusive no que diz respeito a correção ou redução de práticas inadequadas do ponto de vista ambiental (redução de emissão de efluentes, sólidos, líquidos e gasosos, e no uso racional e sustentável dos recursos naturais: terra e água). Algumas unidades localizadas na região Centro-Sul apresentam essas configurações sem deficiências de equipamentos e atendem a boas práticas de fabricação.

A Tabela abaixo apresenta os valores médios de alguns parâmetros que caracterizam a produção de etanol.

(w) **TABELA XV****Perdas de ART no processo de produção do etanol**⁵⁵

Natureza das perdas de ART	Valor atual (%)
Perda na lavagem de cana	0,47
Perda na extração	3,73
Perda na torta	0,54
Perda na fermentação	5,17
Perda na destilação (devido à vinhaça)	0,18
Perdas indeterminadas	4,05
Total	14,14

Vários motivos levam à não adoção em larga escala das tecnologias de ponta. Entre eles:

- Cultura do empresariado do setor sucroalcooleiro que prioriza investimentos na etapa agrícola (que representa em média 70% dos custos totais de produção) em detrimento da etapa industrial;
- Esses investimentos são intensivos em capital e oferecem baixa margem de contribuição na situação atual;
- As práticas operacionais não são alvo de legislação e/ou fiscalização intensos;

A limpeza a seco substitui a lavagem de cana reduzindo as perdas de açúcar associadas a esta lavagem.

Os processos de preparo e extração sofrem aprimoramento dos conjuntos de moagem e/ou introdução dos difusores com maior potencial de extração⁵⁶.

A fermentação alcoólica sofre o aprimoramento da tecnologia existente, resumido nas seguintes ações:

- Reformulação do processo de tratamento de caldo e preparo de mosto para remoção de matéria em suspensão e esterilização do mosto;

⁵⁵ Os valores correspondem a registros do Programa de Controle Mútuo (Safra 2005-2006), gerido pelo Centro de Tecnologia Canavieira (CTC).

⁵⁶ A extração hidrodinâmica poderá estar disponível no futuro mas o estágio atual de desenvolvimento em que se encontra não permite afirmar que irá se consolidar como alternativa à moenda e ao difusor.

- Introdução da dupla centrifugação para eliminação de microorganismos contaminantes;
- Otimização dos sistemas de resfriamento para redução da temperatura de fermentação (dos atuais 34-35°C para no mínimo 30°C)
- Operação com alto grau alcoólico final (no mínimo até 12-13°GL), com redução do volume de vinhoto e do consumo energético na destilação;
- Reativação do fermento que permita estabilidade operacional;
- Fermentação com linhagens selecionadas de levedura;
- Eliminação do emprego do ácido sulfúrico;
- Banimento do emprego de antibióticos;
- Introdução de monitoramento através de sensores e automação do processo.

A tabela abaixo apresenta a comparação dos parâmetros técnicos numa configuração industrial padrão com uma configuração industrial otimizada.

(x) TABELA XVI

Destilaria padrão, desempenho conforme a tecnologia industrial praticada e a tecnologia industrial otimizada⁵⁷

Tecnologia	Praticada	Otimizada
Moagem/ano safra (toneladas de cana)	2.000.000	2.000.000
Dias úteis/ano safra	167	167
Rendimento agrícola (toneladas por hectare)	71	71
Moagem diária (toneladas de cana por dia)	11.976	11.976
Rendimento industrial (litros etanol /tonelada de cana)	85	88
Produção diária (litros)	1.017.964	1.057.234
Produção safra/usina (litros)	170.000.000	176.558.050
Área agrícola da Destilaria (ha)	35.000	35.000
ART na cana posta na Usina (kg/ tonelada de cana)	159	159
Fibra na cana posta na Usina (kg/ tonelada de cana)	140	140
Bagaço total em cana (kg/ tonelada de cana)	280	280
Eficiência na extração (%)	96	96,3
Eficiência no tratamento do caldo (%)	97	99,5
Rendimento na fermentação (%)	89,26	89,7
Rendimento na destilação (%)	99	99,5
Rendimento global (%)	82,29	85,50

⁵⁷ Esses dados medem o impacto de introdução de novas tecnologias fixados o rendimento agrícola, a riqueza em açúcares redutores totais e o teor de fibra na cana. A evolução destes parâmetros pode levar a ganhos incrementais no rendimento industrial.

(y) *Como seria uma usina otimizada hoje?*

O projeto de Usina que incorpora as tecnologias mais atuais traz algumas alterações nos fatores que compõem a formação do custo do etanol. A unidade idealizada é uma destilaria autônoma que produz etanol e energia elétrica para comercialização na rede. A estimativa do custo dos equipamentos dessa instalação⁵⁸ apresenta uma distribuição percentual diferente daquela do módulo da destilaria convencional. O conjunto de geração de vapor em alta pressão e turbogeradores de alta eficiência respondem pelo maior custo representando 32,7% do total em equipamentos instalados, a fermentação agora incluindo, pré-concentração do mosto, aumento das áreas de resfriamento, dupla centrifugação, dornas com agitação e reformuladas para controle da re-infecção e um tratamento do pé de cuba mais apurado aumenta sua participação para 24,7%.

O emprego de peneiras moleculares e a concentração térmica do vinhoto no subsistema destilação, também levam a aumentos expressivos na composição do investimento.

Note-se que necessariamente a futura passagem para unidades de destilação em múltiplos efeitos resultará ainda em um novo incremento nos investimentos em equipamentos. O subsistema preparo e extração, que na destilaria convencional representava o investimento mais expressivo, agora perde significação comparando com as outras seções da destilaria. Essa configuração industrial permite a recuperação de 85 litros de AEAC por tonelada de cana.

Em resumo sua configuração prevê:

- Limpeza a seco da cana;
- Extração próxima a 97%;
- Tratamento de caldo específico para atender uma fermentação estável, sem contaminações, visando uma remoção eficiente da matéria em suspensão;
- Pré-concentração de uma parte do caldo em 5 efeitos para operar com um mosto para fermentação com alto grau alcoólico no vinho final;
- Esterilização do mosto;
- Fermentação contínua em 3 estágios, com reciclo de fermento;

⁵⁸ O estudo, que tem caráter preliminar, foi realizado empregando estimativas dos preços dos equipamentos baseadas em índices de custo de equipamentos. O custo atinge um montante de R\$ 103 milhões.

- Dupla centrifugação de fermento e tratamento do pé para alta % de viabilidade celular;
- Fermentação a 34°C e vinho final de 10°GL, rendimento fermentativo 91,5%;
- Destilação e retificação otimizada operando em coluna única e desidratação com peneiras moleculares;
- Automação completa da destilaria;
- Concentração do vinhoto em evaporadores de múltiplos efeitos a 50% do volume de vinhoto in natura;
- Máxima produção de energia elétrica, empregando, pré-secagem de bagaço, geração de vapor a 65 bar e turbogeradores de alta eficiência;
- Otimização energética das correntes de processo empregando tecnologia “pinch”⁵⁹.

Segundo os números apresentados na Tabela XIV as configurações atuais das destilarias estão muito próximas daquelas que seriam consideradas otimizadas. Não existem dados disponíveis sobre algumas questões importantes e que decorrem dessa observação: qual o percentual das usinas atuais que se aproximam desse padrão; em que medida os novos projetos adotam esse padrão; onde estariam concentrados os principais ganhos incrementais no futuro: na etapa agrícola ou na industrial?

No próximo capítulo são apresentados dados sobre a expansão da produção de etanol no Brasil segundo a tecnologia atual. Seu objetivo é ilustrar com dados a factibilidade dessa expansão segundo a tecnologia disponível comercialmente no Brasil hoje. O capítulo subsequente (capítulo 4) apresenta as inovações tecnológicas em curso e que possibilitarão a expansão da produção em termos de volume de etanol e bioeletricidade exclusivamente pela tecnologia industrial, ou seja, sem aumento da área cultivada.

⁵⁹ A Tecnologia Pinch consiste numa metodologia baseada nos princípios da termodinâmica e é uma subdivisão vital da engenharia de processo. Seu objetivo principal é economizar custos para a indústria, otimizando a maneira como os recursos necessários para os processos (particularmente energia e água) são aplicados para uma larga gama de propósitos. Isto é conseguido através de um inventário de todos os produtores e consumidores destes recursos, a partir do qual vai sendo sistematicamente projetado um esquema ótimo de troca entre estes produtores e consumidores. Economia de energia e reuso de água são as peças-chave desta metodologia e sua aplicação pode gerar ganhos tanto no investimento de capital quanto nos custos operacionais da empresa. Obtido em "http://pt.wikipedia.org/wiki/Tecnologia_Pinch"

1) CAPÍTULO III
A EXPANSÃO DA PRODUÇÃO DE ETANOL

2) CAPÍTULO III – A EXPANSÃO DA PRODUÇÃO DE ETANOL

3.1 A EXPANSÃO DA PRODUÇÃO DE ETANOL

Sobre a demanda por combustíveis líquidos

As previsões de extração e consumo de petróleo no mundo apresentam considerável discrepância⁶⁰. A Tabela XVII, na próxima página, apresenta as projeções da Agência Internacional de Energia para a produção de petróleo. Estudos oficiais indicam tendência de elevação continuada dos preços do petróleo, o que contribui para a elevação da competitividade do etanol como combustível. Os biocombustíveis não substituirão completamente os combustíveis fósseis no longo prazo, mas terão destaque na transição para um futuro sustentável de combustíveis para transporte. Nesse sentido, o mercado potencial do etanol combustível pode ser projetado como uma fração do consumo da gasolina⁶¹. Numa perspectiva bastante limitada, o etanol pode ser adotado estritamente como oxigenador. Oxigenadores (misturas que propiciam aumento de oxigênio para assegurar a combustão completa) em uso na atualidade são o metanol (MTBE) e o etanol (ETBE), puros ou sob fórmulas compostas. A adoção do etanol como oxigenador é mais atrativa do ponto de vista ambiental. Adoção de misturas em taxas superiores a 15% caracteriza uma política que ultrapassa o aspecto técnico de eficiência da combustão da gasolina e adquire feições mais claras de redução das emissões de CO².

A demanda mundial atual por petróleo é de 83,08 milhões de barris/dia e de 20,18 milhões de barris/dia de gasolina.

A projeção de aumento da demanda divulgada pelo “National Energy Information Center” (NEIC) está entre 43% e 52% no período de 2005 a 2025, oscilando em função da adoção de novas tecnologias. Sendo que o aumento da demanda de combustíveis para veículos leves é superior a outras demandas por derivados de petróleo. A partir desses números pode-se estimar para 2025 a demanda de 1,7 trilhões de litros de combustíveis para

⁶⁰ Lardelli Michael, A revolutionary report on the future of oil, Australia’s e-journal of social and political debate, 30 de julho de 2007.

⁶¹ Os oxigenadores (misturas que propiciam aumento de oxigênio para assegurar a combustão completa) em uso na atualidade são o metanol (MTBE) e o etanol (ETBE), puros ou sob fórmulas compostas. A adoção do etanol como oxigenador é mais atrativa do ponto de vista ambiental.

veículos leves.⁶² A necessidade de importação do etanol combustível como substituto parcial à gasolina representa para o etanol brasileiro um mercado potencial de quase 200 bilhões de litros em 2025. Os principais mercados seriam Japão, China e Estados Unidos.

“Fossil fuels will continue to satisfy the lion’s share of the world energy needs for the foreseeable future, and oil is set to remain the leading source of energy, in particular in the transportation sector. Oil resources are plentiful. How to find, develop, produce, transport, refine and deliver oil to end-users in an efficient, timely, sustainable, economic, reliable and environmentally-sound manner remains a key objective.”⁶³

(a) **TABELA XVII**
Projeção de Aumento da Produção

Region / Country	History (Estimates)		Projections				
	1990	2003	2010	2015	2020	2025	2030
Conventional Production	66.5	77.9	86.7	91.4	96.1	101.0	106.4
OPEC	24.4	30.0	36.1	38.1	38.6	40.5	43.0
Asia	1.5	1.4	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1
Middle East	16.1	21.2	25.2	26.6	27.3	29.0	31.2
North Africa	2.7	3.0	3.5	3.7	3.7	3.6	3.5
West Africa	1.8	2.0	2.4	2.6	2.6	2.8	3.1
South Africa	2.3	2.5	3.4	3.8	3.7	3.9	4.2
Non-OPEC	42.1	47.8	50.6	53.3	57.4	60.5	63.4
OECD	20.1	22.2	22.0	21.6	21.7	21.2	20.7
OECD North America	14.7	14.8	15.0	15.2	15.4	15.4	15.4
United States	9.7	8.6	9.4	9.6	9.5	9.1	8.9
Canada	2.0	2.3	1.7	1.4	1.5	1.5	1.4
Mexico	3.0	3.8	4.0	4.2	4.5	4.8	5.0
OECD Europe	4.6	6.7	6.0	5.4	5.3	4.9	4.5
OECD Asia	0.8	0.8	1.0	0.9	0.9	0.9	0.9
Japan	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
South Korea	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Australian and New Zealand	0.7	0.7	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8
Non-OECD	21.9	25.6	28.6	31.8	35.7	39.3	42.7
Non-OECD Europe and Eurasia	11.6	10.6	12.7	14.2	16.1	17.7	19.1
Russia	11.3	8.5	9.5	9.9	10.7	11.1	11.3
Caspian Area	0.0	1.9	3.0	4.2	5.2	6.2	7.4
Other	0.3	0.2	1.3	0.3	0.3	0.4	0.4
Non-OECD Asia	4.4	6.0	5.9	5.7	5.9	5.9	5.7
China	2.8	3.3	3.4	3.2	3.3	3.3	3.2
India	0.7	0.8	1.1	1.2	1.3	1.4	1.4
Other	1.0	1.9	1.4	1.3	1.3	1.2	1.1
Middle East	1.3	1.9	2.0	2.2	2.4	2.7	2.9
Africa	2.2	3.1	3.6	4.5	5.4	6.7	8.0
Central and South America	2.4	4.0	4.3	5.0	5.8	6.4	7.0
Brazil	0.8	1.7	2.4	2.8	3.2	3.5	3.9
Other	1.6	2.4	2.0	2.3	2.6	2.9	3.2
Unconventional Production	0.0	1.8	4.9	6.9	8.0	9.7	11.5
United States	0.0	0.2	0.5	0.7	0.9	1.3	1.5
Other North America	0.0	0.8	1.8	2.3	2.7	3.2	3.6
OECD Europe	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Asia	0.0	0.2	0.7	1.1	1.3	1.5	2.1
Middle East	0.0	0.0	0.5	0.6	0.7	0.9	1.1
Africa	0.0	0.1	0.2	0.4	0.5	0.7	0.9
Central and South America	0.0	0.5	1.1	1.7	1.8	2.1	2.3
Total Liquids Production	66.5	79.6	91.6	98.3	104.1	110.7	118.0
OPEC	24.5	30.7	37.3	39.7	40.1	42.5	45.3
Non-OPEC	42.1	48.9	54.4	58.6	63.7	68.2	72.6
Persian Gulf Production as a Percentage of World consumption	26.2%	29.6%	32.0%	32.2%	31.6%	32.2%	33.0%

Fonte: Energy Information Administration / International Energy Outlook 2006

⁶² Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético, Universidade Estadual de Campinas, Convênio: CGEE – Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, Projeto: Estudo sobre as possibilidades e impactos da produção de grandes quantidades de etanol visando à substituição parcial de gasolina no mundo. RELATÓRIO FINAL Dezembro de 2005, pág 3.

⁶³ Hamel, Mohamed. “Providing Petroleum, Promoting Prosperity, Protecting the Planet”, Oil outlook and investment challenges, Energy Studies Department, OPEC Secretariat, Vienna, Background paper for the Ministerial Symposium on November 2007, Riyadh, Saudi Arabia. Pág. 33. <http://www.opec.org/Opecna/Speeches/2007/HeadEnergyStudies%20Paper%20for%20Symposium.pdf>

A produção atual de etanol é de 44,6 bilhões de litros, o que representa 0,785 milhão de barris/dia⁶⁴. Deste total apenas 0,527 milhões de barris/dia são para uso combustível⁶⁵. Desta forma, o etanol combustível ainda representa apenas 2,6% do consumo mundial de gasolina e 0,6% do consumo mundial de petróleo.

Quadro III

O relatório Annual Energy Outlook de 2006 (AEO2006) e dados preliminares da versão 2007 (AEO2007) elaborado pelo Departamento de Energia Norte americano (*Energy Information Administration* - EIA do DOE), apresenta as seguintes projeções até 2030:

- Os preços de petróleo devem evoluir do patamar de \$50/bbl em 2010 para \$60/bbl em 2030.⁶⁶
- O consumo de energia primária nos EUA deve crescer em 31% (AEO2007) ou (35% AEO2006) entre 2005 e 2030.
- Em termos de consumo de energia secundária, os combustíveis líquidos apresentam a maior demanda, seguidos de carvão mineral e gás natural em um segundo patamar de consumo e de nuclear e renováveis em um terceiro patamar. É interessante observar que o carvão mineral apresenta crescimento mais acentuado após 2020, crescimento esse puxado por novas tecnologias de processamento do carvão mineral, inclusive combustíveis similares a diesel e gasolina. O Coal to Liquid - CTL se torna econômico em 2020-2025.
- O maior consumidor de energia é o setor de transporte, o que explica o crescimento de combustíveis líquidos. A hipótese por trás desses resultados está no fato de uma maior parte da população entrar na era do uso do carro (“drive age”). Em 2030, o setor transportes deve consumir cerca entre 70% e 80% dos combustíveis líquidos.
- Cerca de metade dos combustíveis líquidos consumidos é gasolina. No setor de transportes, a maior demanda de combustíveis líquidos vem de veículos leves (Light-Duty Vehicles). A eficiência média desses veículos, quando novos, é de cerca de 25 milhas/gal, mas em 2030 deve atingir a casa de 30 milhas/gal.
- Há também uma estimativa de penetração de veículos flex-fuel, híbridos e turbo diesel. Em 2010, os veículos flex-fuel devem participar com 10% do mercado e em 2030 as três tecnologias representarão 20% do mercado.
- Hoje, o etanol participa com apenas 3% do mercado de combustíveis leves e, em 2030, deve participar com 8%. É importante destacar que o preço do carvão se mantém estável em termos reais nos próximos anos.

(ii)

⁶⁴ Barril físico, não se trata aqui de barril equivalente.

⁶⁵ O parque de veículos a diesel na Europa já representa 50% da frota e o consumo de diesel é de cerca de 160 milhões t, ao passo que da gasolina é pouco mais de 100 milhões t. A substituição de veículos a gasolina por diesel é um movimento que ainda vai perdurar algum tempo. Para 2015, o serviço de informações do departamento de energia (EIA/DOE) estima consumo de diesel na Europa de 180 milhões t contra menos de 100 milhões t para gasolina.

⁶⁶ As cotações recentes do barril de petróleo evidenciam o equívoco das projeções do Departamento de Energia Americano

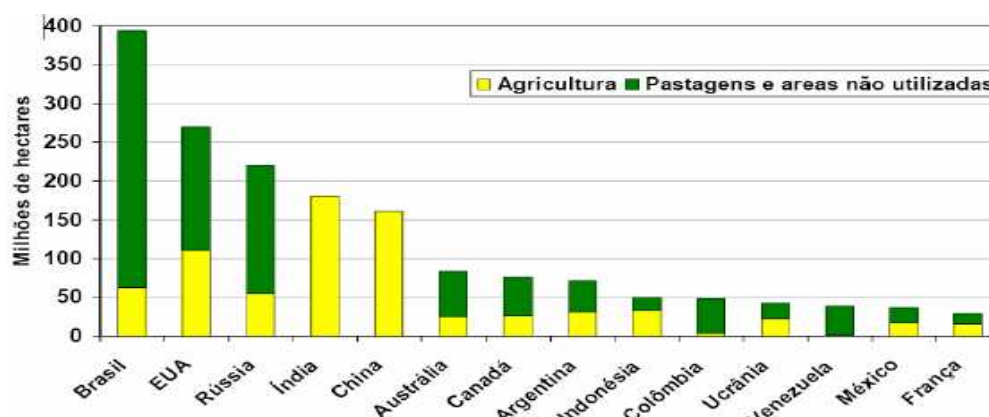
(iii) *Sobre a disponibilidade de terras para a expansão da produção do etanol*

A capacidade agrícola dos países do hemisfério Norte é insuficiente diante de sua demanda por bioenergia. Talvez por esse motivo exista uma percepção de que as terras aráveis do mundo estão totalmente ocupadas. Alguns trabalhos recentes revelam o contrário.

“Actually, they are, and in abundance. There are huge swathes of land in Africa, SEAsia, the Indian subcontinent and Latin and Central America that are degraded, and not used for any productive purpose or were formerly used for cattle grazing. To be precise, in just the African countries that signed up for a ‘Green OPEC’ earlier this year, the Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations estimates that there are 379 million hectares of potential arable land available, of which only 43 million are utilized.¹⁶ So there **are in just a few African countries over 300 million hectares of potentially arable land available for both ethanol and biodiesel production**. When the whole of sub-Saharan Africa, South Asia and SEAsia are added, as well as Latin and Central America, then the availability of arable land not already cultivated or forested, starts to look very considerable indeed, at over 2 billion hectares of potentially arable land.”⁶⁷

A disponibilidade de terras aráveis e a produtividade brasileira são evidenciadas em trabalho, também recente da CEPAL⁶⁸.

(b) **Gráfico I**⁶⁸
Disponibilidade de terras aráveis por país



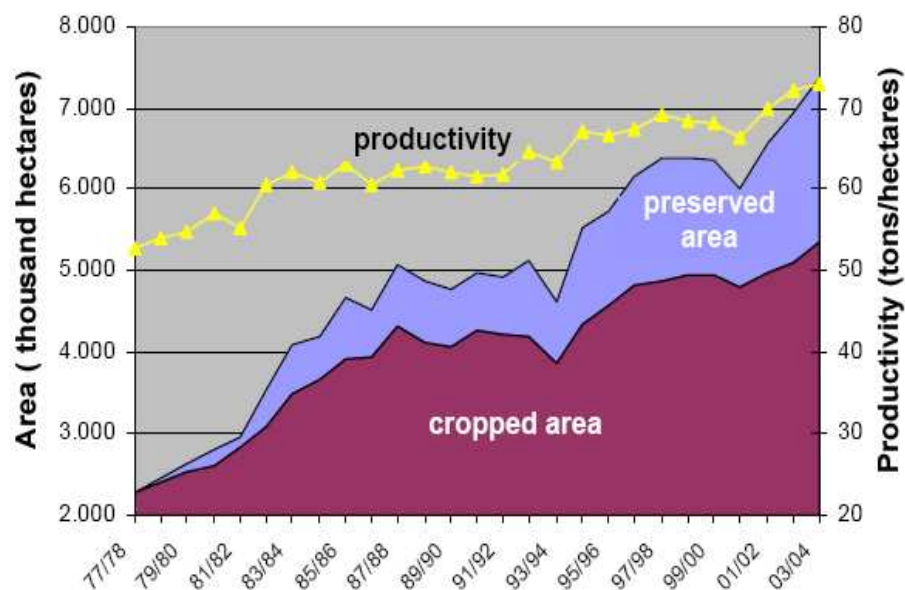
Nota: Área colhida em 2004. Terras aráveis em potencial equivalente.
Fonte: FAO, Land Resources Potential and Constraints at Regional and Country Level (2000) y FAO (2007), elaborado por ICONE.

⁶⁷ Pag 3555 Mathews, John A., Biofuel: What a Biopact between North and South could achieve, Energy Policy 35 (2007) págs 3550-3570, http://www.lean.net.au/thoughts/Biopact_paper_5Feb07.pdf

⁶⁸ CEPAL - Oportunidades y Riesgos del uso de la Bioenergía para la Seguridad Alimentaria en América Latina y el Caribe. <http://www.rlc.fao.org/prior/segalim/pdf/bioenergia.pdf>, 2007

Gráfico II⁶⁴

Cana-de-açúcar: áreas cultivadas e áreas liberadas graças a melhorias tecnológicas



Nota: 1 tonelada de açúcar: 80 litros de álcool. 1 há de cana de açúcar : 6.000l

Sobre a expansão da produção para atender ao mercado interno e externo de etanol

No Brasil, a demanda projetada pela DATAGRO para 2013/14 está distribuída da seguinte forma:

- Açúcar: 39,82 milhões tons
 - Mercado interno 12,82
 - Exportação 27,00
- Etanol 33,78 bilhões de litros
 - Mercado interno 27,88
 - Exportação 5,90
- Cana a ser moída 700 milhões de toneladas (com 145 kgs ATR/tc)

“Brazil is the world’s second-largest producer and largest exporter of ethanol. It is also expanding its production and use of biodiesel. The share of biofuels in road-transport fuel demand rises from 14% in 2004 to 23% in 2030 in the Reference Scenario and to 30% in the Alternative Policy Scenario.”⁶⁹

⁶⁹ International Energy Agency, World Energy Outlook 2006, Chapter on Brazil. Pág. 447 - <http://www.worldenergyoutlook.org/docs/weo2006/Brazil.pdf>

Em relação ao total processado em 2006/07 de 415 milhões de toneladas de cana, seria preciso aumentar a produção até 2013/14 à taxa de 7,8% a.a. Alguns fatores sugerem que essa taxa é factível: a produção cresceu 8,9% a.a entre 2000 e 2005. Além disso, o Brasil tem área agrícola disponível para comportar essa expansão da produção. A área atualmente ocupada com a cultura da cana é superior a 6 milhões de ha (de um total de 62,0 milhões de área cultivada), dos quais aproximadamente 3 milhões de ha são destinados à produção de etanol.

Para substituir 10% de toda a gasolina do mundo, seriam necessários 117,1 bilhões de etanol anidro, 19,9 milhões de ha. de cultivo da cana-de-açúcar exclusivamente para a produção de etanol. A área agricultável disponível no Brasil (excluídas áreas de proteção ambiental e florestas) é de 110 milhões de ha⁷⁰.

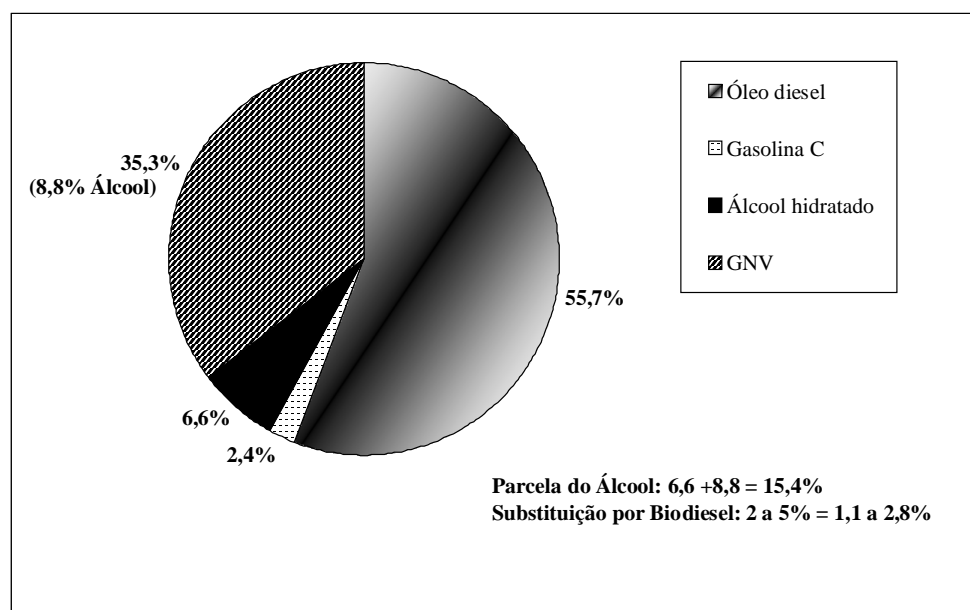
A projeção da produção de etanol deve compatibilizar:

- as demandas de açúcar para os mercados interno e de exportação, estimada em 61,5 milhões de toneladas;
- a frota (mundial) de 50 milhões de veículos leves que estaria consumindo 42,7 bilhões de litros de etanol anidro equivalente;
- ganhos de produtividade na produção de cana, etanol e açúcar avaliados como possíveis de serem obtidos.

Para atender as necessidades internas e externas em 2025, a cana-de-açúcar ocuparia cerca de 30 milhões de há. A área utilizada pelas outras culturas, que não a cana, evoluiria dos 55 milhões hectares atuais para 66,2 milhões de hectares em 2025. A área necessária para a produção dos 205 bilhões de litros de etanol, (incluídas as áreas de preservação ambiental), será de aproximadamente 40 milhões de hectares.

⁷⁰ O estudo sobre a Expansão do Proálcool elaborado sob a coordenação do Prof. Rogério Cezar Cerqueira Leite (CGEE, 2006), calcula a área disponível para a cultura da cana-de-açúcar excluindo as áreas com restrições ambientais e de declividade. A partir daí examinou-se os mapas de solos e de climas para apuração do potencial solo/clima adequados a essa cultura.

Gráfico III
Matriz atual de combustíveis veiculares⁷¹



Fonte: Ministério das Minas e Energia

Toda gasolina comercializada no Brasil tem 25% de álcool

O Estudo sobre as possibilidades e impactos da produção de grandes quantidades de etanol visando à substituição parcial de gasolina no mundo⁷² apresenta projeções para o consumo de etanol combustível⁷³ a partir da evolução da frota de veículos leves⁷⁴. Segundo o estudo, com cerca de 21 milhões de unidades, a participação dos carros flex⁷⁵ alcançará 45%

⁷¹ “Os combustíveis líquidos representam 40,1% do consumo final de energia no Brasil (2004), sendo o etanol responsável por 3,6% desse total .A participação dos combustíveis líquidos no consumo final de energia é especialmente importante, em volume, nos setores de transporte e agropecuário. O consumo de combustíveis líquidos vem caindo em relação ao consumo final de energia. O setor de transporte representa 61% do consumo de combustíveis líquidos no Brasil. O Diesel, a Gasolina, o Álcool e o Querosene representam 98,6% do consumo de combustíveis líquidos no setor de transportes. O Óleo combustível, o diesel e o GLP representam 99,8% do consumo de combustíveis líquidos na indústria.” Empresa de Pesquisa Energética, Estudos da Oferta – Recursos Energéticos: Combustíveis Líquidos, Plano Nacional de Energia 2030, Brasília, 29 de agosto de 2006 <http://www.epe.gov.br/PNE/Forms/Empreendimento.aspx>

⁷² Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético, Universidade Estadual de Campinas, Convênio: CGEE – Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, Projeto: Estudo sobre as possibilidades e impactos da produção de grandes quantidades de etanol visando à substituição parcial de gasolina no mundo. RELATÓRIO FINAL Dezembro de 2005- págs 161 e 162.

⁷³ Anidro, destinado à mistura com a gasolina, e o hidratado, utilizado nos flex fuel e na frota remanescente de carros 100% a álcool.

⁷⁴ Refere-se aos automóveis de passeio e comerciais leves, com Peso Bruto Total (PBT) de até 3,5 toneladas (ANFAVEA, 2005)

⁷⁵ “The ECU-integrated Software Flex-fuel Sensor (SFS®) makes it possible to efficiently control an ordinary SI-engine at any gasoline/ethanol mixture in the fuel reservoir. The device can manage a true flex-fuel situation without the presence of any physical fuel blend ratio-sensor or, in other words, detects instantaneously the available fuel blend”. O ECU-integrated Software Flex-fuel Sensor(SFS®) possibilita o controle eficiente de um motor SI comum com qualquer mistura no reservatório de combustível. O dispositivo pode administrar uma

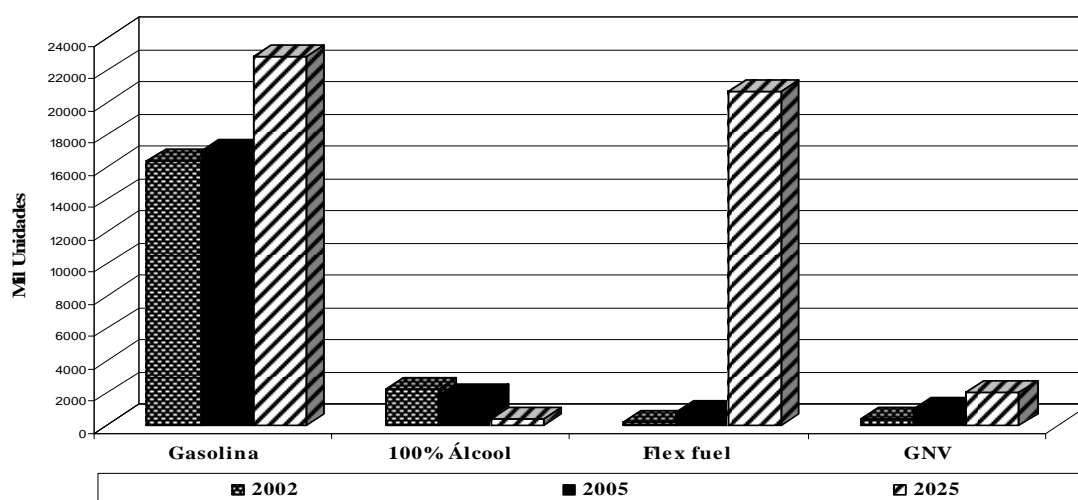
do total da frota nacional de veículos leves, em 2025. A Tabela abaixo apresenta a composição projetada.

(z) TABELA XVIII

Evolução da Frota de Veículos Leves – Brasil (2005-2025) (em mil unidades)⁷⁶

Ano	Frota total	Frota veículos leves	Gasolina	100% álcool	Flexfuel	GNV	Vendas veículos leves	Participação Flex/vendas veíc. leves
2005	23.023	21.282	17.275	1.690	1.098	1.219	1.369	80,20%
2010	28.011	25.893	16.122	1.109	6.945	1.717	1.731	85,00%
2015	34.080	31.503	17.144	765	11.687	1.906	2.209	85,00%
2020	41.463	38.328	19.907	562	15.914	1.945	2.819	85,00%
2025	50.446	46.631	23.322	443	20.899	1.967	3.598	85,00%

Gráfico IV – Composição da Frota de Veículos Leves - Brasil



situação real de combustível flexível sem a presença de nenhum sensor de taxa de mistura, em outras palavras, detecta instantaneamente a mistura de combustível disponível. *Fonte: Magneti Marelli – XVI ISAF.*

⁷⁶ A projeção da evolução da frota de veículos leves, apresentada nessa Tabela, considerou estudos do MAPA, DATAGRO e UNICA (2006) e seguem as seguintes premissas: a frota de veículos leves crescerá 4% ao ano, acompanhando a evolução do PIB do país; as vendas de veículos leves aumentarão 5% ao ano; os carros flex representarão 85% das vendas de veículos leves até 2025; a taxa de sucateamento dos carros flex é de 3,5% nos cinco primeiros anos, 5% de 2007 a 2012 e 10% até 2025; a venda de carros que utilizam gás natural veicular (GNV) é de 200 mil unidades/ano e a taxa de sucateamento desses veículos é de 7% até 2012 e 10% até 2025.

O consumo interno de etanol combustível, somadas as necessidades de etanol anidro e hidratado em 2025, seria de 42,5 milhões de m³, conforme apresentado na tabela abaixo⁷⁷.

(aa)
(bb) **TABELA XIX**
Consumo de Etanol Combustível (2025)

Veículo	Gasolina (m³)	Etanol Anidro (m³)	Etanol Hidratado (m³)
Gasolina	24.488	8.162.738	0
100% etanol	0	0	885.348
<i>Flex fuel</i>	8.360	0	33.439.057
TOTAL	32.848	8.162.738	34.324.405

Serão necessários aproximadamente 8,490 milhões de hectares para atender a uma demanda de 41,2 milhões de m³ em equivalente de etanol anidro. Os parâmetros que permitem apurar esse número são: total de 35.000 ha para cada unidade com capacidade de processar 2 milhões de toneladas por ano, na qual os parâmetros técnicos são de 85 l/tc e 89,3 tc/ha colhida, incluído um adicional de 56 % de área a título de áreas plantadas porém não colhidas e de reserva natural. O rendimento final é 4.857 litros/ha.

O Brasil tem hoje 62 milhões de hectares agriculturados com todos os produtos. Destes, mais de 6 milhões são ocupados com cana – 3,3 milhões para açúcar e 3,2 milhões para etanol. Portanto, apenas 5% da área agrícola é utilizada na produção atual de 20 bilhões de litros/ano de etanol.

Atualmente o país ocupa 200 milhões de hectares com pastagens. Desse total, 90 milhões são aptos para agricultura, dos quais 22 milhões são aptos para a cana. Supondo a ocupação integral destas terras com a cultura da cana-de-açúcar, o país poderia ampliar a sua produção de etanol em até sete vezes. Além disso, através de pesquisa agrônômica da cana-de-açúcar a produtividade de etanol por hectare seguirá aumentando consideravelmente. Especialistas afirmam que um efeito indireto da ocupação de terras de pastagens com a cultura da cana-de-açúcar resultará no aumento da produtividade da atividade de pecuária.

A disponibilidade de terras livres para a produção de cana com potencial de produção alto e bom é de 53,4 milhões de hectares. Desse potencial, 42,2 milhões de hectares estão disponíveis para a produção de cana-de-açúcar, excluindo-se as áreas já ocupadas com culturas permanentes e temporárias. Se considerados os índices de produtividade atuais, esses

⁷⁷ Os cálculos dessa tabela presumem que: um litro de álcool hidratado equivale a 0,7 litro de gasolina, que corresponde ao atual rendimento dos carros flex; um litro de gasolina contém 0,25 litro de álcool anidro; oitenta por cento dos carros flex utilizam álcool hidratado

42,2 milhões de hectares permitiriam a produção de 205 bilhões de litros de etanol. Esse volume de etanol permite o fornecimento para substituição de 10% da gasolina consumida no mundo em 2025.

A tabela XX⁷⁸ abaixo apresenta um resumo da área disponível, em 2015 e 2025, o potencial de produção de etanol segundo a divisão entre o potencial de produtividade “Alto e Bom” e “Médio”.

Tabela XX
Área Disponível em 2015 e 2025

Áreas	Área Disponível em 2015 e 2025 (ha) Participação por produtividade (%) (A;B;M)				POTENCIAL e Produção de Etanol (atual)	
					1C = 15 Destilação (ha)	Milhões (m ³)
	2015 (Ano 10)	%	2025 (Ano 20)	%	525000	2,55
Total	85.0756 .42	100	80.805.145	100	153,9	392,5
Alto + Bom	45.606.954	53,6	42.383.229	52,5	80,8	206,1

A partir da disponibilidade de terras nas áreas selecionadas, calculou-se o potencial de produção de cana-de-açúcar em 2025, incluindo a evolução projetada da produtividade da tonelada de cana-de-açúcar por hectare, para cada região do país⁷⁹. A tabela abaixo apresenta esses resultados.

⁷⁸ Pág 27 LEITE, Rogério de Cerqueira e CORTEZ, Luís Augusto Barbosa – Coordenadores, Estudo sobre as possibilidades e impactos da produção de grandes quantidades de etanol visando à substituição parcial de gasolina no mundo – Fase 2 - Relatório Final Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético – UNICAMP, Circulação Restrita, Brasília, Março, 2007.

⁷⁹ Segundo o IBGE, a produtividade, tomando-se por base médias trienais, cresceu de 1990 a 2004, à taxa média de 1,27% ao ano. Porém essa produtividade cresceu a taxas diferenciadas entre as regiões. Em São Paulo, o crescimento foi de 0,55% a.a., ao passo que no Centro-Oeste, foi de 1,1% a.a. e no Nordeste de 1,2% a.a. Ainda assim, existem substanciais diferenças de produtividade. Em São Paulo, ela é 80,7 tc/ha colhida, em 2002-2004, já no Centro-Oeste, é de 75,1 tc/ha colhida e no NE de 58,9 tc/ha colhida, ou seja, o CO tem 93% da produtividade de SP e o NE tem 72,9% da produtividade paulista, no mesmo período. As projeções consideraram um aumento das taxas de crescimento das produtividades diferenciadas: cresceria de 1,03% a.a. nos próximos 20 anos em São Paulo, de 1,375% a.a. no CO e de 2% a.a. no N-NE.

(cc) TABELA XXI⁸⁰**Potencial de Produção das 17 Áreas - Atual e 2025**

Áreas	Área disponível (em hectares)	Potencial Produção Etanol (10 ⁶ m ³)	Potencial Produção de cana-de-açúcar	Potencial Produção Etanol (10 ⁶ m ³)
	2025	Atual	2025	Atual
Área 1 - MT	5.492.367	26,7	358.233.007	30,4
Área 2 - MT	4.525.415	22,0	309.156.075	26,3
Área 3 - MT	1.706.632	8,3	63.673.306	5,4
Área 4 - GO	2.660.818	12,9	168.562.807	14,3
Área 5 - MS	2.454.101	11,9	173.747.888	14,8
Área 6 - MS	7.346.554	35,7	502.213.248	42,7
Área 7 - MG	4.337.081	21,1	304.517.689	25,9
Área 8 - E+PB+RN	1.995.919	9,7	121.014.052	10,3
Área 9 - BA+PI+MG	13.372.178	65,0	796.616.399	67,7
Área 10 - MA+TO	7.229.716	35,1	433.457.842	36,8
Área 11 - TO+GO	5.236.776	25,4	329.432.003	28,0
Área 12 - GO	5.811.972	28,2	389.654.579	33,1
Área 13 - BA	4.737.743	23,0	287.587.560	24,4
Área 14 - BA-MG	6.953.595	33,8	448.173.533	38,1
Área 15 - BA-MG	984.205	4,8	68.355.402	5,8
Área 16 - BA	3.800.571	18,5	228.574.616	19,4
Área 17 - RR	2.159.500	10,5	129.624.670	11,0
TOTAL	80.805.145	392,5	5.116.757.259	434,6
Alto+Bom	42.383.229	206,1	2.989.228.960	253,7
Médio	38.421.916	186,4	1.861.930.864	180,8

A produtividade de tonelada de cana-moída por hectare para a produção de etanol apresentaria em 2025 um aumento de 10,8%, passando dos 392,5 milhões de m³ para 434,6 milhões de m³ de etanol. Do total da área estimada para a expansão da produção de etanol, 20% referem-se à área de preservação ambiental. Desta forma, dos 40,0 milhões de hectares, uma reserva ambiental de 8,0 milhões de hectares estaria sendo desenvolvida no país⁸¹.

⁸⁰ Fonte: CGEE, 2007.

⁸¹ Equivalente a mais do que o dobro da área da Mata Atlântica, nos dias atuais, e cerca de 60% da área do Pantanal.

Esses números dão a dimensão do potencial que representa o mercado de etanol no Brasil e no mundo. Não há dúvida que a expansão da cultura e do processamento do etanol vai acontecer. Muitas questões estão postas para o futuro do setor.

Sobre os investimentos que resultarão na expansão da produção

Os investimentos em destilarias não se distribuirão de forma homogênea ao longo do tempo. Estima-se que no auge da expansão o volume de investimento anual ultrapassará a barreira de 3% podendo atingir 10% do volume de FBCF da economia brasileira em 2025. O volume anual de investimento ultrapassaria os R\$ 35 bilhões em alguns anos⁸².

Esse volume de investimentos não envolve a parte de logística que está avaliada em US\$14,5 bilhões, caso seja usada predominantemente a modalidade dutoviária. Esse investimento seria suficiente para escoar até 260 milhões de m³ de etanol. Ao todo o volume de investimento a ser realizado, contemplando os investimentos em produção e transporte, seria de R\$ 402 bilhões.⁸³

Diante de todo esse volume de investimento é de vital importância a capacidade de fornecimento de máquinas e equipamentos para a expansão da produção ao longo do tempo. O setor de bens de capital tem sido capaz de fornecer satisfatoriamente ao setor sucroalcooleiro dentro da tecnologia atual. Cabe garantir a adequação da capacidade produtiva e das competências necessárias para o desenvolvimento dos equipamentos necessários à fabricação dos combustíveis de segunda geração.

Os fornecedores de equipamentos industriais podem ser classificados segundo quatro categorias:

- aqueles que fornecem todo complexo industrial (inclusive o projeto do mesmo, sua implementação e inicialização da operação, estes fornecedores produzem parte dos equipamentos e contratam os demais);
- fornecedores de equipamentos de grande porte (moendas, caldeira, turbinas, destilarias);
- fornecedores de equipamentos auxiliares (fornecem esteiras, redutores, bombas, válvulas);

⁸² A título de comparação, a Petrobras investiu, em 2006, R\$ 33,7 bilhões no conjunto de atividades tanto no país quanto no exterior. A mesma empresa deverá investir, em valores atuais, R\$ 32 bilhões anualmente, somente no território nacional, entre 2007 a 2011.

⁸³ Fonte: CGEE, 2007

- fornecedores de acessórios (equipamentos de apoio: tubulações, cabos, ferramentas);

Os dois últimos grupos usualmente atendem a outros setores e mostram maior agilidade na incorporação de inovações tecnológicas e melhorias gerenciais. Estes tendem a apresentar capacidade de aumentar expressivamente sua capacidade de fornecimento ao setor. Já os dois primeiros grupos apresentam evolução técnica mais lenta e estão, no momento, no limite da capacidade de produção.⁸³

Os principais fabricantes estão localizados nas regiões de Piracicaba e Ribeirão Preto no Estado de São Paulo. A maioria deles oferece um portfólio variado de produtos e alegam ter grande interesse em desenvolver novos produtos e/ou melhorar a tecnologia ofertada. No entanto, não é comum a essas empresas ter uma área ou departamento específico destinado à pesquisa e desenvolvimento.

Em vista da extensão e do grau de sofisticação dos projetos de engenharia de equipamentos que se espera do setor, os recursos de P&D dos fabricantes de equipamentos parecem ser insuficientes. O desenvolvimento de vários dos novos processos que serão descritos adiante (no capítulo 4), ainda que do ponto de vista mecânico de baixa complexidade, vai exigir capacidade de engenharia.

Observa-se que os desenvolvimentos descritos nos capítulos anteriores e que foram realizados pelas empresas nos últimos 30 anos resultaram mais do processo de observação e aprimoramento incremental do que de esforços sistemáticos de pesquisa. Os projetos mais inovadores se originaram a partir de equipes de engenharia estruturadas como as da Copersucar, do CTC e alguns centros de pesquisa oficiais.

É comum encontrar empresas cujas equipes de engenharia são formadas em sua maior parte por técnicos de nível médio atuando em desenho computadorizado e documentação de engenharia para fabricação⁸⁴.

Provavelmente os desenvolvimentos do hardware necessário para a efetivação em escala industrial das tecnologias disruptivas que estão anunciadas demandarão a constituição de parcerias das empresas com entidades de pesquisa especializadas nas diferentes áreas⁸⁵. Nas etapas mais adiantadas do desenvolvimento será também necessário estabelecer parceria com equipes de produção das destilarias e da lavoura.

⁸⁴ Entrevistas e visitas “as principais empresas fornecedoras de equipamentos ao setor.

⁸⁵ eletrônica embarcada, otimização estrutural, simulação dinâmica, mecânica de veículos fora de estrada, fabricação e controle de qualidade, agricultura de precisão

É importante destacar que nesse momento os fornecedores de máquinas e equipamentos estão com sua capacidade produtiva no limite. No atual contexto de demanda, não é prioridade o investimento em pesquisa e desenvolvimento, mas sim na ampliação da capacidade para atender a demanda imediata e crescente⁸⁶. A proporção de venda de equipamentos entre as empresas nacionais e as estrangeiras tem sido favorável ao país, mas esse quadro pode mudar.

O desenvolvimento de um ambiente inovador vai implicar na adaptação da cultura das empresas que tradicionalmente não realizam projetos de P&D&I, que alegam não ter condições de investir e não têm experiência na realização de projetos de pesquisa em cooperação com universidades e institutos de pesquisas e na obtenção de apoio financeiro para tal.

⁸⁶ Informações colhidas diretamente com os fabricantes revelam que empresas têm praticado um prazo de entrega de 24 meses na média.

1) CAPÍTULO IV
A USINA DO FUTURO

2) CAPÍTULO IV: A USINA DO FUTURO

4.1. INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS QUE ESTÃO SENDO DESENVOLVIDAS E QUE PODERÃO SER INCORPORADAS AO PROCESSO DE PRODUÇÃO INDUSTRIAL

O capítulo II apresentou uma variedade de avanços técnicos que vêm sendo implementados no parque industrial sucro-alcooleiro brasileiro. Conforme o que foi descrito, a difusão de inovações incrementais tem ocorrido e resultado em ganhos de produtividade bastante significativos. Esse processo continuará ocorrendo em paralelo a outras rotas de inovação na fabricação de biocombustíveis, parte delas tratadas a seguir. Novas rotas tecnológicas podem representar uma quebra no paradigma de fabricação do etanol no futuro. Os impactos sobre um setor tão fortemente caracterizado pela continuidade na tecnologia de produção podem ser muito grandes.

Em todo mundo estão sendo realizadas pesquisas no desenvolvimento de alternativas energéticas a partir de diferentes tipos de biomassa. O quadro abaixo recapitula os processos que transformam as diferentes fontes em biocombustíveis líquidos e gasosos além de bioeletricidade e calor. O marco de passagem para o futuro parece ser, conforme apresentado no capítulo II, a bioeletricidade, o reaproveitamento ou a transformação dos resíduos da cana-de-açúcar, o bagaço e a própria palha.

Apresentamos na próxima seção dados que permitem a caracterização da biomassa residual. Na seção subsequente, são apresentados aspectos técnicos da hidrólise e da gaseificação, justamente os dois processos que estão em desenvolvimento e que caracterizam a quebra de paradigma na transformação da biomassa residual da fabricação de etanol, de bioeletricidade e de biocombustível. Na sequência, uma nova seção apresenta experiências de pesquisa nacionais e internacionais, formando um painel do desenvolvimento científico aplicado associado às tecnologias disruptivas. O levantamento das experiências não é exaustivo e pretende dar uma dimensão da variedade de experiências e dos tipos de arranjo que estão sendo construídos para viabilizá-las. Seguramente, inovações incrementais também serão desenvolvidas e implementadas nos próximos anos, resultando em ganhos de produtividade substanciais. Essa seção também contempla ganhos incrementais esperados e

consolida os impactos a partir de sua implementação. Em seguida são apresentadas duas versões para a Usina no futuro. A última seção deste capítulo apresenta um conjunto de esforços necessários para viabilizar o desenvolvimento e a implementação das novas tecnologias.

(dd) **TABELA XXII**

Principais Cenários de Desenvolvimento Tecnológico com Rotas Energéticas Baseadas em Vetores Biocombustíveis – Formas de Energia para o Usuário Final

	Fontes Primárias de Energia	Processo Primário
Combustíveis líquidos		
Etanol	Cana-de-açúcar	Fermentação-Destilação
Etanol	Milho, mandioca e sorgo	Sacarificação-Fermentação-destilação
Etanol	Bagaço e palha de cana, switchgrass, etc.	Hidrólise (ácida e enzimática)
Metanol	Bagaço e palha de cana, casca de arroz, switchgrass, etc	Gaseificação e síntese posterior
Biodiesel .	Dendê, mamona, soja, gordura animal, etc	Transesterificação
Combustíveis F-T	Resíduos de Biomassa	Gaseificação e síntese posterior
Combustíveis gasosos		
Biogás	Resíduos sólidos municipais	Fermentação Anaeróbica
Hidrogênio	Resíduos de Biomassa	Reforma de Metanol, Etanol e rota Syngas
Energia elétrica		
Energia elétrica	Biomassa(casca de arroz, resíduos de madeira, etc.)	Gaseificação, Combustão e Pirólise
Energia elétrica	Bagaço de cana-de-açúcar, Licor Negro, etc.	Combustão(Co-geração)
Calor de processo		
Calor	Carvão vegetal Madeira	Carbonização
	Resíduos de madeira, biomassa vegetal em geral	Combustão, Gaseificação e Pirólise

Fonte: UNIFEI - <http://www.nest.unifei.edu.br/portugues/Novidades/GERA/Dia%2013/3-Edgardo-Olivares-Gomez.pdf>

Sobre o bagaço e a palha

O bagaço não é uma biomassa homogênea. Ele apresenta variações em sua composição, assim como na sua estrutura morfológica em função dos procedimentos de corte e de processamento industrial.

Vários aspectos determinam a sua composição, tais como:

- A realização ou não da despalha a fogo (*queima do canavial*) prévio ao corte;

- Os procedimentos de colheita e carregamento com maior ou menor arraste de terra, areia e resíduo vegetal (corte manual, mecânico, cana picada, corte incluindo o ponteiro etc);
- O tipo de solo onde a cana é cultivada (latossolos, solos arenosos, outros);
- Os diferentes procedimentos de limpeza da cana⁸⁷.

Influem também a geometria e outros detalhes construtivos das mesas de limpeza, assim como o volume de água aplicada por tonelada.

A composição do bagaço e da palha a partir de dados da literatura técnica (ICICDA)⁸⁸ estão resumidos na tabela abaixo.

(ee) **TABELA XXIII**
Composição do Bagaço e da Palha

Composição (%) base seca	Bagaço	Palha
Celulose	46,6	45,1
Pentosanos	25,2	25,6
Lignina	20,7	14,1
Cinzas	2-3	8
Outros	5,5-4,5	7,2
Umidade.	48-52	9,7

Apesar de muito semelhante, o bagaço, seus componentes e a palha apresentam diferenças importantes que resultam na necessidade de tratamentos diferenciados e aproveitamentos diferentes. Dentre os componentes a fibra é a mais indicada para o uso em hidrólise. Para esse processo o teor de cinzas deverá ser reduzido ao mínimo. A medula deve ser preferencialmente direcionada para as caldeiras.

A quantidade de bagaço disponível é diretamente relacionada à eficiência energética da Usina, que resulta justamente da otimização do sistema de produção de vapor e energia. Nas usinas atuais a configuração recomendada opera com geração de vapor na pressão de 65-90 bar e emprega turbinas e geradores de alta eficiência. Isso permite geração de excedentes de bagaço da ordem de 50%, ou mais, do bagaço total (280 kg por tonelada de cana).

⁸⁷ Entre eles, a seco por revolvimento, em mesas, limpeza com arrasto por corrente de água, limpeza pneumática

⁸⁸ <http://www.icidca.cu/Estudios de las mieles finales de la caña de azúcar>

Estimativas sobre recuperação de palha indicam um adicional recuperável de biomassa ligno-celulósica da ordem de 140 kg por tonelada de cana, expresso em *bagaço equivalente*.

Hidrólise

O bagaço da cana-de-açúcar é uma matéria-prima adequada para produção de biocombustíveis pelo processo de hidrólise por vários motivos: está disponível em grandes volumes a um custo bastante baixo no próprio local de processamento, não requerendo preparo nem custos de transporte. Ao longo do tempo espera-se obter valores da taxa de conversão que variam de 69 litros de etanol por tonelada de bagaço úmido (50%) até 149 l/t, dependendo do estágio tecnológico.

Duas rotas são factíveis de adoção para a realização da hidrólise da biomassa: a rota ácida e a enzimática. Ambas estão em processo de maturação para aplicação em escalas industriais. As duas alternativas para hidrólise da biomassa da cana requerem operações físicas e químicas de pré-tratamento. A perspectiva de maturação comercial da tecnologia pela via ácida é mais de curto prazo do que a via enzimática. No entanto, esta segunda rota potencialmente atingirá eficiências de conversão comparativamente maiores. A rota ácida provavelmente envolverá altos custos decorrentes de problemas de corrosão e aumento da resistência dos materiais. A julgar pela destinação de recursos para pesquisa, a rota enzimática parece ser considerada mais promissora pelos investidores. Não existem muitos relatos de experiências envolvendo a hidrólise ácida (adiante será mencionada a experiência a DEDINE nessa rota).

A produção de etanol seria aumentada a partir da **hidrólise** e fermentação dos carboidratos da biomassa, pois em **1ton** de biomassa teríamos:

	Kg	hidrólise		Kg	fermentação	litros
celulose	200	-----> glicose	209	----->	etanol	123
hemicelulose	158	-----> xilose/arabinose	126	----->	etanol	63
lignina	100				TOTAL:	186
proteínas	17					
cinza	25					
água	500					

Ou seja, serão 85 l/ton obtidos no processo de produção convencional, totalizando 186 litros produzidos através dos dois processo de produção.

O grande problema para utilização de biomassa é que a levedura, *Saccharomyces cerevisiae*, utilizada atualmente na fermentação da sacarose presente no caldo de cana-de-açúcar não fermenta as pentoses (5 átomos de carbono, a xilose e a arabinose) que estão presentes na hemicelulose.

Assim a utilização da lignocelulose como matéria prima para o processo de fermentação impõem característica essenciais aos **microorganismos** para que estes possam fermentá-la. Estes microorganismos podem ser obtidos da natureza ou modificados por técnicas de engenharia genética. Além disto os componentes da biomassa estão fortemente ligados e necessitam de pré-tratamento, para serem expostos e assim permitir que a hidrólise possa acontecer.

(ff) **TABELA XXIV**

Impacto da hidrólise para obtenção de etanol

	Litros de etanol / TC	Litros de etanol /ha	TC / ha
2005 – Situação atual. Produção de etanol somente de açúcares extraídos da cana.	85	6800	80
2006-2010 – Introdução da hidrólise.	88,1	7050	83
I - 2010-2015 - Emprega-se o bagaço excedente (15%) e se inicia a recuperação de resíduos da colheita (10%).	91,1	7290	86
II - 2015 – 2020 - Emprega-se o bagaço excedente (30%) e resíduos de colheita (20%)	97,3	7780	92
III - 2020 em diante - Emprega-se o bagaço existente (50%) e resíduos da colheita (50%).	104,1	8330	98

Fonte: CGEE - 2006

O potencial do bagaço para produção de etanol será crescente em decorrência do avanço da tecnologia de hidrólise no tempo. O impacto desse avanço está apresentado na Tabela acima (Tabela XXIV). Ocorrerão aumentos gradativos da eficiência de conversão de hexoses e pentoses para hidrólise catalisada por ácidos diluídos (hidrólise ácida) e por enzimas (hidrólise enzimática) e a subsequente fermentação das pentoses a etanol.

Segundo dados de performance das tecnologias de hidrólise publicados pode-se estimar que os estágios de desenvolvimento ocorram da seguinte forma:

1. Pré-tratamento e hidrólise ácida diluída;

2. Pré-tratamento e hidrólise ácida diluída com aproveitamento das hexoses e otimização da reação de hidrólise;
3. Pré-tratamento e hidrólise ácida diluída com aproveitamento das hexoses e pentoses, otimização da reação de hidrólise;
4. Pré-tratamento e hidrólise enzimática com aproveitamento das hexoses;
5. Pré-tratamento e hidrólise enzimática com aproveitamento das hexoses e pentoses, com tecnologia otimizada.

Os estágios descritos acima estão sintetizados na Tabela XXV, abaixo.

(gg)

(hh) **TABELA XXV**

**Potencial de transformação do bagaço em etanol por estágio
(litros/tonelada de bagaço)**

Estágio	Conversões previstas	Etanol Hexoses	Etanol Pentoses	Etanol Total
1	Hexoses: 60% - fermentação: 89% Pentoses: 70% - fermentação: 0% Destilação: 99,5%	69,1	0	69,1
2	Hexoses: 80% - fermentação: 91% Pentoses: 78,5% - fermentação: 0% Destilação: 99,75%	94,2	0	94,2
3	Hexoses: 80% - fermentação: 91% Pentoses: 85% - fermentação: 50% Destilação: 99,75%	94,2	37,2	132,2
4	Hexoses: 85% - fermentação: 89% Pentoses: 70% - fermentação: 0% Destilação: 99,5%	97	0	97
5	Hexoses: 95% - fermentação: 91% Pentoses: 85% - fermentação: 50% Destilação: 99,75%	111,4	37,9	149,3

A hidrólise ácida

O processo de hidrólise ácida aqui descrito está em desenvolvimento pela Dedini Indústrias de Base em conjunto com outros parceiros. Ele consiste da transformação do

material ligno-celulósico em seus carboidratos monômeros através da dissolução da lignina em solvente aquo-orgânico para rompimento da celulose. A hemi-celulose e a celulose sofrem hidrólise química catalisada por ácido diluído. Este processo é denominado **organosolv** e pode ser combinado a processos de hidrólise catalisados por ácidos ou por enzimas.

A aposta na hidrólise ácida se baseia no fato desta ser uma tecnologia já testada industrialmente. No entanto, condições desfavoráveis levaram a baixos rendimentos e elevado consumo energético. Um aspecto positivo da tecnologia é a flexibilidade que permite integrar o processo a outras tecnologias:

- Pré-tratamento e hidrólise por ácidos simultânea (tecnologia em teste);
- Pré-tratamento seguido de um estágio de hidrólise ácida;
- Pré-tratamento seguido de um estágio de hidrólise enzimática

A hidrólise enzimática

A hidrólise enzimática promove a quebra da celulose a partir de enzimas⁸⁹. A grande dificuldade deste processo é a identificação e produção das enzimas adequadas ao substrato a ser hidrolisado e em escalas industriais. O processo será realizado em reatores e provavelmente se buscará viabilizar a produção das enzimas nas próprias usinas junto à unidade de produção de etanol.

Pesquisadores dinamarqueses da DTU (Universidade Técnica da Dinamarca) estão testando um processo completo e integrado de produção de etanol de segunda geração a partir da palha de trigo, através de hidrólise enzimática. A biomassa passa por um pré-tratamento, no qual são separadas a celulose, a hemicelulose e a lignina (material estrutural da planta). A celulose passa então pelo processo de hidrólise enzimática. O açúcar resultante, uma hexose, pode então ser fermentado para produção de mais etanol. A hemicelulose, porém, gera um outro tipo de açúcar, uma pentose, que precisa ser fermentado por um processo diferente, com o uso de microorganismos adaptados. Com isso, mais etanol é produzido. A lignina pode ser queimada, gerando energia para a realização desse procedimento. Vários países têm pesquisas avançadas em partes do processo, mas a eficiência energética gerada pelo processo dinamarquês é possivelmente maior, pois muito pouco do potencial energético do bagaço é perdido. As vantagens do processo se devem à experiência do país em dois momentos-chave:

⁸⁹ Enzimas são substâncias, normalmente proteínas, que catalisam uma reação química, permitindo que ela ocorra em condições diferentes das normais (mais rapidamente ou em temperatura mais baixa). Isso permite economizar tempo, energia ou uso de outros produtos químicos.

o pré-tratamento do bagaço e as enzimas. Uma usina-piloto com o processo completo de etanol de segunda geração funciona no campus da DTU, em Ljungby. O país constrói uma usina de demonstração, na ilha de Bornholm, ao custo de US\$ 50 milhões, com capacidade de 10 milhões de litros por ano.

A IOGEN Corporation, localizada em Ottawa no Canadá instalou sua primeira unidade de demonstração de processo de hidrólise de palha de trigo catalisada por enzimas, com capacidade para produzir até 7600 litros por dia de etanol. A empresa projeta ampliar a capacidade do processo para uma unidade comercial de 45 bilhões de litros por ano, assim que a tecnologia for demonstrada. Na configuração atual o processo rende aproximadamente 283,5 litros de etanol por tonelada de palha de trigo.

A enzima celulase é produzida diretamente na IOGEN, que é um fabricante tradicional de enzimas industriais (principalmente amilases para sacarificação de grãos de cereais). Os esforços da empresa estão voltados para o desenvolvimento da enzima celulase numa perspectiva que abrange todo o processo: pré-tratamento da matéria prima, sacarificação, fermentação e recuperação de etanol, integração com uma destilaria de produção de etanol de cereais, melhoramento da eficiência da celulase e desenvolvimento de uma rota fermentativa para transformação das pentoses em etanol.

Até o momento a IOGEN não viabilizou um processo comercial para sacarificação (hidrólise) enzimática e produção de etanol de resíduos ligno-celulósicos. A produtividade das enzimas é um dos pontos críticos da tecnologia. A empresa também não tem uma solução disponível para transformação das pentoses em etanol (de forma que ainda será necessário desenvolver solução para a hidrólise das pentoses). Os licores hidrolíticos finais possuem um título muito baixo de ART (açúcar total resultante, justamente o índice que mede a produtividade de conversão do substrato em etanol), levando a um consumo energético elevado. A eficiência de conversão de hexoses pela via enzimática atende as expectativas e o avanço desta tecnologia depende fundamentalmente de um aumento de produtividade do complexo de celulase (a celulase é a enzima, o complexo de enzimas que promove a hidrólise da celulose). Processos tais como a sacarificação e fermentação simultânea estão bastante longe de poder ser levado à prática industrial. A IOGEN descarta o emprego dos mesmos em curto prazo.

Atualmente a IOGEN conta com uma forte participação da PetroCanada e da Shell.

Gaseificação

Por todo mundo, especialistas estão investindo esforços na viabilização da gaseificação de diferentes substratos para produção de combustíveis líquidos e gasosos. A tecnologia de gaseificação é utilizada desde a Segunda Guerra Mundial pela Alemanha na conversão de carvão mineral em combustível (processo ‘Fischer-Tropsch’), o desafio atual é fazer o mesmo como a biomassa com economicidade. Similares de diesel e gasolina são produzidos a partir de carvão mineral, gás natural e biomassa.

Os sistemas que se baseiam na gaseificação de carvão mineral e de óleos muito viscosos são conhecidos como ‘Integrated Gasification to Combined Cycles’ – IGCC (existem 20 plantas em operação em todo mundo). A versão que usa biomassa é conhecida como ‘Biomass Integrated Gasification to Combined Cycles’ – BIG-CC (apenas uma unidade operou com essa tecnologia até o momento).

Por poder ser produzida a partir de várias matérias-primas considera-se essa alternativa com uma opção estratégica, ainda que implique em maiores investimentos e longo prazo de maturação. Uma vez desenvolvida, a implementação dessa tecnologia implicaria em menores investimentos em infra-estrutura.

Desde os anos 90 as tecnologias de gaseificação estão em estudo no Brasil. IPT e CIENTEC realizaram estudos com plantas piloto. O CENBIO está estudando o desempenho de sistemas desenvolvidos na Índia. Um projeto da CHESF com parceria internacional está finalmente desenvolvendo uma instalação para operar com madeira, utilizando gaseificador de leito circulante, atmosférico. A Copersucar está desenvolvendo tecnologia para integrar um sistema de gaseificação a uma Usina de açúcar. Ambos os projetos usam a tecnologia TPS e demandam algumas centenas de milhares de dólares para as plantas de demonstração.

“Estas unidades seriam úteis para acelerar o processo de redução de custos pelo ‘aprendizado’. Nos dois casos, o desenvolvimento próprio no país e o contato com as tecnologias de ponta no exterior foram muito úteis, e um programa para sua plena utilização deve ser implementado. Apenas as tecnologias específicas de gaseificação/limpeza dos gases e das turbinas a gás, não são de propriedade nacional; mas a fabricação deverá ser feita no país (gaseificador e todos os periféricos/auxiliares seriam nacionais)”.⁹⁰

90 Carneis, Dean William, Mapeamento de competências e infra-estrutura no setor de energia – Etapa1, CTEneg – Secretaria Técnica do Fundo Setorial de Energia, Centro de Gestão e Estudos Estratégicos – Ciência, Tecnologia e Inovação – Brasília, Fevereiro de 2003 – págs. 24 e 25 http://ftp.mct.gov.br/fontes/Fundos/Documentos/CTEneg/cteneg02mapeamento_comp.pdf.

O IPT – Instituto de Pesquisa Tecnológica tem desenvolvido estudos⁹¹ sobre a tecnologia de gaseificação visando o aproveitamento de toda a biomassa da cana, através da sua conversão em gás e posterior liquefação deste gás em etanol. Segundo os pesquisadores do IPT, o rendimento desse processo é o dobro do processo por hidrólise enzimática porque ele não distingue os componentes celulares da planta.

Na gaseificação a biomassa passa, num primeiro momento, pelo gaseificador, sendo convertida em um gás de síntese com uma eficiência de conversão de 90%. Dessa etapa podem resultar diferentes subprodutos tais como o biodiesel, a biogasolina e a amônia. Na etapa seguinte o gás é resfriado e passa por um processo de limpeza para retirada de resíduos como metano e alcatrão⁹². O gás já limpo é composto por hidrogênio e monóxido de carbono, e é finalmente comprimido sucessivas vezes, se transformado em etanol.

O custo inicial de uma usina que produza etanol a partir do processo de gaseificação seria da ordem de US\$ 100 milhões. Os pesquisadores do instituto estimam o custo de produção da tonelada de etanol em US\$ 500. Ainda que esse valor seja superior aos US\$ 300 gastos em outros processos, são previstos ganhos de escala o que aumenta a competitividade da tecnologia.

Outra rota tecnológica prevê a utilização dos gases gerados a partir da biomassa para co-geração de eletricidade explorando de forma muito eficiente o potencial de conversão da biomassa em energia⁹³. A tecnologia que poderia ser empregada substitui o uso de caldeiras ligadas a turbinas a vapor por gaseificadores ligados a turbinas a gás com impacto muito significativo na geração de excedente de bioeletricidade.

“No que tange as turbomáquinas, em especial à turbina a gás, os aspectos técnicos estão solucionados e a utilização dos gases de baixo poder calorífico resultantes da gaseificação da biomassa é exequível. O aspecto mais significativo que merecerá sempre maior atenção é a qualidade do gás em termos de impurezas físicas ou químicas, e este ponto é mais relacionado ao desenvolvimento dos gaseificadores. É justamente no processo de

⁹¹ Segundo dados do IPT, o aproveitamento energético atual numa usina média está em torno de 21%. Essa taxa pode subir para 50% caso se atinja um aproveitamento de 45% do bagaço e de 50% da palha. Tal investimento reduziria também o consumo do vapor d'água de 540 para 340 quilos por tonelada de cana processada. Desperdício energético Murilo Alves Pereira, Álcool brasileiro apresenta desperdício energético por falta de tecnologia, AGENCIA FAPESP, 04/09/2007.

⁹² Em estudo iniciado em 1999, o IPT procurou reduzir a quantidade de resíduos gerados nas primeiras fases do processo. Naquela época a produção era de 10,7 gramas de metano por metro cúbico de gás e 14,6 g/m³ de alcatrão. Em 2005, utilizando um outro catalisador, esses valores foram reduzidos para, respectivamente, 5 g/m³ e 3,5 g/m³.

⁹³ NETO, Vicente Correa. “Análise de Viabilidade da Cogeração de Energia Elétrica em Ciclo Combinado com Gaseificação de Biomassa de cana-de-açúcar e Gás Natural”.

gaseificação da biomassa e no gaseificador em si que se concentram a maioria das questões ainda em estudo”. *Vicente Correa Neto, “Análise de Viabilidade da Cogeração de Energia Elétrica em Ciclo Combinado com Gaseificação de Biomassa de cana-de-açúcar e Gás Natural”.*

A seguir são apresentados a descrição das diferentes tecnologias (Quadro VI), e dados (Tabela XXVI e XXVII) que comparam a performance da tecnologia de gaseificação com a co-geração realizada a partir da combustão direta em caldeiras. As alternativas consideradas são:

- CTCE – Ciclo Tradicional de Contrapressão Modificado para geração Máxima de Excedentes de Energia Elétrica
- CESTa – Condensing Extraction Steam Turbine – Alta tecnologia
- CESTb - Condensing Extraction Steam Turbine – Baixa tecnologia
- BIG-STIG – Biomass Integrated gasification Steam Injected Gás Turbine
- BIG-GTCC – Biomass Integrated Gasification Gás turbine Combined Cycle

Quadro IV

TECNOLOGIA	DESCRIÇÃO
CTCE – Ciclo Tradicional de Contrapressão Modificado para geração Máxima de Excedentes de Energia Elétrica	Ciclo de condensação e extração em que o vapor ao final da realização do trabalho na turbina a vapor é total ou parcialmente condensado e a parcela de vapor necessária ao atendimento dos requisitos mecânicos e térmicos dos processos produtivos é fornecida por extração de vapor na turbina e um ponto intermediário da expansão e pelo vapor de contrapressão das turbinas de acionamento mecânico.
CESTa – Condensing Extraction Steam Turbine – Alta tecnologia	Ciclo de co-geração <i>topping</i> com elevação da eficiência e da potência gerada através da elevação da pressão e temperatura do vapor gerado, maiores eficiências das turbinas e caldeiras, estas do tipo com câmaras de combustão de biomassa em suspensão, diversos trocadores de calor como os pré-aquecedores de ar, os economizadores, os superaquecedores, re-aquecedores, os condensadores e os aquecedores intermediários de água de alimentação das caldeiras, entre eles os desaeradores.
CESTb - Condensing Extraction Steam Turbine – Baixa tecnologia	Ciclo tradicional de co-geração <i>topping</i> alterados para tornarem-se de condensação e extração. As modificações estão restritas à elevação da pressão e da temperatura do vapor gerado, maiores eficiências das turbinas e das caldeiras, estas contando apenas com economizadores e superaquecedores de vapor, sem níveis intermediários de aquecimento da água de alimentação das caldeiras e com processo de câmara de combustão mais simples e tradicionais.
BIG-STIG – Biomass Integrated gasification Steam Injected Gás Turbine	Ciclo de turbina a gás com injeção direta de vapor na turbina a gás - O vapor fornecido ao processo é oriundo diretamente da caldeira de recuperação usando o calor dos gases de exaustão da turbina a gás.
BIG-GTCC – Biomass Integrated Gasification Gás turbine Combined Cycle	Integra turbinas a gás, recuperadores de calor e turbinas à vapor em um ciclo combinado - vapor de processo oriundo de estágios de extração da turbina a vapor e da caldeira de recuperação.

(ii) TABELA XXVI

(i) Geração Específica de Energia Elétrica dos Projetos⁹⁴

Geração Específica de Energia Elétrica				
	CTCE	CEST	BIGSTIG	BIGGTCC
	(kWh / ton cana)			
Safra	40	55	221	279
Entressafra	0	70	257	309
Total	40	60	233	289
	(kWh / ton biomassa)			
Safra	184	197	788	998
Entressafra	-	249	919	1103
Total	184	214	831	1032

(jj) TABELA XXVII⁹⁰

Consolidação dos dados Técnico-Econômicos dos Projetos

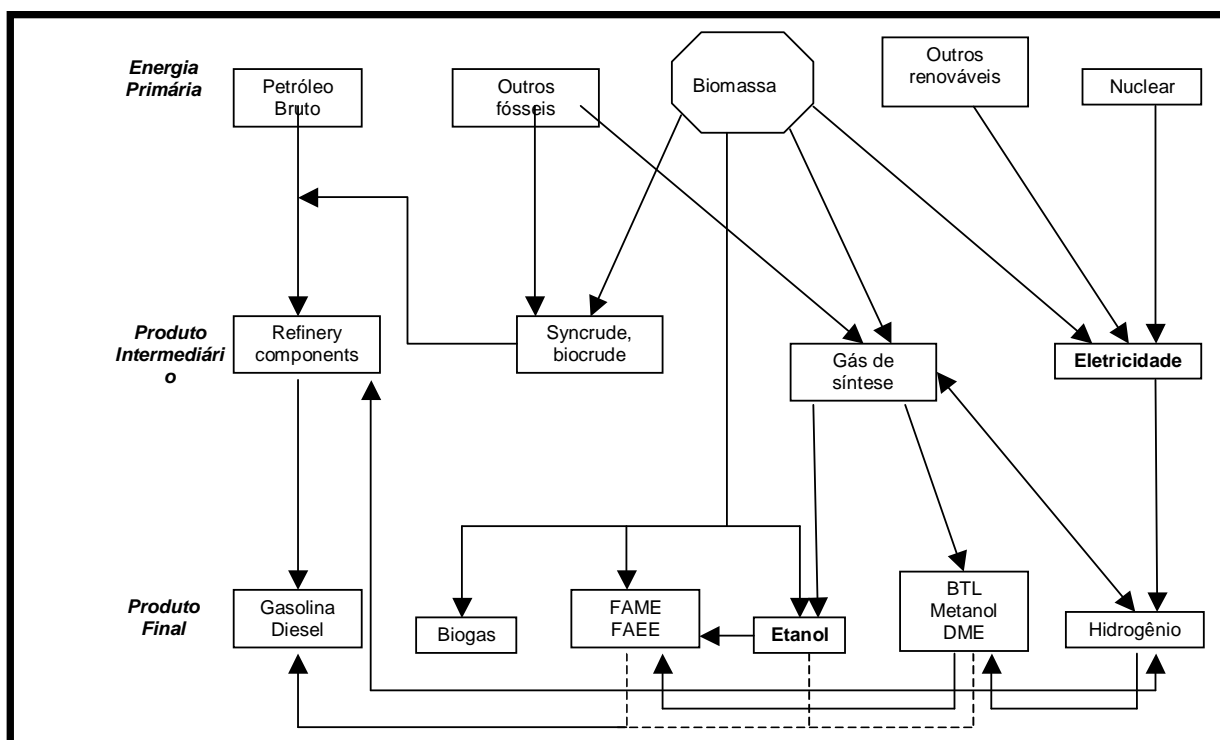
Parâmetros	Tecnologia de Geração com Biomassa				
	CTCE	CESTB	CESTA	BIG-STIG	BIG-GTCC
Parâmetros Técnicos					
Temperatura de Operação do Ciclo Vapor (oC)	525	525	515		
Pressão de Operação do Ciclo Vapor (Mpa)	8,5	8,5	8,7		
Produção de Vapor (kg vapor / ton cana)	450	575	840	300	300
Eficiência das Caldeiras - Base PCSu (%)	67%	67%	84,50%		
Consumo de Energia Elétrica (kWh/ton cana)	12,5	18	18		18
Consumo de Vapor de Processo (kg vapor/ton cana)	450	320	320		300
Geração de Energia Elétrica					
Co-geração (kWh/ton cana)	4	55	95	220	285
Geração Pura (kWh/ton cana)		70	150	260	315
Eficiência das Turbinas (%)	50%	50%	75%		
Eficiência da Geração Termoelétrica					
Co-geração (%)	7,00%	7,50%	12,70%	30%	38%
Geração Pura (%)	-	9,50%	20%	35%	42%
Excedente de Bagaço	0	0%	0%	0	0
Escala até (MW)	50	50	100	150	150
Parâmetros Econômicos					
Custo da Instalação (US\$/kW)	500	600	1550	1150	1400
Custo Fixo Anual O&M (US\$/kW)	10	20	50	43	45
Custo Variável (10-3 US\$ / kWh)	0,5	1,5	3	10	3

⁹⁴ CORRÊA NETO, V; RAMON, D. Análise de Opções Tecnológicas para Projetos de Co-geração no Setor Sucroalcooleiro.

Em resumo, várias rotas podem ser desenvolvidas e os resultados podem ser altamente atraentes, principalmente tendo-se em vista o encarecimento recente – e tendencial- da energia elétrica.

A seguir apresentamos algumas ilustrações que pretendem posicionar as tecnologias emergentes de fabricação de etanol e produção de bioeletricidade no contexto do desenvolvimento tecnológico de biocombustíveis.

Fontes Primárias e Produto Final



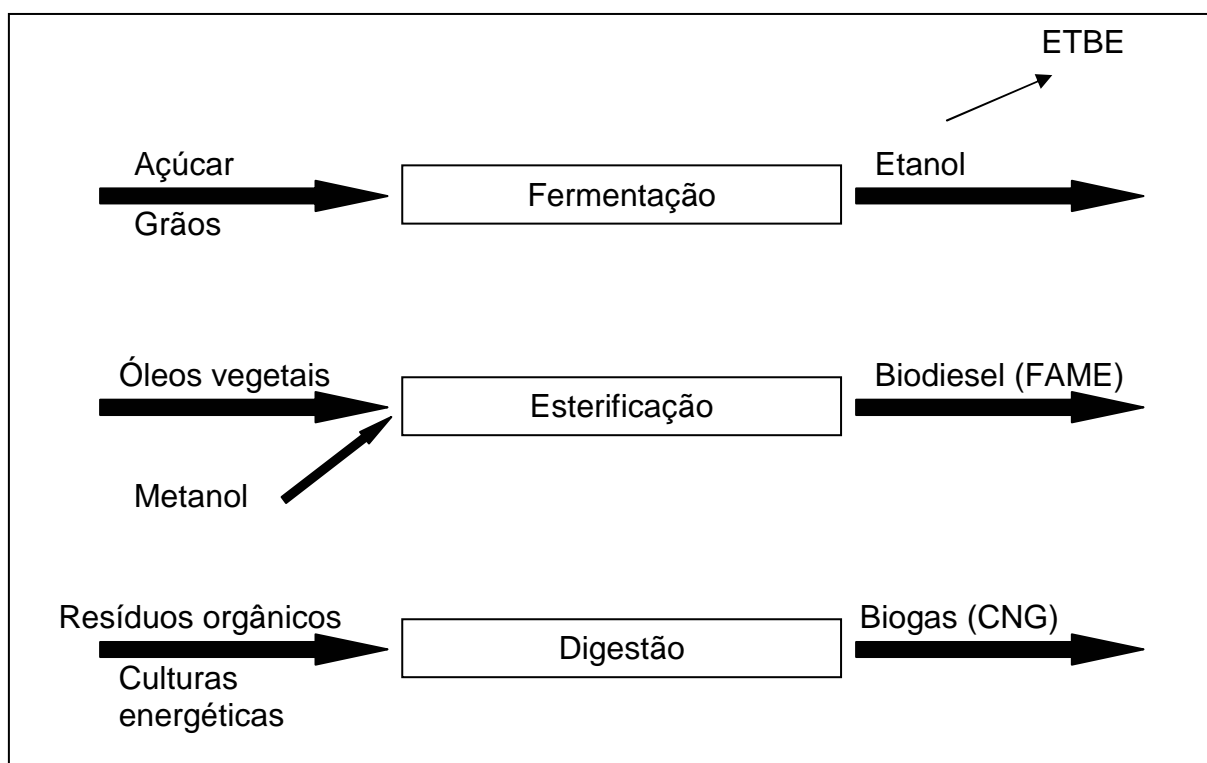
Fontes e Processos

Biocombustíveis de Primeira Geração			
Tipo de Biocombustível	Nomes específicos	Fonte de biomassa	Processo de Produção
Bioetanol	Bioetanol convencional	Cana-de-açúcar, beterraba e milho	Fermentação
Óleo vegetal	Óleo puro	Grãos (ex. canola, soja)	Extração a frio
Biodiesel	Biodiesel (de grãos)	Grãos (ex. canola, soja)	Extração a frio e transesterificação
Biodiesel	Biodiesel de lixo (FAME/FAEE)	Lixo, gordura animal	Transesterificação
Biogás	Upgraded biogás	Biomassa (úmida)	Digestão
Bio - ETBE		Bioetanol	Síntese química

Continua....

Continuação....

Biocombustíveis de Segunda Geração			
Tipo de Biocombustível	Nomes específicos	Fonte de biomassa	Processo de Produção
Bioetanol	Bioetanol celulósico	Material lignocelulósico	Hidrólise e fermentação
Óleo vegetal	Biomass-to-liquids (BTL): Fischer-Tropsch (FT) diesel Biodiesel sintético Biometanol Álcoois pesados Biodimetileter	Material lignocelulósico	Gaseificação e síntese
Biodiesel	Hydro-treated biodiesel	Óleos vegetais e gordura animal	Hydro-treatment
Biogas	Gás natural de síntese (SNG)	Material lignocelulósico	Gaseificação e síntese
Biohydrogen		Material lignocelulósico	Gaseificação e síntese ou processo biológico



(i) Projeto Bioetanol

O governo brasileiro lançou o Projeto Bioetanol que reúne 14 universidades brasileiras no desenvolvimento da hidrólise enzimática dos resíduos da cana-de-açúcar⁹⁶. O país domina alguns segmentos desse processo. O pré-tratamento do bagaço, por exemplo, é usado na produção de ração animal. Os microorganismos que produzem as enzimas necessárias para a hidrólise também são conhecidos. O uso de enzimas na conversão de açúcar em etanol é recente o que permite esperar grande desenvolvimento nesse campo de conhecimento. Entre as metas do projeto está desenvolver formas de fabricar as enzimas na própria Usina o que vai reduzir em muito os custos de fabricação por essa tecnologia.

(ii)

(iii) Novozymes – CTC- Petrobrás

A Novozymes, empresa dinamarquesa líder mundial do setor de enzimas⁹⁷, anunciou que o Brasil deverá ser o primeiro país do mundo a produzir comercialmente etanol de segunda geração. O maior foco de pesquisa da Novozymes na atualidade é o desenvolvimento de enzimas para produção de etanol de segunda geração.

A Novozymes mantém perto de 70 pesquisadores trabalhando nessa mesma linha na Europa e EUA no desenvolvimento das enzimas específicas para a produção de etanol a partir de resíduos da colheita de milho⁹⁸. Os altos executivos da empresa, tanto no Brasil quanto na Dinamarca, declaram que a enzima especializada na produção de etanol a partir do bagaço da cana-de-açúcar já está desenvolvida, mas precisa ser disponibilizada comercialmente.

Nesse sentido a empresa tem um acordo de pesquisa com o CTC (Centro de Tecnologia Canavieira), de Piracicaba – SP e pretende desenvolver outro acordo junto à Petrobrás.

⁹⁵ Síntese baseada e relatório do Departamento de Gás e Petróleo d BNDES elaborado por Ricardo Cunha e acompanhamento do setor realizado por meio de publicações especializadas.

⁹⁶ No Brasil, a hidrólise da celulose foi pesquisada pela Universidade Federal do Paraná até o início da década de 90, quando a crise do Proálcool fez com que a pesquisa fosse abandonada. Nos últimos anos a Unicamp retomou o desenvolvimento da hidrólise pela via química, com resultados econômicos aparentemente inviáveis até o momento (o custo de produção por litro ficou perto de R\$ 1,80). Norberto Staviski, País terá álcool de 2^a geração até 2010, Gazeta Mercantil, 14 de setembro de 2007.

⁹⁷ Enzimas são substâncias, normalmente proteínas, que catalizam uma reação química, permitindo que ela ocorra em condições diferentes das normais (mais rapidamente ou em temperatura mais baixa). Isso permite economizar tempo, energia ou uso de outros produtos químicos.

⁹⁸ Norberto Staviski, País terá álcool de 2^a geração até 2010, Gazeta Mercantil, 14 de setembro de 2007.

Segundo a Novozymes a redução do custo das enzimas representará um importante passo na viabilização da hidrólise. Atualmente se gasta, só em enzimas, US\$ 1,2 para se produzir um galão de etanol. Esse custo vem reduzindo significativamente e estaria, segundo estimativas da empresa, a quatro anos de ser disponibilizado comercialmente.

A Novozymes já atua no Brasil com uma fábrica em Curitiba. A produção futura de enzimas para fornecimento aos produtores brasileiros provavelmente será no país, na fábrica de Curitiba ou em pequenas unidades próximas das usinas de etanol, dependendo do custo de transporte. A Petrobras prevê que possa iniciar a produção em larga escala comercial de etanol a partir da lignocelulose entre 2015 e 2020⁹⁹.

(iv) Bioenzima

No Brasil, a empresa Bioenzima está desenvolvendo uma tecnologia para a produção de etanol celulósico a partir da quebra de celulose do bagaço da cana, sabugo do milho, do cacto e da bananeira. Localizada em Caruaru, no Agreste pernambucano, a 130 quilômetros de Recife. A pequena Bioenzima, com sete funcionários, investiu sozinha nos últimos anos cerca de R\$ 3 milhões. A Colômbia, um dos maiores produtores de banana do mundo, quer aproveitar os troncos da bananeira para a produção de etanol¹⁰⁰.

Abengoa Bioenergy¹⁰¹

A Abengoa Bioenergy instalou a primeira biorefinaria na Espanha em 1995 e hoje tem 6 biorefinarias nos EUA e UE, além de 2 em construção. A empresa aposta em duas rotas para transformar matérias-primas em energia ou produtos químicos: processo termoquímico: converte matéria-prima em óleo pelo processo de pirólise ou em gás de síntese; e hidrólise enzimática: converte matéria-prima em açúcares intermediários. Os produtos intermediários são convertidos em combustíveis, produtos químicos e co-produtos. Sua estratégia prevê adequar as culturas energéticas para os diferentes processos de conversão e em função das regiões particulares e materiais disponíveis, garantindo a sustentabilidade e a qualidade ambiental. Em termos de tecnologias futuras, apostam nos processos de hidrólise, Biomass to Liquid – BTL e processos híbridos. A empresa tem uma planta piloto de hidrólise enzimática

⁹⁹ Segundo o gerente de novos negócios do abastecimento corporativo da companhia, Gilberto Ribeiro de Carvalho. Mauro Zafalon, Risco para as usinas, Folha de S. Paulo, 29 de agosto de 2007.

¹⁰⁰ Mônica Scaramuzzo, Pernambucana Bioenzima entra na disputa pelo etanol celulósico, Valor Econômico, 13 de setembro de 2007.

¹⁰¹ Informações apresentadas a partir desse ponto foram colhidas durante a Conferência Future Fuels 2006.

em York (Nebraska, US) e uma planta de demonstração em Babilafuente (Salamanca, Espanha).

Fuel Frontiers Inc.- FFI

A Fuel Frontiers Inc.- FFI pretende ser líder na produção de etanol a baixo custo pela transformação de resíduos em combustíveis alternativos. A empresa está investindo numa planta de etanol em New Jersey, programada para entrar em operação em 2009. O processo utilizado será gaseificação a plasma, fornecido pela Startech Environmental Corp., também conhecido Plasma Converter System – PCS. Através desse processo é gerado um gás de síntese, que pode ser processado para produzir metanol ou ser utilizado em um processo Fischer-Tropsch - gas-to-liquids (GTL) para produzir combustíveis análogos a derivados de petróleo. Há a possibilidade de produzir múltiplos combustíveis a partir de diversas matérias-primas, principalmente resíduos (pneus usados e resíduos de madeira). Outra planta em processo de construção em Toms River (New Jersey produzirá 50 milhões de galões de etanol).

(v) Delta-T

A Delta-T é uma empresa fornecedora de tecnologias para a indústria do etanol que revolucionou o setor com a peneira molecular (utilizada na desidratação do etanol em elevado nível de pureza inclusive para ser usado em consumo humano). A empresa pretende participar na oferta de equipamento para toda a cadeia de produção de biocombustíveis, incluindo processo de gaseificação e processo Fischer-Tropsch (FT) para produzir etanol e análogos de diesel, além de produtos químicos.

Syntroleum

A Syntroleum já investiu mais de \$250 milhões em P&D com formação de pessoal, instalações e programas direcionados para o desenvolvimento de combustíveis sintéticos produzidos em processo FT (CTL – Coal-To-Liquid e GTL – Gas-To-Liquid). Sua estratégia prevê a utilização de matérias-primas diversas para produção de combustíveis limpos de alta qualidade, livres de enxofre e aromáticos.

DKRW Energy

A DKRW Energy se associou à Arch Coal, segunda maior produtora de carvão mineral nos EUA, para montar a DKW Advanced Fuels. A empresa tem acordos nos estados de Montana e Illinois e na cidade de Medicine Bow, onde será construída uma planta CTL – Coal-to-liquid na boca da mina. O empreendimento tem a garantia de fornecimento da matéria-prima pela Arch Coal e usará os equipamentos do processo de gaseificação serão fornecidos pela GE, os do processo FT pela Rentech e a unidade de hidrocrackeamento será de responsabilidade da UOP. A expectativa de início das obras é no fim de 2007 e conclusão no fim de 2010. A capacidade de produção será de 10000-15000 bbl/dia de diesel ou nafta (gasolina), com transporte do combustível via dutos, com contratos de compra de longo prazo de combustível também já firmados. Haverá também geração de excedente de eletricidade (50-150 MW) que será exportado para a rede.

PetroSA

A planta de GTL – Gás-to-liquid da PetroSA na baía de Mossel na África do Sul é a maior unidade no mundo usando essa tecnologia. O foco da empresa é a África do Sul, mas sua estratégia prevê a entrada no mercado internacional. Três tecnologias vêm sendo utilizadas: FT a alta temperatura (tecnologia Sasol), COD – Conversão Catalítica de Oleofinas para Destilados (tecnologia Central Energy Fund e PetroSA) e FT a baixa temperatura (tecnologia Statoil/PetroSA/Lurgi). O diesel sintético COD apresenta boas características em termos de qualidade e de emissões de poluentes (excelentes propriedades de partida a frio, baixo teor de enxofre, elevado número de cetanas etc.). O combustível foi fornecido na Suécia a Citroën, Ford, Peugeot, Perkins, Daimler-Chrysler, Deutz, John Deere, Kubota e Tora que já testaram, aceitaram e aprovaram misturas com o combustível COD.

CHOREN

A CHOREN – Carbon, Hydrogen, Oxygen, RENewable and BTL é uma empresa de tecnologia alemã que, no caso do BTL- biomass to liquid, utiliza rota termoquímica para produção de combustíveis (gaseificação e processo Fischer-Tropsch). A sua competência principal é a gaseificação. Por esse motivo, se associou à Shell para desenvolver o processo FT, tendo em vista sua experiência no Catar. Dentre seus produtos estão combustíveis renováveis como querosene de aviação e nafta a partir de biomassa. O desenvolvimento da

tecnologia já atingiu 3 gerações. A primeira geração foi denominada de alfa, a segunda de beta e a terceira de gama. A produção em escala laboratorial da planta alfa foi iniciada em 2003 e a produção estável começou no 4º trimestre de 2004, com geração elétrica de 1 MW, além da produção de combustíveis. O processo beta (FT) é similar ao da África do Sul, podendo adicionalmente gerar entre 15 e 45 MW. A planta em escala comercial começará a operar em 2007. A tecnologia de geração mais avançada é a gama, cujo aproveitamento das matérias-primas é mais eficiente, com geração elétrica de 600 MW. Está prevista a entrada em operação em 2010. A empresa entende que a tendência será de biorefinarias integradas.

Neste Oil

O foco da Neste Oil é o hidrotratamento de triglicerídeos e a próxima geração de combustíveis que está sendo desenvolvida denomina-se NExBTL. O processo remove todo oxigênio do triglicerídeo, formando diesel renovável e propano. O NExBTL já foi testado em motores de caminhões (MAN e Scania) e veículos leves. As reduções de emissões foram observadas em termos de particulados, CO, HC, NOx (em testes em motores de caminhões), aldeídos, benzeno e outros. O NExBTL ainda é mais caro do que o diesel, mas há a flexibilidade para adotar diferentes matérias-primas (canola, soja, óleo de palma, pinhão, mamona etc.). Em julho de 2005, a empresa firmou um memorando de entendimento (MOU) com a empresa francesa Total para instalar uma refinaria em Danquerque de 200 mil t/ano. O projeto básico está em andamento e o início das operações está previsto para 2008. Em março de 2006, a empresa firmou o segundo MOU com a OMV da Áustria para instalar outra unidade de 200 mil t/ano, com início das operações previsto também para 2008.

Chemrec

A empresa Chemrec de papel e celulose tem direcionado parte dos seus esforços em pesquisa e desenvolvimento na otimização do uso da terra, uma vez que a indústria de papel e celulose é o principal setor demandante de florestas. Em decorrência, a geração de energia se tornou o segundo negócio da indústria de papel e celulose, respondendo por 1/3 das receitas. Atualmente a biomassa é gaseificada para depois produzir energia. O processo proposto de produção de DME e metanol é competitivo com diesel e gasolina ao nível do preço do petróleo a US\$30/bbl. Baseado em dados de 2002, o processo FT para produzir diesel a partir de biomassa poderia atender 17% do consumo de energia dos automóveis na Europa e a produção de DME e metanol poderia atender 28%. O processo BLGMF de produção de

DME/metanol a partir de biomassa apresenta eficiência líquida de 65-90%, ao passo que a eficiência líquida do processo de pressurização CFB para produzir DME/metanol é de 50-52%. O processo FT para produzir diesel tem eficiência de 25-30%. Outro ponto destacado é que os veículos com motores otimizados para usar etanol a 100% apresentam potência 20% superior ao convencional e o torque aumenta em 16%.

Dynamotive Energy Systems

A Dynamotive Energy Systems utiliza um processo de pirólise rápida para converter resíduos florestais e agrícolas em um bio-óleo (BioOil) e um tipo de carvão vegetal (char). Está em construção uma planta de 200 t/dia, que entrou em operação no primeiro trimestre de 2007. Há outras duas que devem entrar em operação até 2009. Em um primeiro estágio o BioOil tem o objetivo de substituir o óleo combustível utilizado na indústria. Em um segundo estágio, terá com meta formar “blends” para ser utilizado nos transportes ou produzir gás de síntese. Em um terceiro estágio, o objetivo será a produção de produtos químicos. O BioOil tem densidade (1,2 kg/l) maior do que a do diesel, não emite SOx, apresenta baixa emissão de NOx, mas seu poder calorífico equivale a 55% do poder calorífico do diesel. A tecnologia parece ser adequada para regiões isoladas, com pouca infra-estrutura, onde há grande disponibilidade de resíduos florestais e agrícolas. No caso do Brasil, talvez pudesse ser estudada para a região Amazônica.

Greenfuel Technologies Corporation

A Greenfuel Technologies Corporation possui planta protótipo que utiliza algas para produzir energia e tem planos de começar a operar comercialmente em 2007. Segundo os pesquisadores da empresa essa tecnologia não tem necessidade de grandes áreas de terras e apresenta baixos custos ambientais e de recuperação de áreas, a não necessidade de enzimas, a ausência de conflito entre alimentos e energia, etc.

4.2 CONFIGURAÇÕES PARA O PROCESSO DE PRODUÇÃO: ALTERNATIVAS PARA A USINA E/OU DESTILARIA DO FUTURO

Não sendo a produção do açúcar foco de estudo deste trabalho, no que diz respeito à perspectiva futura das configurações industriais, esse capítulo estará concentrado nas destilarias autônomas, sobre as quais destacamos duas versões possíveis para a “Destilaria do Futuro”¹⁰². É importante destacar aqui que a alternativa de diversificação e flexibilização da produção, como ocorre na maioria das configurações industriais atuais entre a produção de açúcar e de etanol, não está presente nas versões propostas adiante. Não haveria mercado para a quantidade de açúcar produzida nas proporções previstas da expansão da produção de etanol.

Ambas as versões prevêm a “utilização integral” da cana-de-açúcar de máxima produtividade, ou seja, ambas contemplam o processamento da cana integral, explorando seu “limite energético”, não apenas a cana colmo, mas também as pontas e palhas associadas¹⁰³. Nessas unidades, 100% da área plantada será dedicada à produção de etanol, obrigando a duplicação da área de aplicação de vinhoto. Nesse sentido as tecnologias de tratamento e aproveitamento deste resíduo são da maior importância.

(vi)

(vii) *Maximização da Energia*

Uma das versões possíveis para a “Destilaria do Futuro” destina a totalidade das fibras, tanto do bagaço como das pontas e palhas, à produção de vapor e de energia elétrica (para atender ao consumo da própria destilaria), disponibilizando o máximo possível de energia elétrica para a rede local. Na realidade, esta configuração industrial é projetada e otimizada para a produção de etanol (produzido exclusivamente a partir da sacarose presente

¹⁰² A mini-usina não é considerada no âmbito deste trabalho como uma alternativa em função da estrutura fundiária predominante no setor e dos ganhos decorrentes de escala nas configurações atuais.” A mini-usina é uma destilaria de álcool de pequeno porte com capacidade produtiva entre 5.000 a 30.000 l de álcool por dia. Parte do entusiasmo com essa alternativa de arranjo tem relação com a geração de emprego e renda (2 bilhões e meio de pequenos agricultores). A Cooperbio está implementando um arranjo diferenciado na produção de etanol. O projeto fornecerá etanol à Petrobras produzido por aproximadamente 200 famílias de pequenos agricultores que irão produzir energia e alimentos de forma integrada. A unidade de retificação será localizada na cidade de Frederico Westphalen e produzirá 5.000 litros diários a partir do fornecimento de 9 destilarias localizadas na região, com capacidade para 500 litros/dia cada uma. A unidade de Westphalen será responsável pela padronização do álcool provindo das unidades menores tornando o produto apto para ser adquirido pela Petrobras. “Fonte : <http://www.cooperbio.com.br/> - consulta realizada em 10 de Set de 2007.

¹⁰³ Respeitando-se aqui os percentuais a serem deixados no campo contemplando a otimização da etapa agrícola, conforme descrito no capítulo 2.

na cana-de-açúcar) e a adoção de tecnologias altamente eficientes para gerar o máximo possível de energia elétrica excedente para a rede. Nesta versão, a destilaria é projetada de forma que a demanda interna de vapor e energia elétrica minimizam o seu consumo energético na produção do etanol ao mesmo tempo em que se maximiza a disponibilidade de energia elétrica para a rede. Sua matéria-prima é, naturalmente, a cana integral constituída pela cana colmo mais as pontas e palhas.

Na versão Máxima Energia a central termelétrica associada à destilaria pode ser de três tipos:

- *Convencional* – com caldeiras adequadas à queima de biomassa, gerando vapor de alta pressão, o qual é enviado a turbinas à vapor, acopladas a geradores de energia elétrica, com vapor de escape sendo produzido em diferentes pressões: média, para alimentar a própria destilaria; e baixa, para condensação e produção de água de alimentação de caldeira. Esta central apresenta eficiências térmicas baixas, da ordem de 20% do poder calorífico do combustível, mas por outro lado requer investimentos também reduzidos, da ordem de US\$ 500/kW instalado¹⁰⁴.
- *Avançada* – adota um gaseificador de biomassa, produzindo um mistura de Monóxido de Carbono e Hidrogênio (CO/H₂), numa relação próxima de 1:1. Uma vez purificado esse gás a ponto de se tornar um combustível adequado para um sistema de geração baseado em turbinas a gás, geradores, caldeiras de recuperação, turbinas a vapor acopladas a geradores. Esta unidade de geração apresenta eficiências térmicas mais elevadas do que a convencional, da ordem de 45% do poder calorífico do combustível, mas por outro lado requer investimentos mais elevados, hoje estimados como sendo da ordem de US\$ 1.500/kW instalado⁹⁷, com o gaseificador representando uma parte importante deste investimento. Sua viabilidade econômica depende, portanto, de avanços no projeto e construção do gaseificador, visando a redução do investimento total requerido nesta unidade.
- *Superavançada* – nessa versão há também um gaseificador de biomassa produzindo a mistura CO/H₂. Para a geração de energia elétrica essas unidades fariam uso das

¹⁰⁴ COELHO, Suani Teixeira; Paletta, Carlos Eduardo; Velásquez, Sílvia M.S.G., Guardabassi, Patrícia, Varkulya Jr., Américo. Comparação da Eletricidade Gerada em Ciclos Combinados a Gás Natural e a partir de Biomassa – Nota Técnica. CENBIO – Centro Nacional de Referência em Biomassa, Abril 2000. <http://www.cenbio.iee.usp.br/documentos/documentos.htm>.

chamadas “SOFC – Solid Oxide Fuel Cell” que, operando a alta temperatura, numa concepção idêntica às das pilhas, apresenta eficiências de conversão direta, do poder calorífico do combustível em energia elétrica, superiores a 90%. O investimento nesta configuração superavançada é totalmente inviável nesse momento. Com toda certeza o incentivo à inovação nessa rota garantirá o espaço para a indústria brasileira numa tecnologia que fará parte do futuro no contexto mundial¹⁰⁵.

(viii) *Maximização de etanol*

A partir da cana integral como matéria-prima e, sendo também otimizada com relação ao seu consumo energético interno, nesta versão é projetada para a máxima produção de etanol e não disponibiliza nenhuma energia elétrica para a rede. Nesta versão, toda a fibra, tanto do bagaço como das pontas e palhas, é sacrificada (operando num processo de hidrólise - ácida e/ou enzimática), convertendo a hemicelulose e a celulose, presentes nas fibras, até a extensão adequada ao balanço energético¹⁰⁶. Virtualmente, uma vez dominada a tecnologia, e aplicada nas usinas brasileiras, haverá expressivo aumento do etanol produzido sem que haja aumento da área de plantio. O combustível resultante desses processos é comumente classificado como um biocombustível de segunda geração, o etanol celulósico.

Embora os processos teóricos que permitam a sacarificação de lignocelulósicos sejam conhecidos de longa data, conforme descrito acima, não há disponibilidade comercial de tecnologias que permitam a sua implementação em escala industrial. As dificuldades repousam sobre dois aspectos distintos daquelas tecnologias:

- Dificuldades com relação aos equipamentos – Embora exista, no Brasil e no mundo, muita experiência acumulada com relação aos equipamentos adequados ao processamento de matérias-primas lignocelulósicas (como por exemplo, para a produção de papel e celulose), muito pouco existe com relação ao processamento

¹⁰⁵ Em desenvolvimento no Brasil por Clamper, CEMIG, UniTech/ PEFC, ainda em fase de pesquisa e desenvolvimento a tecnologia para reforma de etanol para produção de hidrogênio. Carmeis, Dean William, Mapeamento de competências e infra-estrutura no setor de energia- Etapa1, CTEneg – Secretaria Técnica do Fundo Setorial de Energia, Centro de Gestão e Estudos Estratégicos – Ciência, Tecnologia e Inovação – Brasília, Fevereiro de 2003 – http://ftp.mct.gov.br/fontes/Fundos/Documentos/CTEneg/ct-nerg02mapeamento_comp.pdf

¹⁰⁶ Um grau de sacarificação muito elevado significa uma redução na oferta interna de resíduo lignocelulósico, a ser utilizado como combustível para geração de energia para o auto-consumo. Um grau de sacarificação limitado significa um excedente de combustível para geração de energia, resultando em excedente de energia elétrica o que não é objetivo desta versão.

específico de bagaço, pontas e palhas, especialmente com índices de investimentos que possam tornar essa configuração industrial competitiva em relação à configuração descrita acima: máxima energia. Será importante construir mecanismos que incentivem o desenvolvimento destes equipamentos para que a sacarificação de lignocelulósicos se torne uma alternativa para a destilaria do futuro.

- Dificuldades com relação ao processo – Apesar de existir uma massa impressionante de informações publicadas sobre a sacarificação de lignocelulósicos, observa-se uma dificuldade de análise de consistência e/ou coerência entre as diferentes fontes, dado que cada pesquisador utilizou metodologias específicas, sobre matérias-primas específicas, para finalidades também específicas. O desenvolvimento desse processo em escala industrial no Brasil ainda está por ser desenvolvido. A esse respeito, foram apresentadas na seção anterior uma série de experiências em curso no Brasil e no mundo.

As tabelas a seguir comparam os indicadores de desempenho apurados hoje com aqueles que são esperados para as unidades industriais no futuro. Esse aumento no desempenho das unidades não será decorrente exclusivamente da introdução das tecnologias disruptivas apresentadas na seção anterior. Muitos ganhos incrementais que farão parte desse processo, também são apresentados nas tabelas. Eles devem ser incorporados às unidades gradativamente através do tempo.

TABELA XXVIII
Indicadores de desempenho da Tecnologia Industrial¹⁰⁷

Artigo II. de desempenho	Indicador	(a) Valor Atual	(b) Meta 2025	Seção 2.02 Ações
	Perdas na lavagem de cana	0,47%	0%	Eliminação da lavagem; limpeza a seco
	Extração de açúcar	96,30%	97,5 – 98%	Melhorias na moagem
	Perdas na torta de filtro	0,54%	0,25%	Melhoria operacional
	Rendimento Fermentativo	89,70%	91 – 92%	Otimização da Fermentação
	Grau alcoólico do vinho	8,4° GL	10 – 12° GL	Redução da temperatura de fermentação
	Relação vinhaça/etanol	11,90%	9,5 – 7,9	Aumento do grau alcoólico do vinho
	Teor de álcool na vinhaça	0,036%	0,015%	Introdução de sensores e automação
	Produtividade de álcool	831/tc	951/tc	Trabalho de desenvolvimento tecnológico
	Produção de álcool anidro e hidratado*	Álcool Anidro: 7,8 milhões m ³ /ano Álcool Hidratado: 8,2 milhões m ³ /ano	Total: 36,9 milhões m ³ /ano	Melhorias nas diversas etapas da produção
	Eficiência global	82,30%	89,50%	Melhorias da eficiência no tratamento do caldo e na destilação. Redução de perdas indeterminadas

Fonte: Única

¹⁰⁷ Fonte: ÚNICA Apud. Leite, Rogério de Cerqueira e Cortez, Luís Augusto Barbosa – Coordenadores, Estudo sobre as possibilidades e impactos da produção de grandes quantidades de etanol visando à substituição parcial de gasolina no mundo – Fase 2 – Relatório Final. Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético – UNICAMP, Circulação Restrita, Brasília, Março, 2007. pág. 319.

(II) TABELA XXIX ¹⁰⁴

Indicadores de desempenho da Tecnologia Energética

Artigo III. de desempenho	Indicador	(a) Valor Atual	(b) Meta 2025	Seção 3.02 Ações
Produtividade Energética		7,5 tep/há*	9,8 tep/h*	Melhoramento genético; Hidrólise ou geração de energia elétrica a partir do bagaço e da palha.
Energia Elétrica Gerada		26,33 KWh/tc	Até 1'59 KWh/tc	Utilização da palha caldeiras; Recuperação da palha; Maior eficiência de equipamentos; Aumento da pressão e da temperatura do vapor gerado.
Energia Elétrica Consumida		15,58 KWh/tc	12,00 KWh/tc	Maior eficiência no uso da energia elétrica.
Consumo de Vapor		480 Kg/tc	372 Kg/tc	Utilização da palha em caldeiras; Recuperação da palha; Redução da demanda de vapor de processo.
Pressão de Operação de Caldeiras		22 bar	90 bar	Investimentos em novas tecnologias do setor; Aumento da escala de produção de caldeiras mais eficientes e que operam a maior pressão.
Bagaço Excedente		8,60%	0%	Hidrólise e geração de energia elétrica usam todo o bagaço.
Cana - % Matriz Energética		12%	14%	Hidrólise do bagaço; Melhoria genética; Na matriz energética há dois aspectos a considerar: manter a

(jjj)
(kkk)
(lll)

(mmm) TABELA XXX

Aumento de produtividade previsto ¹⁰⁸

Destilaria	Padrão Atual	10 anos	20 anos
Produtividade Agrícola (tc/ha)	89,3	101,2 (*)	111,7 (*)
Produtividade Caldo (l/tc)	85	91	92,5
Hidrólise de Bagaço e Palha (l/tc)		12,6	31,8
Produtividade Total (l/ha área colhida)	7.590,5	10.484	13.884

(*) Toma-se como base terras de produtividade boa na região Centro-Sul

¹⁰⁸ LEITE, Rogério de Cerqueira e CORTEZ, Luís Augusto Barbosa - Coordenadores, Estudo sobre as possibilidades e impactos da produção de grandes quantidades de etanol visando à substituição parcial de gasolina no mundo – Fase 2 - Relatório Final. Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético – UNICAMP, Circulação Restrita, Brasília, Março, 2007.

Vale lembrar que esses números de produtividade correspondem apenas à área colhida. A produtividade, contando toda a área ocupada pela unidade, aumentaria de 4.858 para 8.886 litros por ha.

Os fatos marcantes, com relação às tecnologias e práticas agrícola e industrial que caracterizam a produção de bioenergia, no presente momento são:

Na etapa agrícola:

- Aumentos de produtividade podem ser atingidos, em termos de biomassa seca/hectare*ano, em decorrência da difusão de técnicas agrícolas e desenvolvimento de variedades uniformizando as diferenças regionais de produtividade.
- Desenvolvimento de máquinas agrícolas que permitam a colheita e o transporte eficiente de pontas e palhas (representam aproximadamente um terço de toda a biomassa seca produzida pela planta em cada safra).
- Eliminação ou redução ao máximo a utilização do óleo diesel como combustível na movimentação de toda a frota de corte, carregamento e transporte de cana colmo, do canavial à usina e/ou destilaria.
- Otimização no uso de fertilizantes para proteção tanto do solo quanto dos aquíferos subterrâneos. Redução da quantidade de fertilizantes químicos, particularmente aqueles à base de petróleo¹⁰⁹.
- Utilização de técnicas mais avançadas de manejo da produção de cana-de-açúcar, reduzindo a erosão quando comparada aos manejos de pastos ou de grãos.
- Redução da captação de água de 5 m³ para 1 m³ de água captada / t cana.
- Diminuição das emissões dos GEE (gases de efeito estufa) entre outras emissões gasosas presentes tanto na parte agrícola como industrial.

Na etapa industrial:

- No subsistema Preparo e Extração:

- Redução das perdas de açúcar na limpeza da cana pelo desenvolvimento de

¹⁰⁹ Esse insumo chega a representar 35 % do custo de produção, e apresenta uma média atual de utilização de 200 kg de NPK por hectare de cana (Embrapa 2006).

sistemas de limpeza a seco. Novo conceito de cana-de-energia em que tanto os açúcares como as fibras serão utilizados para a produção de etanol;

- Melhorar o coeficiente de extração pelo desenvolvimento de processos de preparo da cana e extração do caldo para canas de alta fibra. Exemplos de processos são: extração hidrodinâmica, difusão, desfibradores ultra pesados, etc.
- Redução das perdas de açúcar no tratamento de caldo e do mosto. Desenvolvimento de um processo estável, independente da qualidade da matéria-prima e as condições climáticas, robusto no que se refere à resistência a contaminações, floculações, estabilidade das populações de fermento, operando a temperatura uniforme e com alta taxa de conversão de açúcares a etanol, grau alcoólico elevado, perdas de ART e fermento minimizadas.

- No subsistema Fermentação/Destilação:

- Aumento do rendimento fermentativo. Desenvolvimento de processos com leveduras floculantes, processos com fermento imobilizado, processos de fermentação extrativa a vácuo ou através do emprego de solventes. Desenvolvimento genético de cepas e leveduras com maior poder de conversão e tolerância alcoólica, termo-tolerância, resistência à floculação; Redução da temperatura de fermentação ou desenvolvimento de população fermentativa, altamente adaptada a temperaturas elevadas, e agressiva em relação às outras populações termotolerantes; Redução do consumo do ácido sulfúrico em curto em médio prazo e desenvolvimento de alternativas para substituição do mesmo. Eliminação do emprego de antibióticos, desenvolvimento de alternativas ao emprego de antibióticos; Redução do custo da centrifugação no reciclo celular, porém mantendo sob controle as perdas de fermento e a rejeição de bactérias e sólidos; Padronização dos métodos de análise da fermentação e propostas de outros processos alternativos aos atuais;
- Redução das perdas de etanol na destilação;
- Redução dos volumes de vinhoto gerados e soluções para o descarte do vinhoto como “fertilizante líquido”. Desenvolvimento de rotas para o tratamento do vinhoto: concentração por membranas, concentração térmica e cristalização de

sais associada, biodigestão (mesofílica, termofílica e ultratermofílica e remoção do enxofre do vinhoto), remoção de sais do vinhoto por eletrodialise reversa, combustão do vinhoto concentrada;

- Instalação de sistemas eficientes de remoção de substâncias que possam poluir o ar, tais como material particulado, NOx, SOx, CO, etc. Otimização do uso da água nas usinas e destilarias;

- No subsistema Geração de vapor/energia:

- Melhorias na eficiência da geração de vapor e energia elétrica e aumento de excedentes de bagaço. O consumo específico de vapor é extremamente elevado, em particular, nas destilarias autônomas (~ 5.0 toneladas de Vapor/tonelada de Etanol quando o “limite termodinâmico” é de ~ 1.0 toneladas de Vapor/tonelada de Etanol). Desenvolvimento de caldeiras que possam operar com alta temperatura usando palha como combustível, considerando o alto teor de álcalis e baixo ponto de fusão das cinzas;
- Redução do consumo energético na destilação pela redução do consumo de vapor na produção de etanol: uso de membranas (pervaporação e permeação de vapores), destilação multi-efeito, destilação a vácuo, recompressão térmica e mecânica de vapores (vapor de processo e vapores hidro-alcoólicos), etc;
- Ampliação da produção de bioeletricidade com máximo aproveitamento energético da cana-de-açúcar por meio de bagaço, palha, pontas, folhas, co-produtos e vinhaça; Obtenção e tratamento de dados sobre a biomassa da cana (palha e bagaço) e desenvolvimento de recuperação econômica destes resíduos. Integração do excedente de bioeletricidade produzida pelas usinas com o sistema hidroelétrico de potência existente no país;
- Acompanhamento de plantas piloto no exterior e realizar pilotos no Brasil;
- Análise do uso de combustíveis complementares para reduzir a sazonalidade.

4.3 DESAFIOS NACIONAIS DIANTE DA QUEBRA DO PARADIGMA TECNOLÓGICO

As seções anteriores se dedicaram a descrever a quebra do paradigma da produção e industrialização da cana-de-açúcar originariamente para alimentos e que tem energia (etanol, energia elétrica) como subprodutos, na direção de um novo paradigma fundamentado no conceito de cana como fonte de energia. O novo paradigma não se restringe ao desenvolvimento de variedades de cana visando a maximização da energia primária, mas também pelo processamento desta matéria-prima de forma otimizada para produção de bioenergia, na forma de combustíveis para transporte e energia elétrica.

O que torna esse momento histórico muito especial não é só a transição paradigmática em curso. Uma forte expansão da produção de cana-de-açúcar e de etanol soma-se a ela configurando um contexto altamente dinâmico e repleto de desafios.¹¹⁰

Esse contexto demanda a ação do Estado na organização e coordenação de um conjunto diverso e complexo de iniciativas. A livre iniciativa por si só não garante a geração dos resultados mais eficientes, segundo o interesse público e nacional. A racionalidade privada é extremamente simples quando compara à racionalidade do Estado ou da Sociedade Civil. Diante do potencial que esse novo paradigma produtivo representa para o país, é fundamental garantir que os benefícios das novas tecnologias e da expansão da produção sejam estendidos a toda a sociedade e segundo padrões de sustentabilidade desejados. A busca do desenvolvimento sustentável implica em *trade-offs* e na tomada de decisões que podem parecer paradoxais diante da lógica de maximização de resultados locais. A ação do Estado vai buscar alinhar ações de curto prazo com objetivos de longo prazo na promoção do desenvolvimento sustentável.

Será necessário contar com recursos e políticas públicas para estimular a transição para o novo paradigma e a expansão da produção compatível com interesses nacionais e regionais.

Nesse sentido, governo pode desenvolver mecanismos para incentivar:

¹¹⁰ “As second generation biofuels production gets underway, of course producers in the North will play a leading role in bringing the new fuels to market. Before that time, the next decade provides a window of opportunity for the countries of the North to become biofuel-friendly – to make biofuel outlets available, to build markets for flex-fuel vehicles, and to establish and consolidate standards and specifications for biofuels in line with global standards.” Pág. 3564 Mathews, John A., Biofuel: What a Biopact between North and South could achieve, Energy Policy 35 (2007) págs 3550-3570, http://www.lean.net.au/thoughts/Biopact_paper_5Feb07.pdf

- o desenvolvimento tecnológico;
- a implantação de novos projetos que envolvam melhorias tecnológicas ou o emprego de tecnologias disruptivas (por exemplo, instalação de uma caldeira com pressão mais elevada);
- a localização de novos empreendimentos em áreas consideradas prioritárias.

Uma primeira forma de induzir maior competitividade, com melhores indicadores sócio-econômico-ambientais seria através de incentivos fiscais e empréstimos diferenciados por parte dos agentes financeiros (BNDES entre outros). A implementação de indicadores de sustentabilidade como critério requer a certificação da produção do etanol o que amplia as oportunidades de negócios para o setor no mercado internacional emergente.

Crítérios enunciados pelo governo sinalizarão tendências sobre:

- padrões tecnológicos que se traduzem em patamares de custos de produção e competitividade;
- regiões apropriadas para localização das novas unidades;
- indicadores de sustentabilidade esperados e impactos ambientais tolerados;
- práticas a serem difundidas (como por exemplo o fim das queimadas e recuperação de parte da palha para fins energéticos).

Essa sinalização incentiva o desenvolvimento de projetos que visem à produção sustentada de cana (novas variedades, plantio direto, fim das queimadas, recuperação da palha, desenvolvimento da cana-de-energia), de tecnologias de produção mais eficientes (redução das perdas no processo, de custos, de emissões de poluentes) e a otimização do uso e da geração de energia nas Usinas¹¹¹.

Incentivar a implantação de projetos que envolvam a aplicação de tecnologia de ponta pode garantir a competitividade futura do setor, particularmente num momento de forte expansão conforme o que estamos vivendo¹¹².

¹¹¹ O valor pago ao MWh gerado com biomassa de cana no PROINFA (R\$ 93,77/MWh) não estimulou a geração como aconteceu com a energia eólica, por exemplo, (R\$ 204,35/MWh) ou com PCH (117,02/MWh), segundo dados publicados pelo MME em 30/03/2004 quando da regulamentação do PROINFA1.

¹¹² O BNDES vem liberando créditos para a expansão do setor sucroalcooleiro no Brasil. No entanto, empréstimos diferenciados (BNDES) não vêm conseguindo induzir satisfatoriamente a modernização tecnológica esperada. As novas unidades que estão sendo construídas e/ou planejadas, boa parte delas não vêm sendo instaladas com tecnologia de ponta o que pode comprometer a competitividade futura do setor. Fonte: entrevistas realizadas junto a fornecedores de bens de capital para o setor e empresas de engenharia.

Promover a certificação ambiental da produção de etanol pode garantir que a expansão da produção aconteça de forma sustentada e evitar a imposição de barreiras para a comercialização no mercado externo.

Garantir que as áreas onde a expansão vai acontecer sejam adequadas ao critério agrônomo (daí a importância do zoneamento econômico-ecológico diante da necessidade de disponibilizar mapas que demonstrem a aptidão agrícola), ao critério impacto ambiental (garantindo a exclusão de áreas de restrição ambiental, reservas indígenas ou regiões onde o empreendimento irá provocar um impacto negativo sobre a produção agropecuária já existente), ao critério infra-estrutura (interiorizar o desenvolvimento ou reduzir as desigualdades entre as regiões no Brasil sem que isso signifique deslocar culturas alimentares, pastagens ou áreas de soja para as áreas com restrição ambiental).

No que diz respeito ao desenvolvimento tecnológico, é fundamental admitir que o Brasil, embora seja o maior produtor mundial de cana e divida com os EUA a liderança na produção de etanol, investe pouco em pesquisas neste setor¹¹³. Nos estágios mais adiantados do desenvolvimento das novas tecnologias, pesquisadores, Usinas e fabricantes de máquinas e equipamentos precisarão formar parcerias e investir esforços conjuntamente.

“For ethanol production in Brazil, research is underway to increase sugarcane yield to meet growing demand, through both traditional usage of sucrose, and the future prospect of cellulose processing. Mapping the sugarcane genome, considered one of the most complex, has been a particular priority. Genetic researchers and engineers at several of the top public universities and research centers have been able to alter the crop’s resistance to pests, bacteria and disease, as well as boost its sucrose production. These advancements have been cutting-edge and very important to the sector, but there is still more progress to be made. Sugarcane is comprised of 1/3 sucrose, 1/3 bagasse (fibrous material left after the juice has been extracted from the cane), and 1/3 waste, which includes the leaves and tops of the crop. Most production effort focuses on the sucrose rather than the remaining two-thirds of the plant. Future technologies will focus on producing ethanol from these parts of the cane and development of cellulosic production technology is a high priority for the R&D community. Additionally biotechnology efforts are focused on boosting the fiber content of crops as cellulosic production techniques are perfected. Confidentiality makes it difficult to ascertain all the institutions involved in developing these processes in Brazil, but two leaders in the field are the State University

¹¹³ “Um indicador do baixo investimento é a relação de recursos investidos por área plantada. Enquanto aplicamos US\$ 1,2/ha, a Austrália investe US\$ 10/ha, Argentina US\$ 3/ha e Barbados, no Caribe investe US\$ 14/ha, segundo Marcos Landell do Centro Cana/IAC.” Leite, Rogério de Cerqueira e Cortez, Luís Augusto Barbosa – Coordenadores, Estudo sobre as possibilidades e impactos da produção de grandes quantidades de etanol visando à substituição parcial de gasolina no mundo – Fase 2 – Relatório Final – Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético – UNICAMP, Circulação Restrita, Brasília, Março, 2007.

of Campinas (UNICAMP) and private companies such as the Sugarcane Technology Center (CTC), Dedini and Canavialis.

A Brazilian Biofuels Research Center would create a major focus point and symbol for the development and growth of a more unified, coordinated and innovation-driven biofuels sector. This type of center is in line with the current global trend of large-scale collaboration for biofuels R&D:

- The US Department of Energy has earmarked \$250 million over five years for the creation of two Bioenergy Research Centers by 2009, based in US universities, with a focus on achieving the goals of the nation's Energy Policy Act of 2005.
- BP is in talks with universities in the UK to create the BP Energy Biosciences Institute, with an investment of \$500million, by the end of 2007.
- The Energy Technologies Institute of the UK, dedicated to accelerating the development of low-carbon energy technologies, is expected to begin operating in 2008; in addition to initial funding for the institute, the Department of Trade and Industry is to provide \$95 million (£50 million) each year over a period of 10 years starting in 2008-09.
- A separate Energy Research Partnership in the UK will raise a total of \$1,89 billion (£1 billion) over the next ten years, including matching funding from the private sector; as of September 2006, EDF Energy, Shell, BP and E.ON UK have committed to providing funds.”¹¹⁴

As tecnologias emergentes vão precisar de um tripé formado por desenvolvimento tecnológico, financiamento (dívida e capital próprio) e políticas públicas. Na fase implementação das tecnologias aqui elencadas, o ideal é que setor privado compartilhe riscos com o governo. Será necessário que haja garantia de compra do combustível de segunda (e de terceira) geração em seus primeiros estágios de desenvolvimento. A grande questão colocada refere-se à necessidade de prestação de garantias e seguros mais adequados para as primeiras unidades que venham a produzir bioenergia de segunda geração em escala comercial. Se a tecnologia ainda não é comprovada, dificilmente o projeto vai ser financiado nos moldes tradicionais, sem que haja um terceiro prestando garantias.

As tabelas abaixo ilustram o volume de recursos destinados à pesquisa em cana-de-açúcar pelo setor privado (cooperativas, usinas associadas e empresas) e setor público (institutos de pesquisa, fundos federais e estaduais).

(nnn)

¹¹⁴ “Rothkopf, Garte - A Blueprint for Green Energy in the Americas, Pág. 476. Fonte: idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=945774

(ooo) TABELA XXXI

Recursos alocados anualmente em P&D no setor sucroalcooleiro no Brasil (valores estimados) por instituições ou centros de pesquisa usuários de recursos públicos e privados¹¹⁵

Setor Privado:	
CTC	R\$ 45 milhões
Dedini	R\$ 19 milhões
Oxiteno	n.d.
Indústria de Máquinas Agrícolas (Case, John Deere, outras)	R\$ 15 milhões
Alellyx/CanaVialis	n.d.
CENPES/Petrobras	n.d.
Empresas tecnologia FFV (Magnetis Marelli e Bosch)	n.d.
Setor Público:	
Ridesa (1)	R\$ 1,35 milhões
Embrapa (energia e etanol) (1)	R\$ 13 milhões
Outros Institutos Federais (INT, CTA)	n.d.
IAC / Centro Cana (1)	R\$ 3 milhões
IPT	n.d.
UNICAMP (1)	R\$ 3 milhões
UFRJ (1)	R\$ 4,5 milhões
Outras universidades	n.d.
CENBIO	n.d.

(1) incluindo salários dos pesquisadores (valor estimado x 1,5)

(2) valor previsto para os próximos anos

(ppp) TABELA XXXI

Recursos alocados por órgãos de fomento à pesquisa¹⁰⁵

Fonte	
BNDES (Funtec)	R\$ 12 milhões (valor previsto)
Fundos setoriais: CT-Energ, CT-Agro, recursos CNPq e FINEP	R\$ 22 milhões
Outros recursos governamentais (projetos dos ministérios MME e MCY, bolsas CNPq e CAPES)	n.d.
FAPESP (Programa Etanol)	R\$ 30 milhões (valor previsto)

O total dos recursos apresentado nas tabelas acima não parece ser suficiente para garantir a competitividade futura do setor. O volume de recursos gasto pela iniciativa privada é incompatível com peso atual da agroindústria canavieira no PIB brasileiro. A importância estratégica do setor para o país justificaria a criação de um centro de pesquisa em

¹¹⁵ Pág 325 – LEITE, Rogério de Cerqueira e CORTEZ, Luís Augusto Barbosa – Coordenadores, Estudo sobre as possibilidades e impactos da produção de grandes quantidades de etanol visando à substituição parcial de gasolina no mundo – Fase 2 – Relatório Final – Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético – UNICAMP, Circulação Restrita, Brasília, Março, 2007.

biocombustíveis e a constituição de um fundo setorial específico para a agroenergia. A ação do Estado se faz necessária tanto na organização e articulação das atividades de pesquisa quanto no financiamento parcial das mesmas, já que o setor tem condições de arcar com uma contribuição específica.

“One of the main challenges of the Brazilian R&D sector is overall funding. Brazil must increase its spending on R&D to compete with some of the more developed countries interested in developing their own ethanol capabilities and breakthrough technology. To this, the public sector will need to promote greater efficiency in, and coordination of, fund dispersal and the private sector will need to contribute more in terms of supporting complementary public and academic sector initiatives in biofuels promotion and development.

Seção 1.02 Public Sector

Addressing the bureaucracy surrounding R&D funding will be as significant challenge. There is also some question regarding contingency versus non-contingency funds where monies are, at times, too openly allocated; there is a need to be more specific in identifying the targeted ends of the dispersed amount. Additionally, the sectoral fund mechanism only partially covers investment in R&D for the biofuels industry. Recommendations for addressing this issue include more focused allocation of funds from existing sectoral funds. The development of greater linkages between the R&D sector and regulating mechanisms has also been suggested to facilitate easier utilization of the sectoral funds.

Artigo II. Private Sector

The private sector has contributes 70-80% of the funding that has gone into biofuels R&D, but needs to engage in more collaborative research activities, enterprises must be more involved in the dialogue regarding R&D focus areas for a given industry, and in investing in education and skills training for the future benefit of their respective business sectors. This ties in to the concern that there is not enough investment in human capacity building, including the development of a larger pool of strong, academic researchers and scientists with advanced degree.”¹¹⁶

As bases tecnológicas da nova indústria de biocombustíveis vêm sendo construídas no mundo e o Brasil deve seguir participando intensamente desse processo. O contexto de mercado favorável não pode se configurar como um entrave ou desincentivo ao desenvolvimento tecnológico. Ao contrário, ele deve suportar as iniciativas que nos conduzirão ao futuro desejado.

¹¹⁶ “Rothkopf, Garte - A Blueprint for Green Energy in the Americas, Fonte: idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=945774

A agenda de pesquisa do setor não pode prescindir e deve contemplar as seguintes frentes de desenvolvimento:

- (i)
- (ii) *Biotecnologia*

A rota de crescimento da agroenergia está fortemente vinculada à biotecnologia, campo de conhecimento já bastante desenvolvido no país, mas também carente de investimentos e incentivos. Sobre essa rota se baseia o desenvolvimento de variedades resistentes a pragas, de variedades com maior produtividade por hectare com menor demanda por água e nutrientes, além do desenvolvimento das tecnologias que permitirão o aproveitamento de outros materiais, como o bagaço e as folhas, e de novos mecanismos de fermentação da cana, de novas cepas de fermentos. Obviamente os benefícios dos investimentos na biotecnologia tropical não se restringem à cana-de-açúcar, mas também em outras culturas permitindo reduzir os custos de produção e melhorar a qualidade do produto.

(iii) *Melhoria contínua do etanol como combustível*

Hoje, 40% do combustível líquido usado no Brasil é de origem agrícola e, portanto, renovável.¹¹⁷ Está em curso um processo de renovação acelerada da frota que passa a ser dotada de motores FLEX, dispositivo já instalado em 80% dos carros vendidos no Brasil. Cabe aqui promover esforços no sentido de otimizar o uso do etanol combustível através de melhorias nos motores para uso do etanol e viabilização do uso do etanol em motores de caminhões, ônibus, tratores, motocicletas. Além disso, melhorias na performance energética do etanol e sua adaptação às demandas de países que pretendem adotá-lo em seus veículos também demanda atenção. Com perspectivas mais de longo prazo, mas não menos importante seria viabilizar o uso de etanol em células a combustível (reformadores).

(iv) *Tecnologia de produção*

Conforme abordado nas seções anteriores deste capítulo, a otimização energética do

¹¹⁷ "O consumo de álcool representa atualmente 43% do total do combustível usado pela frota de veículos do país, diz Plínio Nastari, presidente da consultoria sucroalcooleira Datagro. Para 2012, a estimativa é que ultrapasse 50%. Consumo de álcool cresce e sobra mais gasolina para exportação". "Segundo a Datagro, o álcool combustível substitui volumes expressivos de gasolina automotiva". "Se o Brasil não consumisse álcool, não seria auto-suficiente em gasolina", disse Nastari. A consultoria calcula que o volume de gasolina substituída pelo álcool foi de 10,54 bilhões de litros, em 2006, e de 13,18 bilhões de litros em 2007, o que representa uma economia de US\$ 6,94 bilhões" *Mônica Scaramuzzo*, Valor Econômico, 31/01/2008.

complexo de produção de etanol e energia pelo desenvolvimento das tecnologias convencionais, mas principalmente pela viabilização da tecnologia disruptivas: hidrólise e da gaseificação.

(v) *Alcoolquímica*

O etanol substitui uma única fração do petróleo. É de grande importância, o desenvolvimento de soluções que permitam a substituição de insumos químicos derivados do petróleo por derivados da cana (renováveis) através da alcoolquímica e da sucroquímica.

A formulação de uma estratégia nacional, que indique prioridade e dê rumo às ações. Uma alternativa seria a criação de uma estrutura no governo que articule todas as questões envolvidas, desde produção, logística, estocagem, pesquisa, relações de zoneamento agrícola e políticas externas. E, acima de tudo, investimento em pesquisa. À semelhança do ocorreu no passado com o petróleo, e setor aeroespacial e a própria agroindústria, o governo poderia nesse momento criar uma institucionalidade que permita a articulação e a consertação do conjunto de ações, dando conta da complexidade inerente à expansão do setor num momento de quebra de paradigma tecnológico.

CONCLUSÕES

CONCLUSÕES

(vi) Sobre a quebra de paradigma tecnológico na produção de biocombustíveis

A oferta estável de energia em quantidade e preços adequados é fundamental para a promoção do bem estar social e para a garantia da estabilidade e do crescimento econômico das nações. Um quadro de segurança energética tende a ser buscado por todos países. Diante da perspectiva de restrição da oferta de petróleo, essa fonte de energia deve ser utilizada como um instrumento de transição para o futuro num padrão sustentável.

Nesse sentido, a ação do Estado pode induzir as ações do mercado de tal forma que as necessidades energéticas da geração atual sejam atendidas ao mesmo tempo em que se gere as condições para implementação de novas e mais limpas tecnologias e fontes de energia para as gerações futuras. É o que têm feito países fortemente dependentes de combustíveis fósseis. O etanol pode ser parte da solução para esses países. O etanol brasileiro, e a tecnologia de produção aqui desenvolvida representam na atualidade a melhor solução comercialmente disponível para esses países.

A agroenergia vai mudar o paradigma da agricultura mundial. Grandes produtores deverão dispor de um conjunto de fatores: terra disponível, sol, água, tecnologia, mão-de-obra e capacidade de realizar e/ou atrair investimentos. No contexto atual os países desenvolvidos têm potencial de investimento, mas não dispõem de condições geográficas e climáticas adequadas em seus territórios. Dos países do sul, o Brasil (e talvez alguns países africanos) está entre os que mais vão se beneficiar desse mercado em expansão. Diante dessa imensa oportunidade, o país deve se empenhar para que a matriz energética conceda um bom espaço para a agroenergia. O crescimento da produção de bioenergia não pode resultar em mera transferência de riquezas naturais, como terra, solo e água, para sustentar os altos níveis de consumo dos países desenvolvidos.

O Brasil dispõe de todos os aspectos necessários para assumir uma posição de liderança no fornecimento de biocombustíveis destinados à mistura com a gasolina para utilização em veículos leves. O etanol é um segmento do agronegócio que ultrapassou a fronteira dos alimentos, bebidas e fibras. A agroenergia é um fato e, no que diz respeito ao setor sucroalcooleiro, pode ser desenvolvida com altos padrões de eficiência e produtividade,

tanto no campo dos biocombustíveis quanto da bioeletricidade. Como substituto à gasolina, o etanol está fadado a manter a sua competitividade. Não há ameaça significativa à competitividade do etanol brasileiro.

Ser factível não garante a máxima exploração da oportunidade de mercado. O etanol pode simplesmente não se consolidar como alternativa adotada em larga escala no mundo. Há uma série de riscos associados à magnitude da expansão suposta nessa tese.

A efetivação das novas tecnologias aqui descritas como o novo paradigma produtivo pode não acontecer. Essa vulnerabilidade se configura caso surjam no cenário mundial outras rotas tecnológicas “baseadas em matérias primas alternativas” sobre as quais não tenhamos conhecimento acumulado ou condições de favoráveis de produção. E que essas alternativas se difundam de forma mais eficiente e ágil que o etanol brasileiro. Essa hipótese é remota, particularmente se considerarmos o tempo de difusão e implementação de outras rotas. Além disso, são necessários enormes volumes de energia para substituição dos combustíveis fósseis, e esses volumes tendem ainda a aumentar através do tempo. O futuro é multi-energético. Não se pode esperar que o etanol brasileiro venha a ser a solução para o problema dos combustíveis no mundo como um todo. Mas pode-se esperar que o país venha a usufruir amplamente das vantagens competitivas que o etanol da cana-de-açúcar tem tanto no mercado interno quanto no mercado externo.

Há ainda a possibilidade de que o Brasil não domine as tecnologias disruptivas de produção do etanol de segunda geração ou simplesmente não as desenvolva a tempo de estarem maduras quando disseminadas em outros países. O domínio das tecnologias de produção do combustível de segunda geração provavelmente não será brasileiro. O Brasil participa e deve seguir se esforçando para ser um dos principais produtores de tecnologia nesse campo. No entanto, as vantagens brasileiras se manterão, independentemente do domínio das tecnologias.

Nesse caso perderíamos as vantagens associadas a sermos detentores, de que dispomos hoje, e passaríamos a ser dependente do fornecimento de “tecnologias estrangeiras”. Cabe aqui lembrar que a competitividade do etanol brasileiro hoje está fortemente apoiada sobre as vantagens naturais e a tecnologia agrícola, mas que no futuro o peso da etapa industrial na constituição de custos competitivos será maior. Mais uma vez, a vulnerabilidade que essa possibilidade representa não é muito significativa. O eventual pagamento de royalties aos detentores das novas tecnologias muito dificilmente irá sobrepujar as grandes margens proporcionadas pelos índices de eficiência fotossintética obtidos em território brasileiro. O que perderíamos seria a capacidade de fornecer soluções aqui desenvolvidas para outras áreas.

Os volumes necessários para o abastecimento de etanol a outras economias no horizonte de 10-20 anos, também poderiam representar um obstáculo importante à internacionalização do etanol. Isso não diz respeito à disponibilidade de terras ou a capacidade de produção de alimentos e de matérias-primas. A disponibilidade de terras agriculturáveis não utilizada representa para o Brasil grande oportunidade de expansão da cultura da cana-de-açúcar. São poucas as regiões do planeta que conciliam as condições climáticas com a disponibilidade de terras. O Brasil e Angola são os principais candidatos a essa expansão. O que se pretende sinalizar aqui é que pode haver dificuldade na expansão da atividade em regiões não tradicionais de produção onde a obtenção dos níveis de produtividade e dos custos de produção hoje praticados não aconteça com facilidade e no tempo esperado. Ou ainda, pode ocorrer que os investimentos não aconteçam na proporção projetada. A esse respeito, destaca-se a existência de instituições de pesquisa tais como a Embrapa e o CTC, que têm demonstrado enorme capacidade de desenvolvimento e implementação da cultura da cana-de-açúcar em diferentes regiões.

A comercialização dos volumes projetados para os próximos anos também pode não se efetivar como decorrência de uma série restrições físicas ou econômicas à comercialização. A criação da infra-estrutura necessária para a produção, transporte, armazenamento e distribuição de volumes tão grandes de etanol requerem investimentos igualmente grandes e que dificilmente acontecerão espontaneamente. Barreiras logísticas podem se configurar como um entrave, não só à exportação como à própria expansão da produção. Mais uma vez não se configura através desse aspecto vulnerabilidade significativa: a experiência anterior do país na implementação de um programa do porte do Proálcool, a presença de atores fortes, como a Petrobrás, sinalizam que a capacidade de coordenação sobre os investimentos desta natureza pode ser efetivada/ resgatada/desenvolvida.

Uma última séria vulnerabilidade diz respeito à aceitação do etanol combustível como parte a solução para o problema de substituição dos combustíveis fósseis. O Brasil precisa investir esforços para comprovar e garantir que o etanol aqui produzido é uma alternativa adequada do ponto de vista da sustentabilidade, em sentido amplo.

A trajetória do setor sucroalcooleiro nacional no futuro depende de ações do estado no presente

Novas tecnologias de produção de bioenergia e novos combustíveis renováveis e/ou avanços na conservação não necessariamente representam ameaças ao setor sucroalcooleiro a curto ou médio prazo.

Uma vez que se assuma o papel estratégico do setor para o futuro do país, à semelhança do que foi feito no Proálcool, e que se crie mecanismos adequados ao momento histórico. O papel exercido no passado pelas políticas públicas na mudança de patamar tecnológico das diferentes configurações industriais caracterizadas nesta tese é evidente. A sua importância através do tempo persiste, ainda que sua natureza mude.

Através do Proálcool o governo brasileiro promoveu uma ambiciosa expansão da oferta de etanol. A natureza das ações que são necessárias nesse momento é bastante diferente daquelas. A expansão da produção está acontecendo à revelia de incentivos e fomentos por parte do estado, o que é muito positivo. No entanto, a ausência de coordenação pode levar a uma expansão desordenada, indiscriminada. A qualidade dessa expansão em termos de resultados para a população brasileira, para os trabalhadores da cadeia de produção sucroalcooleira, para a economia do país e para a iniciativa privada é que pode ser fortemente favorecida em decorrência de políticas adequadas. Dificilmente o país perderá sua vantagem competitiva, mas isso não significa que devemos nos satisfazer / acomodar no quadro positivo que o etanol brasileiro enfrenta hoje.

Pesquisa e desenvolvimento

O país tem sido capaz de gerar riqueza através da inovação científica e tecnológica voltadas para o setor sucroalcooleiro. Esse quadro precisa ser mantido e intensificado. Os estudos realizados no âmbito desta tese revelam a necessidade de alocação sistemática e consistente de recursos para o desenvolvimento tecnológico.

O preço do petróleo elevado torna o biocombustível de primeira geração lucrativo e, numa racionalidade estritamente empresarial, sobretudo no curto prazo, desincentiva o desenvolvimento do biocombustível de segunda geração. O descaso em relação ao desenvolvimento tecnológico seguramente resultará em maior vulnerabilidade para o setor.

A agenda de pesquisa e desenvolvimento para o setor deve seguir contemplando diferentes campos de conhecimento. O caráter estratégico do setor justifica a criação de um

centro de excelência em pesquisa e desenvolvimento de bioetanol com metas claras de desenvolvimento, complementação e consolidação de nossas competências. Essa agenda não pode prescindir de avanços nos diferentes campos quais sejam, hidrólise de material lignocelulósico, rotas de gaseificação, biorefinaria, sucroquímica, alcoolquímica, bens de capital, desenvolvimento genético e varietal de espécies de cana destinada à produção de bioenergia e adequadas às diferentes regiões do país e do mundo e o desenvolvimento da biotecnologia aplicada a bioenergia.

Através de programas de pesquisa, desenvolvimento e inovação, voltados para a cadeia produtiva do etanol será viabilizada a redução de custos e melhoria contínua da sustentabilidade da cadeia resultando em ganhos de produtividade, otimização das operações agrícolas, ganhos na eficiência industrial, redução dos efluentes e seu reciclo, redução do consumo de água e energia, e otimização do uso de insumos.

Particularmente às tecnologias de fabricação, o ambiente acadêmico deverá ser capaz de atuar em conjunto com o ambiente empresarial no desenvolvimento das soluções e na implementação das novas rotas.

O porte dos equipamentos utilizados no processo de fabricação de etanol dificilmente permite que os experimentos industriais sejam realizados por empresas isoladamente. A passagem das pesquisas de bancada para o projeto piloto requer parceria com pelo menos uma empresa fabricante de bens de capital. Esse é, em regra, um processo intensivo em engenharia, particularmente na engenharia de processos.

No Capítulo 1 apresentamos evidências de que muitas das soluções tecnológicas estavam disponíveis comercialmente durante o pré-álcool. Exemplos disso são os processos de extração a partir da difusão, avançados e altamente eficientes, melhorias de projetos nos subsistemas de fermentação e destilação, serviços de geração de calor. O fato de que essas alternativas não foram adotadas àquela época, e hoje fazem parte das configurações industriais, conforme apresentado no Capítulo 2, sugere que a retirada dos subsídios e incentivos governamentais pressionou os produtores para a realização de investimentos na modernização de suas plantas. Ainda que incrementais, os ganhos de produtividade contribuíram decisivamente para a competitividade atual do setor. Graças à existência de centros de pesquisa altamente capacitados, essas soluções estavam disponíveis quando isso foi mais necessário. Alterações de projeto se acumularam através do tempo e aconteceram de forma desordenada resultando num parque industrial com alta heterogeneidade em termos de configuração. Ainda assim, os números globais revelam inquestionável avanço técnico do setor durante o período.

As novas tecnologias emergentes provavelmente não trarão grandes desafios de natureza tecnológica ao setor de bens de capital. A fabricação de reatores para a hidrólise ou de gaseificadores não representa grande ameaça sob o ponto de vista de fabricação. Possivelmente haja mais eletrônica embarcada nos equipamentos em virtude do emprego de automação nos processos de fabricação. É provável que os equipamentos demandem materiais mais resistentes que os utilizados atualmente. As maiores transformações tecnológicas serão no campo da engenharia de processos e não na engenharia de produtos (bens de capital). Desta forma, o desenvolvimento do setor de serviços de engenharia (know-how) tende a ser decisivo. Esse setor é fundamental para o país por dois motivos: ele pode contribuir seja para a exportação da tecnologia brasileira pela oferta de projetos completos para todo o complexo; seja para elevar a capacidade de especificar os equipamentos que são adotados nos projetos. Convém lembrar que empresas de engenharia brasileiras certamente tenderão a especificar equipamentos nacionais.

Se há forte sinergia na inter-relação dos serviços de engenharia com o setor de bens de capital, são maiores as chances do país exportar tecnologia, máquinas e equipamentos para a expansão da produção de etanol de cana-de-açúcar em outros países.

Planejamento da expansão

O governo também tem importante papel no “planejamento da expansão” contribuindo com a criação das condições para a transição para um novo paradigma de produção e/ou para o surgimento de uma nova indústria de energia (etanol e energia elétrica) com base na cana de açúcar. O zoneamento econômico-ecológico é fundamental para a definição das áreas onde será possível expandir a produção. Através de incentivos será possível melhorar os parâmetros de sustentabilidade na produção e uso do etanol.

No que diz respeito às configurações industriais no futuro algumas questões estão postas. Como será repartida a utilização do bagaço entre a produção de etanol de segunda geração e a produção de bioeletricidade? Especula-se hoje que o etanol celulósico, uma vez viabilizado em escala industrial, competirá com a bioeletricidade pelo acesso ao bagaço. Conforme apresentado no Capítulo 3, a viabilização em escala industrial dos processos de produção de etanol celulósico é iminente. Seguramente acontecerá dentro do período de vida útil das plantas que estão sendo criadas.

A expansão da produção do etanol no Brasil será motivada tanto pela expansão do mercado interno quanto do mercado externo. A fração da oferta desse biocombustível

oferecida ao mercado interno merece ser foco de sinalização clara pelo governo. A mesma sinalização resultará em maior segurança aos mercados externos (a partir da definição da extensão que a bioeletricidade deverá ter na matriz energética brasileira), facilitando a criação do mercado internacional de etanol. Além disso, essa sinalização auxiliará os processos de tomada de decisão sobre a configuração industrial dos novos empreendimentos.

Até o momento, o etanol tem sido adotado como uma parcela da matriz de transportes dedicada a veículos leves. Em sua maior parte esses veículos respondem por uma fração do transporte de passageiros. O escoamento da produção intra e entre estados realizado através nas rodovias brasileiras acontece através de veículos pesados, para os quais ainda não se desenvolveu motores movidos a etanol. Nesses casos o biodiesel é a alternativa de biocombustível disponível (e cujas perspectivas de participação na matriz de transporte não se equiparam em termos de volumes/impacto ao etanol). Também aqui o Brasil pode explorar ainda mais suas vantagens comparativas na produção de etanol combustível. Através da introdução no mercado de veículos médios que utilizem motores flexfuel em substituição aos motores a diesel. Outra alternativa a ser desenvolvida é o uso do etanol como combustível para o setor de aviação¹¹⁸.

É premente que o país projete a expansão da produção de biocombustível etanol e da bioeletricidade em função de uma visão de futuro de sua matriz energética (e a participação da matriz de transportes na mesma). A partir da definição de uma estratégia de produção e consumo de bioenergia no país serão delineadas não só ações públicas, mas principalmente sinalizado ao setor privado o papel que pode ter no futuro e o tamanho do mercado interno.

O planejamento da expansão pode garantir a geração de novos e bons empregos diretos, indiretos e induzidos além da oferta de recursos humanos qualificados para a expansão.

Dentre as oportunidades da imensa expansão que está anunciada, está o desenvolvimento de novas regiões produtoras no país, gerando condições para a interiorização e regionalização do desenvolvimento pela expansão da agricultura de energia e agregação de valor na cadeia produtiva. Aí também se enquadram as áreas tradicionais de baixa

¹¹⁸ O uso do etanol como combustível na aviação apresenta muitas vantagens. Além de reduzir a emissão de CO₂, apresenta maior produtividade (12% maior na aeronave Ipanema de Embraer), acréscimo de potência de 7% e redução dos custos de operação da ordem de R\$3,5/R\$1. Como desvantagens são citadas o aumento de consumo da ordem de 30 a 40%, maior corrosão nos motores e maior densidade, o que resulta em maior volume e peso e na necessidade de adaptação no sistema de partida. Já existem motores certificados no Brasil, no entanto, a maior parte da frota que voa com etanol - aviões agrícolas em sua quase totalidade - é ilegal. Fonte: ISAF XVI.

produtividade (NE e RJ) que podem ser inseridas de forma competitiva na dinâmica interna e externa de expansão da produção de etanol.

Questão estratégica

A construção de uma política nacional para o clima, a fixação de metas e padrões energéticos e ambientais para as atividades de geração e distribuição de energia e de produção e uso de combustíveis, a adequada regulação do mercado de energia no país e o desenvolvimento de um ambiente institucional favorável deverão garantir a segurança energética e a gestão de energia no Brasil.

Faz parte desse processo, assumir absoluto controle sobre o desmatamento e as demais modalidades de emissão do carbono por um lado (por exemplo, pelo desincentivo às fontes com altas taxas de emissão) e pelo outro lado a promoção das fontes de energia que reciclam o carbono e são menos poluentes de uma forma geral. Essas intervenções abarcam não só as medidas que promoverão a expansão da produção, do consumo de bioenergia e do respectivo desenvolvimento tecnológico, mas também a demonstração por parte do governo de sua capacidade de fazer respeitar as leis e implementar os programas de expansão da agroenergia em padrões sustentáveis.

Uma parte significativa das críticas que são feitas aos biocombustíveis não se aplica ao etanol brasileiro. A dinâmica de expansão do biodiesel, por exemplo, difere em muito da dinâmica do etanol. Grande parte das críticas feitas ao etanol brasileiro se fundamenta na incapacidade do estado de criar regras, normas e leis de forma coordenada e segundo os interesses do país, e de implementá-las de forma eficiente.

Virtualmente, a participação de fontes renováveis na matriz energética brasileira pode vir a se constituir num fator de competitividade a ser explorado pelo país no mercado global. Na hipótese de serem internalizados os custos ambientais de fabricação de bens e commodities na formação de preços, a competitividade dos produtos brasileiros no contexto global se elevaria drasticamente. A tendência de maior consciência ambiental repercute na maior aceitação dos produtos resultantes de processos “ambientalmente corretos”. O Brasil já possui uma matriz considerada bastante limpa, em que a fonte hídrica é responsável por 77% da geração de energia elétrica (ver anexo C). Nesse sentido, o país poderia explorar o fato de que seus produtos utilizam “energia verde” em seus processos de fabricação. Segundo desenvolvido no Capítulo 3 o uso do bagaço de cana pode elevar a capacidade de geração elétrica em TORNO DE 8.500 MW já na safra 2011/2012. Se for somado o uso da palha e da

ponta da cana, o potencial sobe para 20 mil MW – quantidades enormemente superiores ao que se pode obter da energia eólica (menos de 300MW até hoje, não obstante os incentivos do Proinfa.

Até mesmo a questão de segurança alimentar pode ser explorada como um aspecto positivo para o país. Nossa vantagem comparativa em relação aos EUA não se restringe à produção de etanol e agroenergia. O fato de o país ter fronteira agrícola e condições climáticas favoráveis nos coloca em posição de expandir também a oferta de alimentos ao mercado mundial.

A renovação da frota de veículos leves, conforme apresentado no Capítulo 3, imprime flexibilidade às alternativas de políticas públicas. Sendo esses motores capazes de comportar gasolina pura, etanol puro ou qualquer mistura intermediária dos dois, e, sendo a prática de adição de etanol à gasolina difundida e aceita pela população há anos, o governo pode explorar essa peculiaridade brasileira. A atual taxa de mistura compulsória de etanol à gasolina representa um “buffer” que pode ser utilizado pelo governo em cenários de maior ou menor demanda internacional pelo etanol, ou de maior ou menor oferta pelo setor produtivo. Vale aqui lembrar que a oferta dos veículos flex-fuel nacionais aos mercados estrangeiros, possivelmente como parte de um pacote que incluiria tecnologia de produção e o próprio combustível, também representa grande oportunidade para o país.

Uma outra alternativa, ainda hoje limitada pelas características técnicas da gasolina brasileira, seria a exportação de “blends” para os países que vierem a adotar a adição de etanol ao combustível. Muitos países importadores de gasolina teriam que realizar investimentos na infra-estrutura para a realização da mistura dos dois combustíveis. Uma oportunidade para o Brasil seria o desenvolvimento de soluções específicas para cada país e a exportação do combustível “verde” (gasolina adequada aos diferentes mercados e já misturada ao etanol nas proporções desejadas) e até mesmo dos próprios veículos.¹¹⁹

¹¹⁹ “O Brasil deve voltar a consumir mais álcool combustível do que gasolina a partir de 2012. O avanço do álcool nas bombas reflete as vendas expressivas de carros “flex” no país e a melhor relação de preços do combustível sobre a gasolina. A expectativa é que a gasolina excedente seja exportada. Para isso, a Petrobras já investe pesado na melhoria da qualidade desse combustível.... **“A Petrobras está investindo para melhorar a qualidade da gasolina. Com isso, poderá exportar para outros mercados e a preços mais atraentes”**, afirma a fonte. A estatal investe em unidades de hidrodesulfurização, que permitem reduzir o teor de enxofre da gasolina. O objetivo é passar das atuais mil partículas por milhão (PPM) para 50 PPM nos próximos dois anos. Esses aportes estão estimados em cerca de US\$ 3 bilhões. “Com uma gasolina de melhor qualidade, o Brasil pode conseguir preços até 30% maiores com o produto exportado”, afirma a fonte.” Mônica Scaramuzzo ValorEconômico,31/01/2008

O quadro abaixo apresenta resumo da evolução da produtividade nas etapas agrícola e industrial observada no passado e esperada no futuro além de aspectos observados em relação a políticas e instituições associados ao setor sucro-alcooleiro nos períodos estudados.

Quadro V

PERÍODO	PARÂMETROS TÉCNICOS(1)			RESUMO			
	Litros de etanol/TC	Litros de etanol/hectare	TC/hectare	ÁREAS DE INTERVENÇÃO DE POLÍTICAS (2)	MEDIDAS DE POLÍTICAS E INSTITUIÇÕES RELACIONADAS	ASPECTOS OBSERVADOS	
1977-1978. Início do Programa Nacional do Etanol	70	4550	65	*Oportunidades de inovação científica e tecnológica	*Políticas científicas, capacitação, projetos tecnológicos de fronteira: Universidades, centros públicos de pesquisa	Direcionamento de créditos para desenvolvimento de pesquisas tecnológicas e desenvolvimento de produtividade agrícola	Desenvolvimento de competências distintas no âmbito tecnológico e significativo expansão da produção através de políticas de aumento da demanda
				* Medidas de apoio direcionadas à indústria	*políticas que afetam os investimentos das empresas, subsídios: Bancos públicos, holdings estatais, empresas de utilidade pública	Taxas de juros subsidiadas e direcionamento de créditos para financiamento da expansão industrial criação de três destilarias centrais	
				* Aprendizado e aptidões tecnológicas socialmente distribuídos	* Políticas educacionais e de treinamento: Do ensino básico ao científico	Não associadas diretamente ao Programa	
				* Sinais e incentivos econômicos dados aos agentes com fins lucrativos	*expansão do consumo com garantia da demanda	Adição compulsória de etanol à gasolina e garantia de compra pelo Conselho Nacional do Petróleo de todo etanol produzido	
				* Mecanismos de seleção	* Políticas que regulam a concorrência	Criação do Instituto do Açúcar e do Alcool IAA	
rendimentos Agrícola e Industrial aumentaram. Os rendimentos aumentaram.	75	5700	76	*Oportunidades de inovação científica e tecnológica	*Políticas científicas, capacitação, projetos tecnológicos de fronteira: Universidades, centros públicos de pesquisa	Direcionamento de créditos para desenvolvimento de pesquisas tecnológicas e desenvolvimento de produtividade agrícola	Surgimento da destilaria autônoma e do veículo movido a álcool. Vultosa expansão da produção por aumento da demanda induzido por políticas públicas.
				* Medidas de apoio direcionadas à indústria	*políticas que afetam os investimentos das empresas, subsídios: Bancos públicos, holdings estatais, empresas de utilidade pública	Taxas de juros subsidiadas e direcionamento de créditos para financiamento de destilarias de etanol e de plantio da cana-de-açúcar	
				* Aprendizado e aptidões tecnológicas socialmente distribuídos	* Políticas educacionais e de treinamento: Do ensino básico ao científico	Não associadas diretamente ao Programa	
				* Sinais e incentivos econômicos dados aos agentes com fins lucrativos	*expansão do consumo com garantia da demanda	Etanol usado como substituto e não como aditivo à gasolina; medidas fiscais e parafiscais (IPI, IPVA, IUCLG)	
				* Mecanismos de seleção	* Políticas que regulam a concorrência	Constituição do CNEN - Comissão Nacional de Energia e do CENAL - Comissão Nacional do Alcool	
Situação atual. Processo de produção de etanol operando com a melhor tecnologia disponível	85	6800	80	*Oportunidades de inovação científica e tecnológica	*Políticas científicas, capacitação, projetos tecnológicos de fronteira: Universidades, centros públicos de pesquisa	Volume de recursos públicos para P&D existentes pouco significativos. Apesar disso a adoção de tecnologias mais modernas resultam no aumento da produtividade do setor.	Surgimento do veículo flex-fuel. Empresas buscam compensar a ausência de incentivos com investimentos em tecnologia mais modernas e implementação de tecnologias mais sofisticadas resultando em um setor altamente competitivo
				* Medidas de apoio direcionadas à indústria	*políticas que afetam os investimentos das empresas, subsídios: Bancos públicos, holdings estatais, empresas de utilidade pública	Ausentes	
				* Aprendizado e aptidões tecnológicas socialmente distribuídos	* Políticas educacionais e de treinamento: Do ensino básico ao científico	Não associadas diretamente ao desenvolvimento do setor	
				* Sinais e incentivos econômicos dados aos agentes com fins lucrativos	Regulações de preços, quotas e tarifas	Permanecem em vigor as normas relativas à adição de etanol à gasolina; Ausência de uma política única para a bioenergia	
				* Mecanismos de seleção	* Políticas que regulam a concorrência	Ausentes	
2010 - 2025 . Estágios sucessivos de otimização com adoção de tecnologias disruptivas	86,2	6900	81	*Oportunidades de inovação científica e tecnológica	*Políticas científicas, capacitação, projetos tecnológicos de fronteira: Universidades, centros públicos de pesquisa	Necessidade de garantir agenda estratégica de pesquisa; necessidade de organização e articulação de atividades de pesquisa, apoio financeiro PARCIAL às pesquisas	A expansão da produção e do consumo acontecerá independentemente da ação do Estado. Os resultados dessa expansão podem ser potencializados em benefício da sociedade brasileira com decorrência de ações específicas do Estado.
				* Medidas de apoio direcionadas à indústria	*políticas que afetam os investimentos das empresas, subsídios: Bancos públicos, holdings estatais, empresas de utilidade pública	Investimentos em logística de distribuição; crédito direcionado para iniciativas tecnologicamente avançadas, sustentáveis e em regiões desejadas	
				* Aprendizado e aptidões tecnológicas socialmente distribuídos	* Políticas educacionais e de treinamento: Do ensino básico ao científico	Capacitação de mão-de-obra especializada na regiões de expansão da produção.	
				* Sinais e incentivos econômicos dados aos agentes com fins lucrativos	Regulações de preços, quotas e tarifas	Definição da participação esperada da bioeletricidade e dos biocombustíveis na Matriz Energética brasileira; regiões onde deverá ocorrer a expansão;	
				* Mecanismos de seleção	* Políticas que regulam a concorrência	Zonamento econômico-ecológico; certificação social e ambiental dos projetos e produtos;	
-	89,5	7160	84	* Capacidade dos agentes de buscar acesso a novos avanços tecnológicos e organizacionais	Políticas de P&D e de adoção de novos equipamentos: Agências reguladoras, de incentivo à pesquisa, à produção, PI	Indução de incentivos para realização de investimentos no desenvolvimento de biocombustíveis de segunda geração, e de outros usos para os mesmos. Articulação de iniciativas conjuntas entre ambiente acadêmico e empresarial.	

(1) Fonte: Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético, Universidade Estadual de Campinas, Convênio: CGEE – Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, Projeto: Estudo sobre as possibilidades e impactos da produção de grandes quantidades de etanol visando à substituição parcial de gasolina no mundo. RELATÓRIO FINAL Dezembro de 2005.

(2) Fonte: Instituições e Políticas Moldando o Desenvolvimento Industrial: uma nota Introdutória Cimoli, Mario, Dosi, Giovanni, Nelson, Richard, Stiglitz, Joseph - Revista Brasileira de Inovação, Volume 6, número 1 – Janeiro/Junho de 2007, Rio de Janeiro, RJ, FINEP, 2007 – página 66.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMES, Robert M. Corridore, Anthony. MacAvoy, Paul W. “National Defense, Oil Imports, and Bio-Energy Technology”. Working Paper Series OL. Yale School of Management. papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=554664.
- ANDRADE, Reginaldo Rodrigues de. Demanda e Perfil Profissional de Técnicos de Nível Médio para o Setor Sucro-alcooleiro. Dissertação. Instituto de Agronomia. UFRRJ, Seropédica, RJ. 2005.
- BARBAGALLO, Leslie. An overview of Ethanol and Energy Hedging. Ethanol Producer Magazine, September Issue.
- BARRETO, Tobias. *Etanol, o Combustível do Brasil*. Editora Agrônômica Ceres Ltda. São Paulo. 1980.
- BIOFUELS IN THE EUROPEAN UNION - A vision for 2030 and beyond - Final report of the Biofuels Research Advisory Council, 2006 EUR 22066, Directorate-General for Research.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional 2007: Ano base 2006: Resultados Preliminares / Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro: EPE, 2007. http://www.ben.epe.gov.br/downloads/Resultados_Pre_BEN_2007.pdf
- BRAZIL: A Country Profile On Sustainable Energy Development, International Atomic Energy Agency, COPPE-Graduate School of Engineering, Federal University of Rio de Janeiro.
- BRIGHENTI, Claudia Rodrigues Faria; COELHO, Suani Teixeira; REIS, Lineu Bélico. *Integração do Setor Sucroalcooleiro com o Sistema Elétrico*. Site do CENBIO.
- CAMARGO, João Carlos; SILVA, Ennio Peres; CANAVARROS, Otacílio Borges; CAVALIERO, Carla Kazue Nakao; ARAÚJO, Paula Duarte. *Fornecimento de Energia Elétrica através de Células a Combustível Utilizando Reforma de Etanol em Comunidade Isolada do Estado de Mato Grosso*. UNICAMP e NIEPE-UFMT.
- CARMEIS, Dean William, Mapeamento de competências e infra-estrutura no setor de energia - Etapa1, CTenerg, Secretaria Técnica do Fundo Setorial de Energia, Centro de Gestão e Estudos Estratégicos – Ciência, Tecnologia e Inovação – Brasília, Fevereiro de 2003. <http://www.ftm.mct.gov.br/fontes/Fundos/Documentos/CTenerg/ct-energ02mapeamento.c omp.pdf>
- CARUSO, Guy, The Impact of Petroleum Technology Advances on Long-Term Energy Markets, 3rd September 2006, Vienna, Austria. Fonte: http://www.opec.org/opecna/Speeches/2006/OPEC_Seminar/PDF/Guy%20Caruso.pdf.
- CENBIO-Brazilian Reference Centre on Biomass, United Nations Department of Economic and Social Affairs. http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1247_web.pdf
- CEPAL - Oportunidades Y Riesgos Del Uso De La Bioenergía Para La Seguridad Alimentaria En América Latina y el Caribe. <http://www.rlc.fao.org/prior/segalim/pdf/bioenergia.pdf>.
- CGEE. Estado da Arte e Tendências das Tecnologias para Energia. Janeiro, 2003. http://www.cgee.org.br/arquivos/pro01_doc_ref.pdf

- Cimoli, Mario, Dosi, Giovanni, Nelson, Richard, Stiglitz, Joseph. Instituições e Políticas Moldando o Desenvolvimento Industrial: uma nota Introdutória - Revista Brasileira de Inovação, Volume 6, número 1 – Janeiro /Junho de 2007, Rio de Janeiro, RJ, FINEP, 2007
- COELHO, Suani Teixeira; Paletta, Carlos Eduardo; Velásquez, Sílvia M.S.G., Guardabassi, Patrícia, Varkulya Jr., Américo. Comparação da Eletricidade Gerada em Ciclos Combinados a Gás Natural e a partir de Biomassa – Nota Técnica. CENBIO – Centro Nacional de Referência em Biomassa, Abril 2000. <http://www.cenbio.iee.usp.br/documentos/documentos.htm>.
- CONSELHO NACIONAL DE POLÍTICA ENERGÉTICA - Comitê Técnico da Matriz Energética (Ct2) - Matriz Energética Nacional: Projeções PARA - 2005, 2010, 2015 e 2022 - Sumário Executivo, Dezembro de 2002.
- CORRÊA NETO, Vicente e RAMON, Dan. Análise de Opções Tecnológicas para Projetos de Co-Geração no Setor Sucroalcooleiro. USAID/Brazil - Clean Energy na Efficient Energy Program. Brasília. Maio de 2002.
- CORRÊA NETO, Vicente. *Análise de Viabilidade da Cogeração de Energia Elétrica em Ciclo Combinado com Gaseificação de Biomassa de Cana-de-Açúcar e Gás Natural*. Tese de Mestrado. COPPE. Rio de Janeiro. Março de 2001.
- CORRÊA NETO, V; RAMON, D. Análise de Opções Tecnológicas para Projetos de Co-geração no Setor Sucroalcooleiro. Setap. Brasília, 2002.
- EBERT, Jessica – A research revolution – Ethanol Producer Magazine, September 2007 Issue
- FIGUEIRA, Sérgio Rangel; Os Programas de álcool como combustíveis nos EUA, no Japão e na União Européia e as possibilidades de exportação do Brasil; Tese, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.
- GIRARD, Philippe; FALLOT, Abigail. Review of exiting and emerging technologies for the production of biofuels in developing countries. Energy or Sustainable Development, Volume X, No. 2, June 2006 http://www.esd-journal.org/vol%2010_issue2.html.
- GRANATO, Eder Fronzar e SILVA, Celso Luiz – *Geração de Energia Elétrica a Partir do Resíduo Vinhaça*. <http://www.unesp.br>.
- GRUPO DE TRABALHO INTERMINISTERIAL do Setor Sucroalcooleiro da Região Nordeste – Relatório Final. Setembro de 2005. Presidência da República. Casa Civil.
- HAMEL, Mohamed, “Providing Petroleum, Promoting Prosperity, Protecting the Planet”, Oil outlook and investment challenges, Energy Studies Department, OPEC Secretariat, Vienna, Background paper for the Ministerial Symposium on November 2007, Riyadh, Saudi Arabia <http://www.opec.org/opecna/Speeches/2007/HeadEnergyStudies%20Paper%20for%20Symposium.pdf>
- HOLT-GIMÉNEZ, Eric. Biocombustíveis: os cinco mitos da transição dos agrocombustíveis (Tradução Ana Amorim), <http://www.adital.org.br/site/noticia.asp?lang=PT&cod=28506busca=biocombustiveis>.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Energy Technologies at the cutting edge, 2005. www.iea.org/statist/index.htm.
- _____. Energy Technology Perspectives- Scenarios & Strategies to 2050, 2006. OECD/IEA, 2006.
- _____. Key World Energy Statistics, 2005. www.iea.org/statist/index.htm.
- JACOBS, James. Ethanol from Sugar – What are the prospects for U.S. sugar co-ops USDA Rural Development. <http://www.rurdev.usda.gov/rd/pubs/>
- JOSEPH JR., Henry . Agroenergia veicular. Revista de Política Agrícola. Ano XV – nº. 03. Jul/Ago/Set 2006 Brasília-DF.

- KOPLow, Doug; BIOFUELS. The what cost? Government support for ethanol and biodiesel in the United States. Global Subsidies Initiative. October 2006. <http://www.globalsubsidies.org>.
- KWANT, Kees W. e KNOEF, Harrie. Status of Biomass Gasification in Countries participating in the IEA Bioenergy Task 33 Biomass Gasification and Eu Gasnet. October 2004. [http://www.gastechnology.org/webroot/downloads/en/IEA/ Biomass Gasification Country ReportsOct2004.pdf](http://www.gastechnology.org/webroot/downloads/en/IEA/Biomass%20Gasification%20Country%20ReportsOct2004.pdf).
- LARDELLI, Michael. A revolutionary report on the future of oil, Australia's e-journal of social and political debate. Posted on Monday. 30 July 2007.
- LEITE, Antonio Dias. A ENERGIA DO BRASIL. Editora Nova Fronteira. Rio de Janeiro, 1997.
- LEITE, Rogerio Cezar de Cerqueira. REPORT FOR THE IUAP WORKING GROUP ON ENERGY – ENERGY FROM BIOMASS. NIPE/UNICAMP/ FINEP. June 2005. <http://www.iupap.org/wg/energy/tech.pdf>
- LEITE, Rogério de Cerqueira e Cortez, Luís Augusto Barbosa - Coordenadores, Estudo sobre as possibilidades e impactos da produção de grandes quantidades de etanol visando à substituição parcial de gasolina no mundo – Fase 2 - Relatório Final - Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético. UNICAMP. Circulação Restrita. Brasília. Março 2007.
- LIMA, Leo da Rocha e MARCONDES, Aluizio de Abreu. Álcool Carburante. Editora UFPR. Curitiba. Paraná. Brasil 2002.
- _____. Etanol Carburante – uma estratégia brasileira. Editora UFPR. Curitiba. Paraná. Brasil. 2002.
- LYN, Lee R; Cushman, Janet H.; Nichols, Roberta J.; Wyman, Charles E. Fuel Ethanol from Cellulosic Biomass. Science, New Series, Vol 251, No. 4999 (Mar, 15, 1991), pp. 1318-1323. www.sciencemag.org/cgi/content.
- MACEDO, Isaias C., Tecnologia e custos industriais da produção de etanol, em ENERGIA, Economia e Tecnologia. La Rovere, Emílio Lebre, Rosa, Luis Pinguelli, Rodrigues, Adriano Pires. Orgs. Editora Marco Zero. FINEP. Rio de Janeiro. 1985. p. 261-273.
- MACEDO, Isaias de Carvalho. Org. A Energia da Cana de Açúcar - Doze estudos sobre a agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e a sua sustentabilidade única. Berlendis Editores Ltda. São Paulo. 2005.
- MACHADO, Cristina Maria Monteiro e ABREU, Frederique Rosa e. Produção de álcool combustível a partir de carboidratos. Revista de Política Agrícola. Ano XV – nº. 03. Jul/Ago/Set 2006. Brasília-DF.
- MARCOCCIA, Renato – *A Participação do Etanol Brasileiro e uma Nova Perspectiva na Matriz Energética Mundial*. USP. São Paulo. 2007.
- MARQUES, Marcos Omir; MUTTON, Miguel Ângelo; AZANIA, Andréia Aparecida de Pádua M; TASSO JUNIOR, Luiz Carlos; NOGUEIRA, Gustavo de Almeida; VALE, Diego Wylliam. Tópicos em Tecnologia Sucroalcooleira. 2006. Jaboticabal. SP.
- MATHEWS, John A. Biofuel: What a Biopact between North and South could achieve, Energy Policy 35 (2007) págs. 3550-3570, <http://www.lean.net.au/thoughts/Biopactpaper5Feb07.pdf>
- METSCHIES, Gerhard P., THIELMANN, Sascha; WAGNER, Armin. Removing fuel subsidies: clearing the road to sustainable development, Global Subsidies Initiative, March 2007. <http://www.globalsubsidies.org>.

- MORCELI, Paulo. Futuro para o álcool brasileiro. Revista de Política Agrícola. Ano XV – no. 03. Jul/Ago/Set 2006. Brasília - DF.
- NEVES, Marcos Fava e CONEJERO, Marco Antonio. O Brasil como Fornecedor Mundial de Alimentos, Fibras e Bioenergia em 2010: Uma Agenda de Trabalho, www.fearp.usp.br/fava
- NEVES, Marcos Fava. WAACK, Roberto Silva. e MARINO, Matheus Kfourir. Sistema Agroindustrial da Cana-de-açúcar: Caracterização das Transações entre Empresas de Insumos, Produtores de Cana e Usinas - Anais do XXXVI Congresso da Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural - SOBER, Poços de Caldas, MG, 10 a 14 de agosto de 1998, Vol. 01, p. 559-572.
- NITSCH, Manfred e GIERSDORF, Jens. Biocombustíveis no Brasil. Contribuições para Discussão da Área Técnica de Ciências Econômicas da Universidade Livre de Berlin. No. 12/2005. ISBN 3-938369-11-6.
- NÚCLEO INTERDISCIPLINAR de Planejamento Energético, Universidade Estadual de Campinas, Convênio: CGEE – Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, Projeto: Estudo sobre as possibilidades e impactos da produção de grandes quantidades de etanol visando à substituição parcial de gasolina no mundo. RELATÓRIO FINAL. Dezembro de 2005.
- OECD-FAO, Agricultural Outlook, 2006 - 2015. http://www.oecd.org/document/16/0,2340,en_649_201185_37032958_1_1_1_1,00.html.
- ORTEGA, Enrique; WATANABE, Marcos e CAVALETT, Otavio. A Produção de Etanol em Micro e Mini-Destilarias. FEA. UNICAMP. <http://www.unicamp.br/fea/ortega/MarcelloMello/mini-usina-Ortega.pdf>
- RASOVSKY, E. Milan. ÁCOOL – DESTILARIAS. Coleção Canavieira no. 12. Instituto do Açúcar e do Alcool. Rio de Janeiro, 1973.
- RODRIGUES, Délcio e ORTIZ, Lúcia – Em direção à sustentabilidade da produção de etanol de cana-de-açúcar no Brasil. Outubro de 2006. <http://www.vitaecivilis.org>.
- ROSILLO-CALLE, Frank; BAJAY, Sergio; Rothman, Harry Orgs. Uso de Biomassa para Produção de Energia na Indústria Brasileira. Editora UNICAMP. Campinas. 2005.
- ROTHKOPF, Garte - A Blueprint for Green Energy in the Americas, Fonte: <http://www.idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=945774>
- SACHS, Raquel Castellucci Caruso. Remuneração da tonelada de cana-de-açúcar no estado de São Paulo. Informações Econômicas, SP, v37, nº.2, fev 2007.
- SCHILL, Susanne Retka Schill. Visualizing Future Bioenergy Harvests, Ethanol Producer Magazine, September 2007 Issue.
- SCHIPPER, Lee and Céline Marie-Lilliu. Lewis-Davis, Gareth. Rapid Motorisation in the Largest Countries in Asia: Implication for Oil, Carbon Dioxide and Transportation. International Energy Agency, 2001. http://www.iea.org/textbase/publications/free_new_key_result.asp?keys2=4100.
- SEBRAE O NOVO CICLO DA CANA: Estudo sobre a Competitividade do Sistema Agroindustrial da Cana-de-açúcar e Prospecção de Novos Empreendimentos. Editora IEL. Brasília. 2005.
- SILVA, Celso Luiz e GRANATO, Eder Fonzar. Geração de Energia Elétrica a Partir do Resíduo Vinhaça. UNESP. (cfonzar@uol.com.br).
- SILVA, Marcelo J. Mreira da. e RUGGERO, Paulo André. GASEIFICAÇÃO. Faculdade de Engenharia Mecânica. UNICAMP. <http://www.fem.unicamp.br/~em313/paginas/gaseif/gaseif.html>.

- STERN REVIEW REPORT on Climate change. The team was led by Siobhan Peters. Team members included Vicki Bakhshi, Alex Bowen, Catherine Cameron, Sebastian Catovsky, Di Crane, Sophie Cruickshank, Simon Dietz, Nicola Edmondson, Su-Lin Garbett, Lorraine Hamid, Gideon Hoffman, Daniel Ingram, Ben Jones, Nicola Patmore, Helene Radcliffe, Raj Sathiyarajah, Michelle Stock, Chris Taylor, Tamsin Vernon, Hannah Wanjie, and Dimitri Zenghelis. http://www.hm-treasury.gov.uk/media/9/9/CLOSED_SHORT_executive_summary.pdf.
- STRAPASSON, Alexandre Betinardi e JOB, Luís Carlos Mavignier de Araújo. Etanol, meio ambiente e tecnologia – Reflexões sobre a experiência brasileira. Revista de Política Agrícola. Ano XV – no. 03. Jul/Ago/Set 2006 Brasília-DF.
- SULEIMAN, Suleiman José. Biomass Power generation- Sugar cane bagasse and Trash Edited by: Suleiman José Hassuani, Manoel Regis Lima Verde Leal, Isaías de Carvalho Macedo – Published by: PNUD- Programa das nações Unidas para o desenvolvimento e CTC- Centro de tecnologia Canavieira – 1st Edition, Piracicaba, Brazil – 2005 Sustainable Energy Systems. http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/biofuels_vision_2030_en.pdf.
- TORQUATO, Sergio Alves e Fronzaglia, Thomaz - Tecnologia BIG-GT: energia a partir da gaseificação da biomassa de cana - Artigo Registrado no CCTC-IEA sob número HP-972005. Site: <http://www.iea.sp.gov.br>. Baixado em 28/08/2007.
- TORQUATO, Sergio Alves; FRONZAGLIA, Thomaz. Tecnologia BIG-GT: Energia a partir da Gaseificação da Biomassa da Cana. Artigo registrado no CCTC-IEA sob número HP-97/2005.
- UNITED NATIONS ENERGY. Sustainable Bioenergy: A Framework for Decision Makers. esa.un.org/un-energy/Publications.htm
- VEIGA FILHO, Alceu de Arruda e RAMOS, Pedro. Proetanol e evidências de concentração na produção e processamento de cana-de-açúcar, Informações Econômicas, São Paulo. v. 36, nº 7, Jul 2006.
- VIAN, Carlos Eduardo Freitas. *Complexo Agroindustrial Canavieiro*. Análise do Processo de evolução e consolidação tecnológica de 1930 a 2000: Implicações para a estruturação e dinâmica dos Campos Organizacionais no Complexo Agroindustrial Canavieiro Paulista a partir dos anos 90. Série Pesquisa, nº. 58. 2006. ESALQ. <http://www.esalq.usp.br/departamentos/ies/publicações>.
- WONGTSCHOWSKI, Pedro. *Industria Química*. Riscos e Oportunidades. Editora Edgard Blücher Ltda. São Paulo. 2ª. Edição. 2002.
- World Oil Outlook 2007, <http://www.opec.org/library/World%20Oil%20Outlook/pdf/WorldOilOutlook.pdf>
- WORLD PETROLEUM PRICES, International Energy Annual 2005. Report Released: June-October 2007.

ANEXOS

ANEXO A

1) SOBRE BIOMASSA

Através da fotossíntese as plantas transformam a energia da luz do sol em energia química. A natureza transforma energia solar, água e carbono em materiais, vivos, dotados de características que têm sido crescentemente explorados como fontes de energia. Através da bioconversão as plantas acumulam anualmente cerca de 17 vezes mais energia do que a humanidade consome hoje¹²⁰.

Quando se usa a expressão “geração de energia”, na verdade esta se tratando de transformação de energia. Trata-se da captura da energia cinética ou térmica presentes na natureza e /ou da transformação de matéria (vegetal, animal ou mineral) em energia na forma de combustíveis.

Grande parte da agenda internacional na atualidade gira em torno da segurança energética global, ou, em outras palavras da vulnerabilidade que representa a descontinuidade no abastecimento de energia à sociedade. O imenso progresso técnico e crescimento econômico observado no século 20 foi impulsionado pela economia da petroquímica. Gasolina e diesel, mas também plásticos e materiais derivados do petróleo são largamente usados na produção de roupas, materiais domésticos (eletrodomésticos, móveis e tapetes) embalagens de alimentos, farmacêuticos, toalete, peças de carros e aviões. Decorre daí a importância do petróleo e de seus produtos para a segurança e a economia.

Durante milhões de anos o insumo básico da petroquímica esteve localizado nas entranhas do planeta, constituindo parte de um ecossistema em equilíbrio. A partir da descoberta das potencialidades de sua utilização, a humanidade tem escolhido sistematicamente, principalmente através de modelos energéticos, adotar práticas que transferem volumes crescentes deste material fóssil para a biosfera, com impactos no equilíbrio do ecossistema.

A emissão de dióxido de carbono e seus impactos ambientais também ocupa papel de destaque na agenda internacional. Os impactos não são radicais, particularmente quando se vive um momento em que as mudanças são extremamente dinâmicas. Sutilmente alterações

¹²⁰ LIMA, Léo da Rocha; MARCONDES, Aluizio de Abreu. Álcool Carburante – uma estratégia brasileira. Editora UFPR; Curitiba, Paraná, Brasil, 2002. pág 26.

climáticas vão sendo manifestadas desencadeando processos cuja predictibilidade e controlabilidade não são conhecidos.

Muitos governos estão implementando ações que visam a redução destes impactos. (Eco 02, Protocolo de Quioto) Basicamente as ações estão no campo da reestruturação das matrizes energéticas com a adoção de fontes de energia ambientalmente corretas. Desta forma, entre as tradicionais frentes de pesquisa e desenvolvimento tecnológico, ganha maior peso e força o desenvolvimento de novas fontes de energia e todos os aspectos a elas associados: a cadeia de produção de insumos, meios de produção e fornecimento de energias, aplicações e respectivas adaptações nos diferentes campos da sociedade moderna.

Um terceiro aspecto de grande destaque na atualidade diz respeito a segurança alimentar. Há grande preocupação com os volumes de biomassa que serão deslocados para a geração de energia em detrimento da alimentação. De fato para a maioria dos países produtores esse pode ser um entrave ao crescimento da produção de biocombustíveis. No caso brasileiro, há grande disponibilidade de terras para a expansão da produção.

O uso da biomassa representa a substituição de material de origem geológica por aquele de origem biológica, e, portanto, renovável. A produção de combustíveis, insumos químicos e energia a partir da biomassa mobiliza esforços no campo da biologia, química e da termoquímica (biologia, física, química e engenharia) para a produção de novas tecnologias para exploração da biomassa¹²¹.

São produtos derivados de plantas: a biotecnologia transforma materiais produzidos por plantas e transforma plantas para produzirem novos materiais. A engenharia genética é aplicada no incremento da produção de químicos, alimentos, fibras e estruturas.

Um critério importante na eleição de uma matéria prima para a produção de energia é o balanço energético. O sistema, em sua totalidade deverá gerar mais energia do que ele consumir na forma de insumos durante o processo produtivo. Isso configura e geração líquida de energia positiva. Ademais, a energia consumida deverá se majoritariamente obtida a partir de fontes renováveis em ambas a etapas agrícola e industrial. Para a correta avaliação dos fluxos de energia que são imputados e que resultam do processo de produção devem ser considerados: a implantação da cultura, seu trato e colheita, o transporte da matéria prima até a unidade industrial, as fases do processo de fabricação, o tratamento de resíduos e aproveitamento dos subprodutos, o transporte do produto final até o mercado de consumo.

¹²¹ São processos de conversão de biomassa: combustão, gaseificação, pirólise (carbonização), liquefação, torrefação, fermentação, hidrólise, biodigestão, digestão, extração de física de óleos.

Uma profusão de estudos têm sido veiculados com o objetivo de sustentar a crítica aos biocombustíveis como solução mais factível para combater a crise mundial do clima. Biocombustíveis feitos de sementes de canola e milho produzem de 50% a 70% mais gases causadores do efeito estufa que combustíveis fósseis, segundo estudo publicado na *Atmospheric Chemistry and Physics*. Ambos são largamente utilizados nos EUA e na Europa e seu emprego como fonte de energia deveria ajudar a combater o aquecimento¹²². Há contas mostrando, por exemplo, que um combustível derivado de colza cultivada na Europa produz 70% mais gases causadores do efeito estufa do que o óleo diesel convencional. Já o etanol de milho nos EUA pode ser 90% pior que a gasolina. Algumas culturas necessitam de muito adubo, e o uso desse insumo pode causar a emissão de gases-estufa que neutralizam – ou superam – o volume de CO² absorvido. A maioria dos fertilizantes usados hoje liberam óxido nitroso (N²O), muito mais nocivo ao clima que o dióxido de carbono. O trabalho do alemão Paul Crutzen, vencedor do Prêmio Nobel de Química de 1995, foi baseado em descobertas recentes de que o uso de adubo em plantações pode causar uma liberação de óxido nitroso três a cinco vezes maior do que se imaginava¹²³.

A biomassa da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar pertence à família das gramíneas (trigo, arroz, aveia, cevada, e muitos outros grãos). Assim como o sorgo sacarino e algumas palmáceas, a cana-de-açúcar é capaz de sintetizar sacarose em volumes suficientes (em termos de expressão econômica) para sua industrialização.

A cana é composta de partes subterrâneas e (raízes e rizomas) e aéreas (colmo, flores e folhas). A reprodução da cana acontece através da brotação de suas gemas (colmos sementes) dando origem a colmos primários e depois secundários até a formação da touceira. O colmo é constituído por nós, zonas radiculares e entrenós. Os colmos são os órgãos armazenadores da planta.

Quando comparada a outras espécies, a produtividade da cana-de-açúcar na produção de biomassa é claramente superior. Não só o volume da biomassa é muito superior, mas também a qualidade dessa biomassa por seus elevados níveis de sacarose conversível em açúcar ou etanol.

¹²² Fonte: O Estado de S. Paulo, Milho é pior do que gasolina para o clima.

¹²³ Da Reuters Nobel critica biocombustível em novo estudo, Folha de S. Paulo, "Atmospheric Chemistry and Physics Discussions"

(b)
(c) TABELA XXXIII

Área ocupada e produção de culturas no Brasil

Cultura	Área Cultivada (10⁶ha)	Produção (106 ton)
Soja	21,5	49,5
Milho	12,3	41,8
Cana de açúcar	5,6	416,3
Feijão	4,0	3,0
Arroz	3,7	13,3
Trigo	2,8	5,7
Café	2,4	2,5
Outros	5,7	-
Total	58,0	-

Fonte: IBGE, 2004

(d)
(e) TABELA XXXIV

Uso da terra no Brasil

Tipo	Área (Mha)
Total do País	851
Floresta Amazônica Nativa	370
Floresta Amazônica Secundária e Outras	180
Florestas Nativas	6
Pastagens	197
Culturas Temporárias	59
Culturas Permanentes	7,6
Área Agricultável	263
Terras para Cultivos com Baixos Impactos (*)	90

Fontes: FAO, 2002 e EMBRAPA(*)

“Temos que recolocar o problema dos biocombustíveis em uma estratégia global de energia, que comece a definir um perfil menos voraz em energia de demanda. ... Os bio combustíveis são apenas uma faceta de um conceito mais amplo, que eu chamo de civilização moderna de biomassa. ... Temos que usar a imaginação e fazer muitos estudos para ver como nós articulamos as bioenergias com as demais utilizações da biomassa e como fazemos isso dentro dessa visão de geração do maior número possível de oportunidades de emprego ou autoemprego, ou de promoção de empreendimentos de pequeno porte, de preferência cooperativos”. *Ignacy Sachs, Jornal dos Economistas.*

1) ANEXO B

2) SOBRE O ETANOL

Em 1977 o Instituto do Açúcar e do Alcool¹²⁴ definiu os tipos de álcool no Brasil, sendo dois álcoois carburantes e um álcool refinado. O álcool hidratado industrial deve ter teor alcoólico de 93,80 em peso de etanol e o restante de água e se destina ao uso na combustão interna de motores como combustível (esse álcool é imiscível na gasolina). O álcool anidro (álcool carburante) é desidratado e deve apresentar concentração superior a 99,30%, em peso de etanol, sendo empregado nas misturas com gasolina.

Quadro VII

ESPECIFICAÇÕES	ÁLCOOL Hidratado Industrial	ÁLCOOL Anidro Carburante	ÁLCOOL Refinado
Teor alcoólico mínimo	93,80	99,30	94,20
Massa específica a 20°C	0,8075	0,7915	0,7912
Componente não etanol em mg/100ml INPM max.			
Matéria volátil	5,00	---	1,00
Acidez em ácido acético	3,00	3,00	1,50
Álcool metílico	1,0	---	0,20
Aldeídos em etanal	6,00	---	1,00
Ésteres em acetato de etila	8,00	---	2,00
Álcoois superiores	6,00	---	1,00

Fonte: Alcool carburante – p.117

O Instituto Nacional de Pesos e Medidas (INPM) classifica o álcool segundo índice próprio, denominado “graus INPM” que traduz a concentração alcoólica em porcentagem de peso de álcool. Os álcoois nunca são puros e sua contaminação pode resultar da instalação industrial, das técnicas de fabricação, e até mesmo das leveduras utilizadas. Como impurezas nocivas ao álcool figuram os aldeídos, metanol, acidez, ésteres e óleo fusel.

¹²⁴ Resolução 01/77, em 12 de maio de 1977, posteriormente aprovada pelo Conselho Nacional do Petróleo – CNP através da portaria de número DAE-174 em 21 de setembro de 1977.

Os índices utilizados para medição da qualidade do álcool são: Grau alcoólico Gay-Lussac (oGL – exprime o teor alcoólico a 15-20oC volume/volume); Grau alcoólico INPM (exprime o teor alcoólico em peso/peso); aldeídos e acetaldeídos; bases voláteis; teor de acidez; naftas; extratos secos; cinzas; e metais pesados.

Atualmente o Brasil ocupa a presidência do Subcomitê de Biocombustíveis da Organização Internacional para a Normalização (ISO, na sigla em inglês) que está preparando um plano de trabalho para a normalização internacional do álcool. Será necessário concatenar fatores técnicos e políticos para a formação do mercado internacional de biocombustíveis. Cada país participante possui grupos locais que definem a posição em torno dos interesses dos diferentes segmentos de cada nação. No Brasil participam a Petrobrás, a União da Indústria de Cana-de-açúcar (ÚNICA), a Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA), além de representantes dos consumidores e especialistas. Para a padronização e certificação do etanol no mercado internacional serão definidos parâmetros essenciais e métodos analíticos (por exemplo, uma proposta para os métodos relacionados a acidez, condutividade e pH do etanol hidratado já foi divulgada e aguarda sugestões e críticas dos ambientes acadêmicos e empresariais para serem padronizados).

Para o mercado interno, as especificações para o etanol são definidas atualmente pela Agência Nacional do Petróleo - ANP. Desde Dezembro de 2005 as especificações vigentes são as seguintes:

(f) **TABELA XXXV**

Brazilian Specification for anhydrous and hydrated fuel ethanol

Characteristics	Unity	Anhydrous clear	Hydrated clear
Aspect Visual			
Color (4)	Visual	Sudan Red	colorless to yellowish
Total Acidity (as acetic acid), max	mg/L	30	30
Electrical conductivity, max	µS/m	500	500
Specific weight 20° C	kg/m	3 791.5 max.	807.6 to 811.0 (5)
Alcoholic Strength	% m/m	99.3 min.	92.6 to 93.8 (5)
pH		6.0 a 8.0	
Residue after evaporation, max. (5)	mg/100mL 5		
Hydrocarbons content (5) (7)	%vol.	3.0	3.0
Ethanol content, min. (6)	%vol.	99.3	92.6
Chloride, max. (5)	mg/kg	1	
Sulphate, max	mg/kg	4	
Iron, max.	mg/kg	5	
Sodium, max.	mg/kg	2	
Copper, max. (8)	mg/kg	0.07	

(4) - Color additive - 15 mL/m³ - Sudan Red (Orange)

(5) - Limits for the distribution and import of ethanol. Not required for the producers.

(6) - Required for ethanol not produced by fermentation process.

(7) - Allowed 3.0% vol. of hydrocarbons in the anhydrous ethanol imported for the producers.

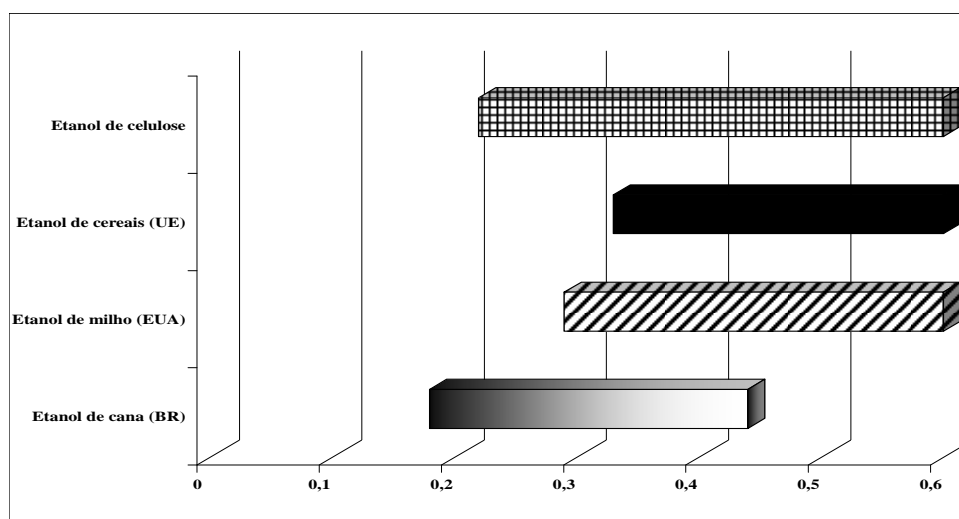
(8) - Measured only when contamination is suspected.

(9) - Measured only when contamination is suspected or the distillery has equipment with copper.

O etanol pode ser produzido a partir de diferentes matérias-primas, desde que elas contenham açúcares ou polímeros de açúcares (cereais, frutas, tubérculos, gramíneas como a cana-de-açúcar, sorgo sacarino, etc). Estas matérias-primas podem ser divididas em três tipos, segundo o insumo básico que elas contém:

- **Açúcares:** cana-de-açúcar, melaço, sorgo sacarino, frutas, beterraba, tupinambu, etc. Nesse caso o etanol é obtido pela conversão dos açúcares através da fermentação;
- **Amidos:** grãos (milho, trigo, cevada, arroz, etc) e tubérculos (mandioca, batata, batata doce, etc). Nesse caso procedem-se à conversão do amido em açúcares via hidrólise e estes açúcares são posteriormente fermentados;
- **Lignocelulósicos:** resíduos agroflorestais, lixo negro, gramíneas switchgras, capim elefante, etc), fração orgânica do lixo urbano, florestas plantadas, etc¹²⁵.

Apesar da grande variedade de matérias-primas para a produção de etanol combustível as mais utilizadas comercialmente são: cana-de-açúcar, melaço, beterraba, milho, trigo. Várias opções de matérias-primas, a falta de interesse leva à falta de investimentos em desenvolvimento de outras culturas promissoras, como é o caso da mandioca, sorgo sacarino e tupinambur. Até o momento elas estão fora da cadeia produtiva do etanol.



Fonte: IEA (2004)

Euros por litro de gasolina equivalente

¹²⁵ A celulose e a hemicelulose precisam ser convertidas em açúcares via hidrólise, em um processo bem mais complicado que no caso dos amidos. Após a hidrólise, o caldo hidrolítico precisa ser destoxificado para depois ser fermentado. A fermentação dos açúcares de cinco carbonos (pentoses, principalmente xerose) é complicada e ainda não atingiu a maturidade comercial.

Average cost of production of ethanol in various countries (OECD 2006)

Country:	EU			EU			USA			EU			Brazil		
Biofuel:	Biodiesel			Ethanol			Ethanol			Ethanol			Ethanol		
Feedstock:	Vegetable oil			Wheat			Maize			Sugar beet			Sugar cane		
	Quant.	LC/t	USD/t	Quant.	LC/t	USD/t	Quant.	LC/t	USD/t	Quant.	LC/t	USD/t	Quant.	LC/t	USD/t
Feedstock use 1	1,06			3,49			3,20			12,90			14,87		
Feedstock price		463,16	573,40		103,73	128,41		76,57	76,57		23,87	29,55		32,75	10,95
Feedstock costs		490,95	607,80		362,11	448,30		244,66	244,66		307,82	381,08		486,98	162,80
Processing costs excl. energy		69,29	85,78		347,99	430,82		130,18	130,18		288,96	357,74		339,49	113,50
Energy use: methanol, Kg	145,33														
Energy: methanol, price per Kg		0,23	0,28												
Energy use: heat, GJ				13,90			16,43			13,90					
Energy: heat, price per GJ					3,46	4,29		4,29	4,29		3,46	4,29			
Energy use: electricity, kWh	315,94			353,85			303,30			353,85					
Energy: electricity, price per kWh		0,03	0,04		0,03	0,04		0,03	0,03		0,03	0,04			
Total energy costs		43,10	53,36		59,18	73,27		79,86	79,86		59,18	73,27			
Gross production costs		603,34	746,95		769,28	952,39		454,71	454,71		655,96	812,09		826,47	276,30
Energy feed by-product: t cg-eq.				1,63			0,80			0,75					
Domestic price coarse grains					112,96	139,85		76,57	76,57		112,96	139,85			
Protein feed by-product: t orn-eq.							0,16								
Domestic price oil meals								178,50	178,50						
Other by-product credit (glycerin)		50,00	61,90												
Total by-product credit		50,00	61,90		183,90	227,67		89,82	89,82		84,72	104,88		0,00	0,00
Net production costs		553,34	685,05		585,38	724,72		364,89	364,89		571,24	707,21		826,47	276,30
Net costs, per litre of fuel		0,44	0,54		0,46	0,57		0,29	0,29		0,45	0,56		0,65	0,22
Net costs, per litre GE		0,40	0,49		0,70	0,87		0,44	0,44		0,69	0,85		0,99	0,33

Note: Cost calculations for combinations of countries and feedstock commodities other than those shown in this table which are used in the cost comparison are based on the technical coefficients used in this table, whereas domestic commodity prices and regional shares of energy sources in the generation of electricity cause biofuel production costs to differ across countries. Given the implicit assumption of equal technologies and technical coefficients across countries, production cost figures used in the report for country/commodity combinations are indicative only and might differ from specific studies on biofuel production in these countries once these become available.

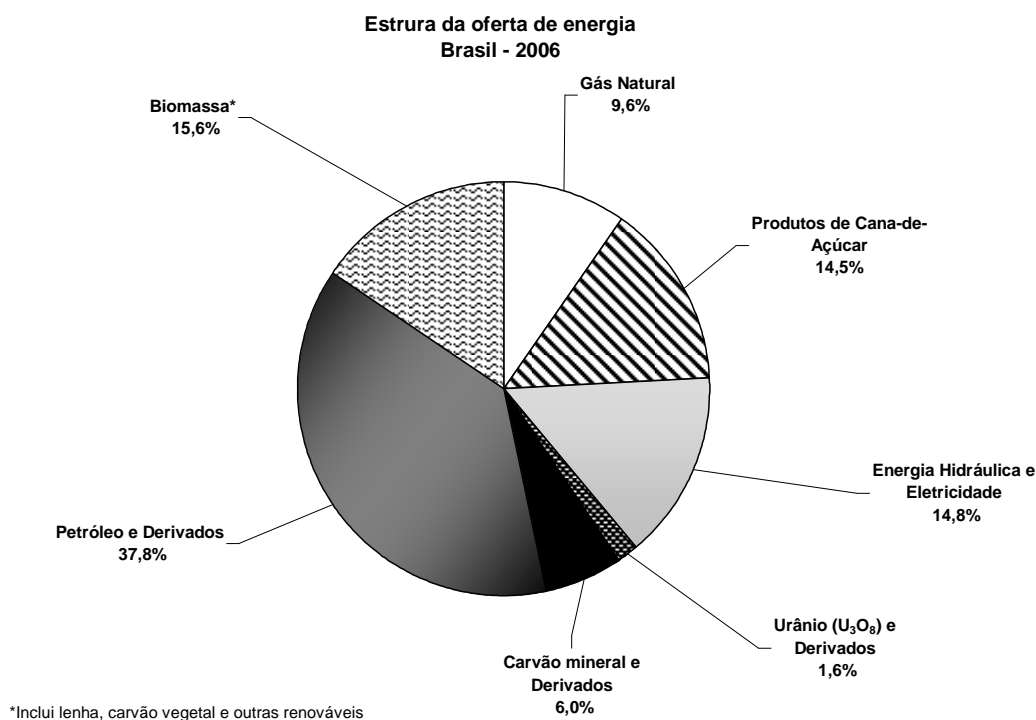
Source: OECD Secretariat based on data provided in Smeets et al. (2005). Aglink database.

‘The cost of biofuels production vary widely, depending upon feedstock, conversion processes, scale of production and region. In general, production costs of conventional biofuels are higher than oil-based fuels. On an energy basis, ethanol is currently more expensive to produce than gasoline in all regions. Only ethanol produced in Brazil comes close to competing with gasoline. Ethanol produced from corn in the US is considerably more expensive than from sugar cane in Brazil, and ethanol from grain and sugar beet in Europe is more expensive still. Biodiesel from oilseeds appears to be somewhat more competitive with diesel than ethanol is with gasoline. However, in the US, biodiesel is generally farther from competitive prices than ethanol.’ PÁGINA 83 World Oil Outlook 2007, <http://www.opec.org/library/World%20Oil%20Outlook/pdf/WorldOilOutlook.pdf>

ANEXO C

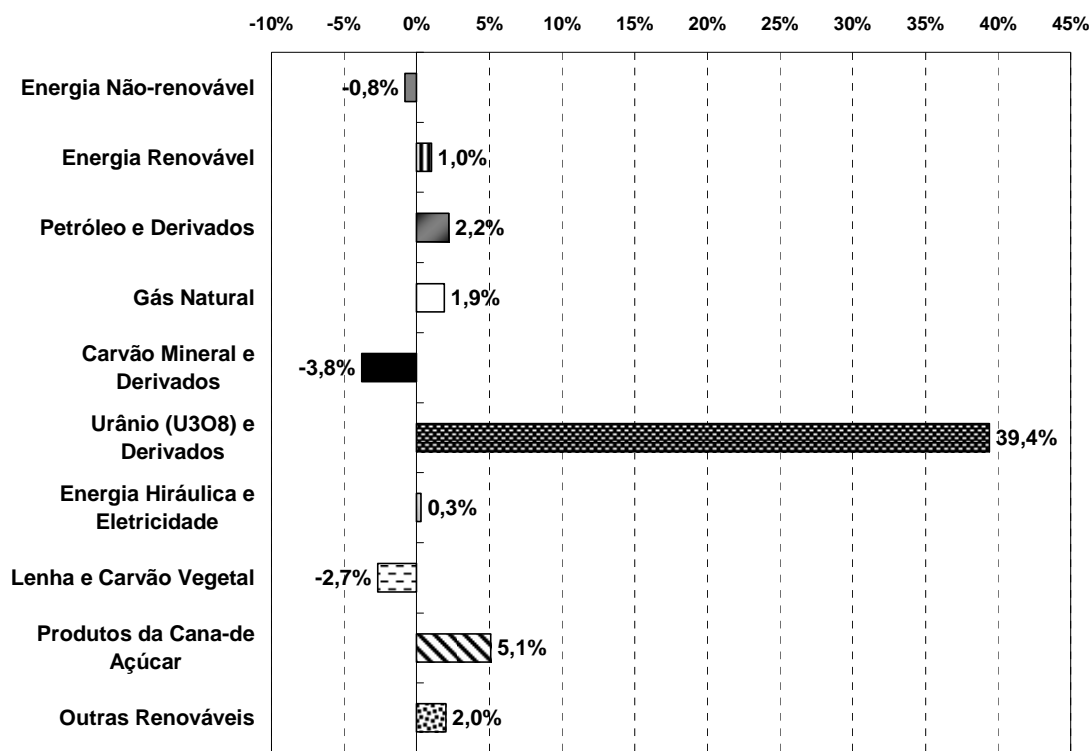
OFERTA DE ENERGIA NO BRASIL E NO MUNDO

A participação dos derivados da cana-de-açúcar na oferta interna de energia renovável no Brasil passou de 31,0%, em 2005, para 32,2%, em 2006, praticamente igualando-se com a “hidráulica e eletricidade” entre as fontes renováveis, e representando 14,5 % da oferta interna de energia total. Devido ao forte crescimento das exportações de etanol em 2006, que alcançaram 3,43 bilhões de litros (um aumento de 50% frente ao período anterior), os “produtos da cana-de-açúcar” não alcançaram a primeira posição na OIE. Em termos de produção, em 2006 o resultado de “produtos da cana-de-açúcar” foi 17 % superior ao de “hidráulica”. *Fonte: Brasil. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética - Balanço Energético Nacional 2007: Ano base 2006: Resultados Preliminares / Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: EPE, 2007. Pág. 28*



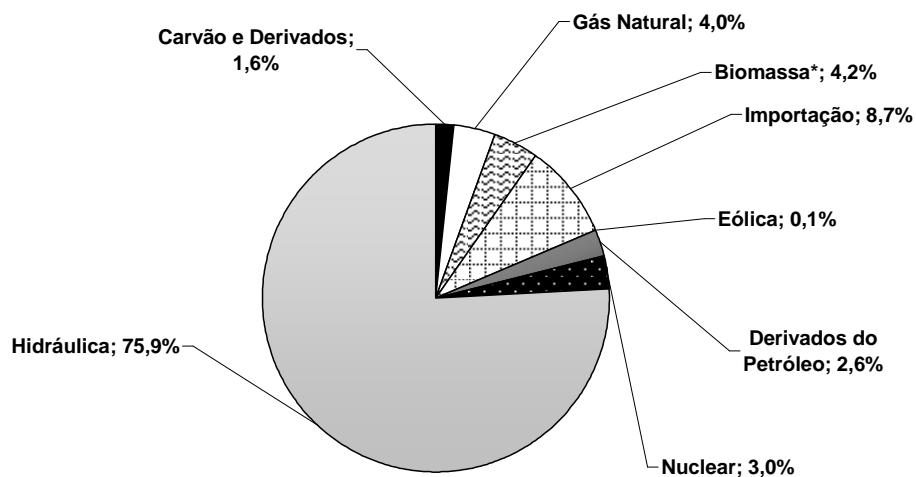
Fonte: Brasil. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética - Balanço Energético Nacional 2007: Ano base 2006: Resultados Preliminares / Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: EPE, 2007. Pág. 17

Oferta Interna de Energia



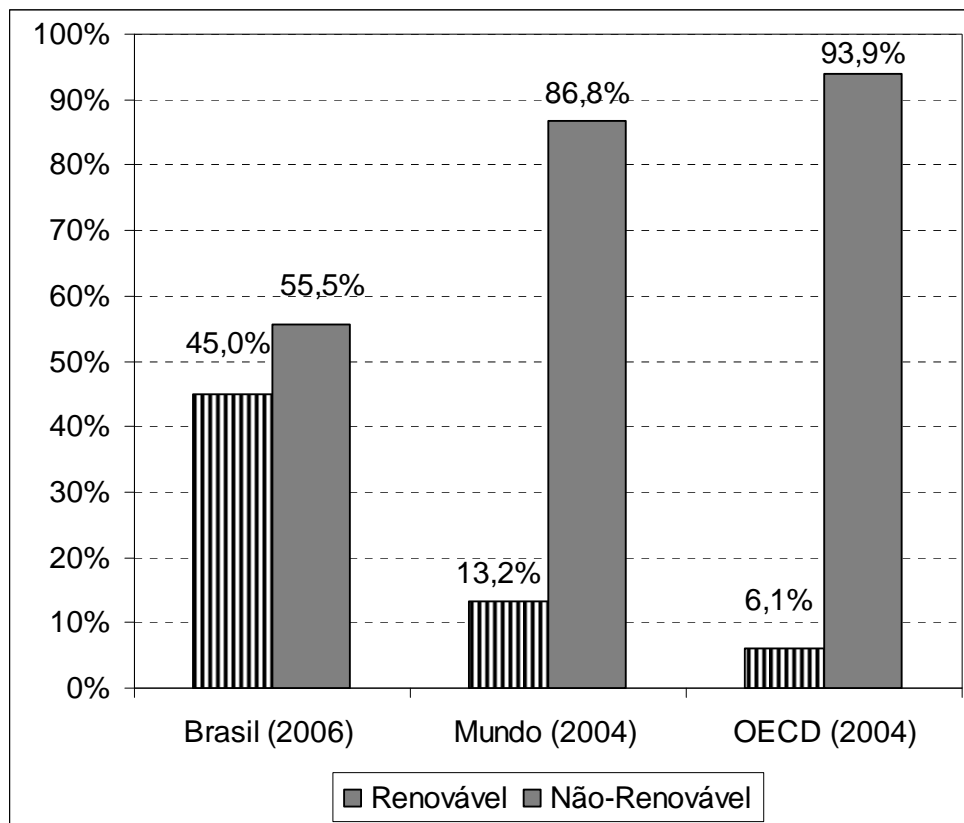
Fonte: Brasil. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética - Balanço Energético Nacional 2007: Ano Base 2006: Resultados Preliminares/Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: EPE, 2007. Pág. 23

Estrutura da Oferta interna de Energia Elétrica Brasil - 2006



*Inclui lenha, bagaço de cana-de-açúcar, lixívia e outras recuperações

Fonte: Brasil. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética - Balanço Energético Nacional 2007: Ano Base 2006: Resultados Preliminares/Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: EPE, 2007. Pág. 26.



Fonte: Brasil. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética - Balanço Energético Nacional 2007: Ano Base 2006: Resultados Preliminares/Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: EPE, 2007. Pág. 34.

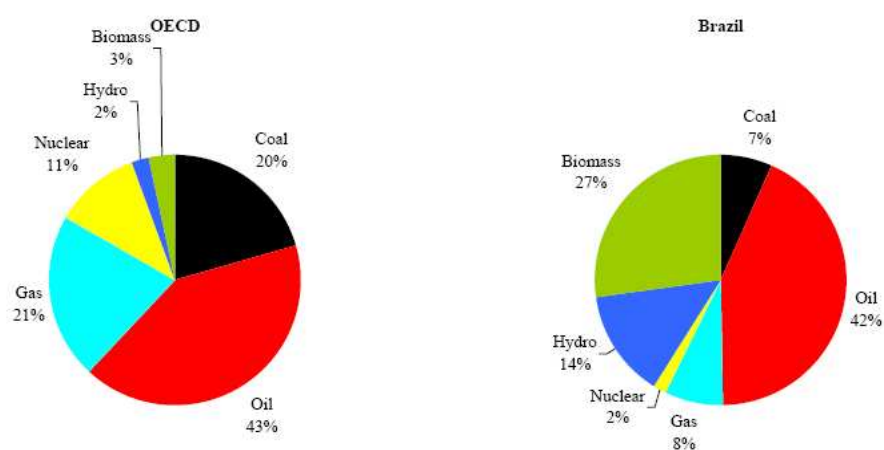
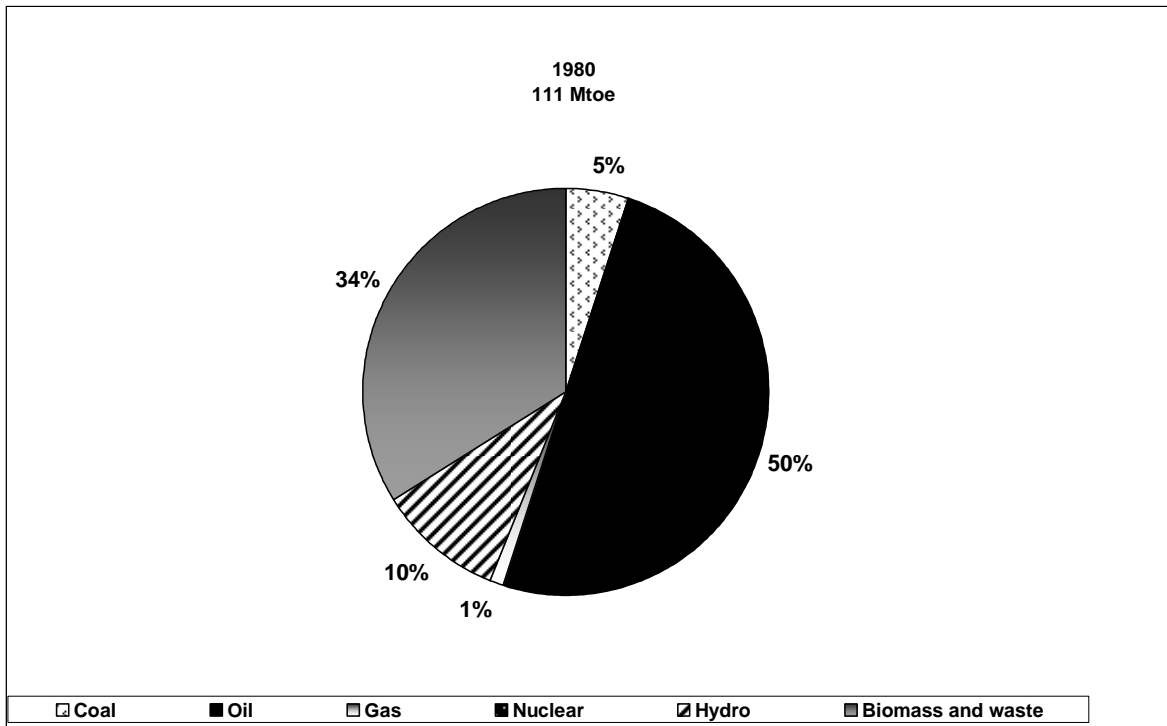


FIG. 1.2. Total primary energy by fuel share in the OECD and Brazil, 2002 [15, 16].

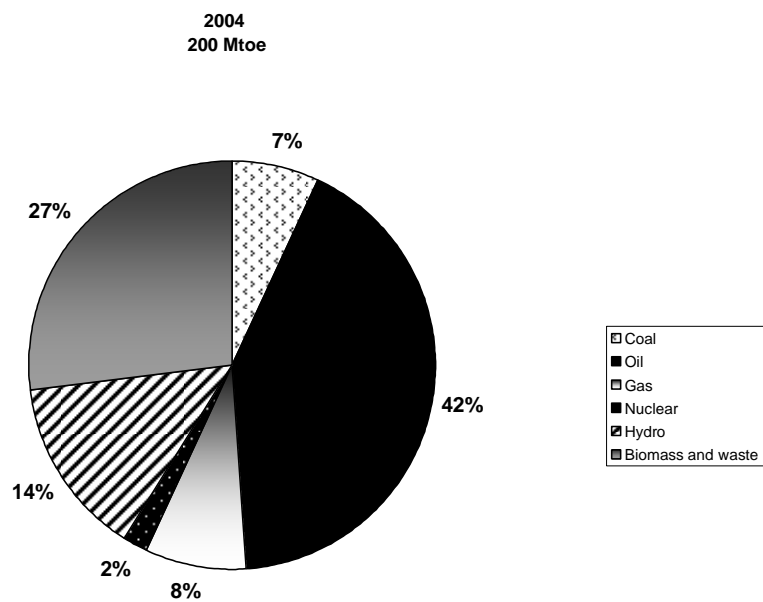
Note: Data for OECD are from Ref. [15]; data for Brazil are from Ref. [16].

Fonte: <http://www.worldenergyoutlook.org/docs/weo2006/Brazil.pdf>. Pág. 454

(g) OECD

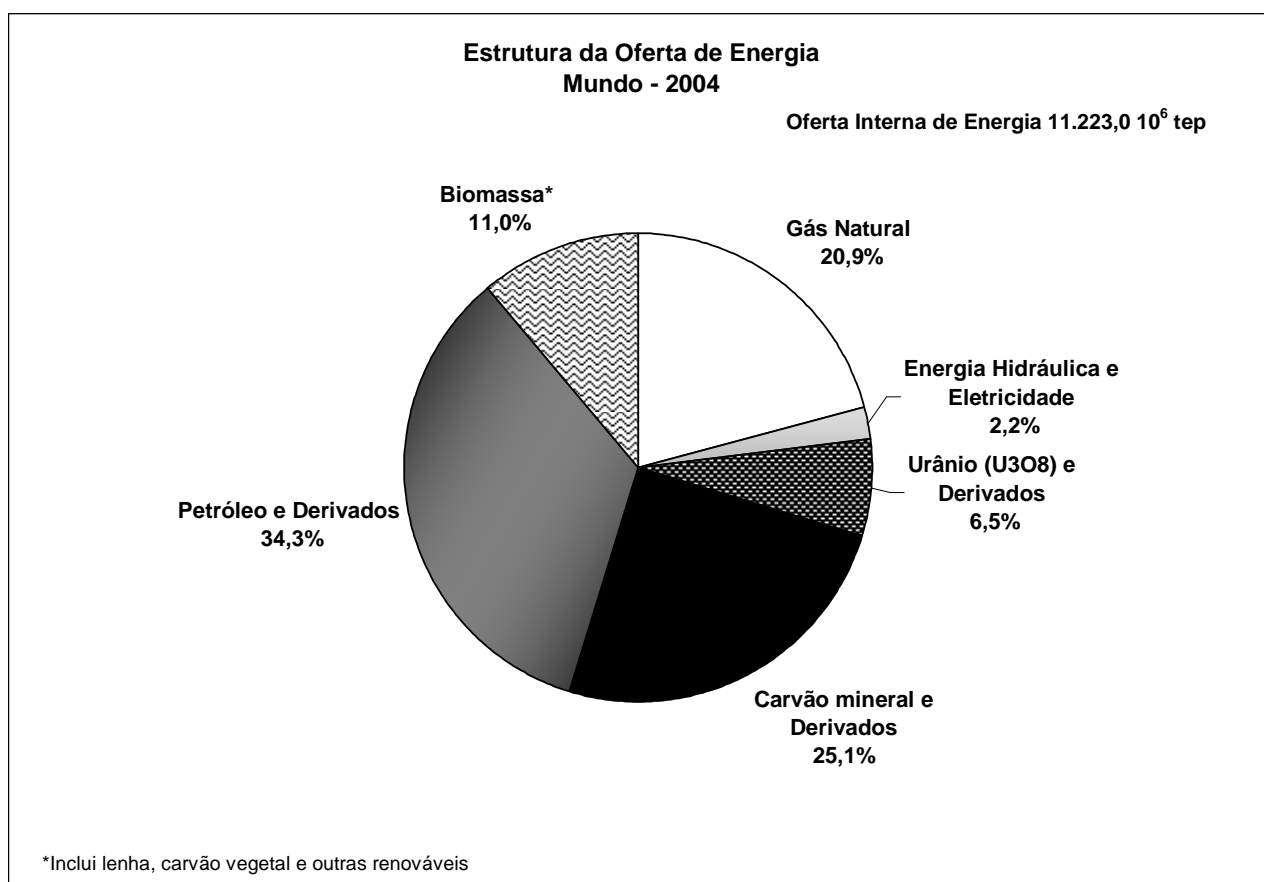


(h) BRASIL



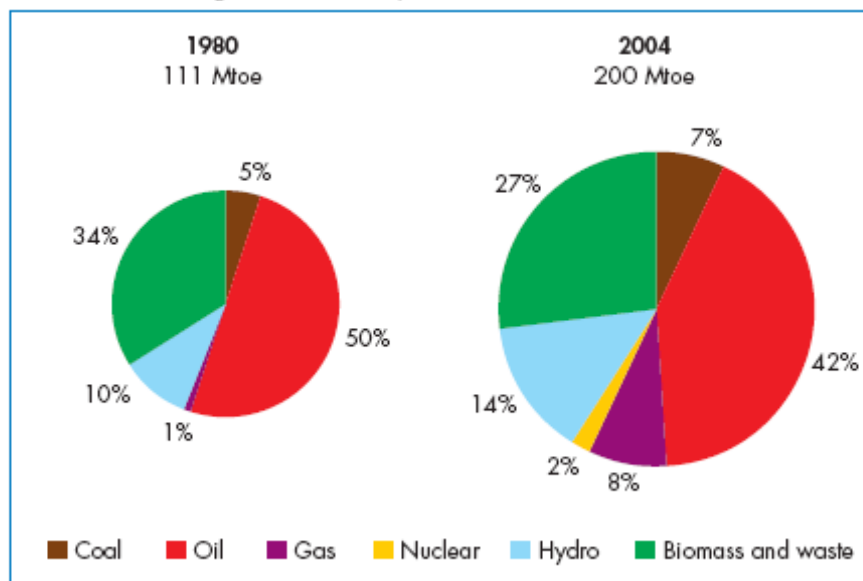
Energético (%)	Brasil		OCDE		Mundo	
	1973	2006	1973	2004	1973	2004
Petróleo e Derivados	45,6	37,8	53,0	40,7	45,0	34,3
Gás Natural	0,4	9,6	18,8	21,7	16,2	20,9
Carvão Mineral e Derivados	3,1	6,0	22,4	20,5	24,8	25,1
Urânio (U3O8) e Derivados	0,0	1,6	1,3	11,0	0,9	6,5
Energia Hidráulica e Eletricidade	6,1	14,8	2,1	2,0	1,8	2,2
Biomassa*	44,8	15,6	2,4	4,1	11,3	11,0

*Biomassa inclui lenha, carvão vegetal, produtos da cana-de-açúcar, energia solar, eólica, geotérmica, etc.

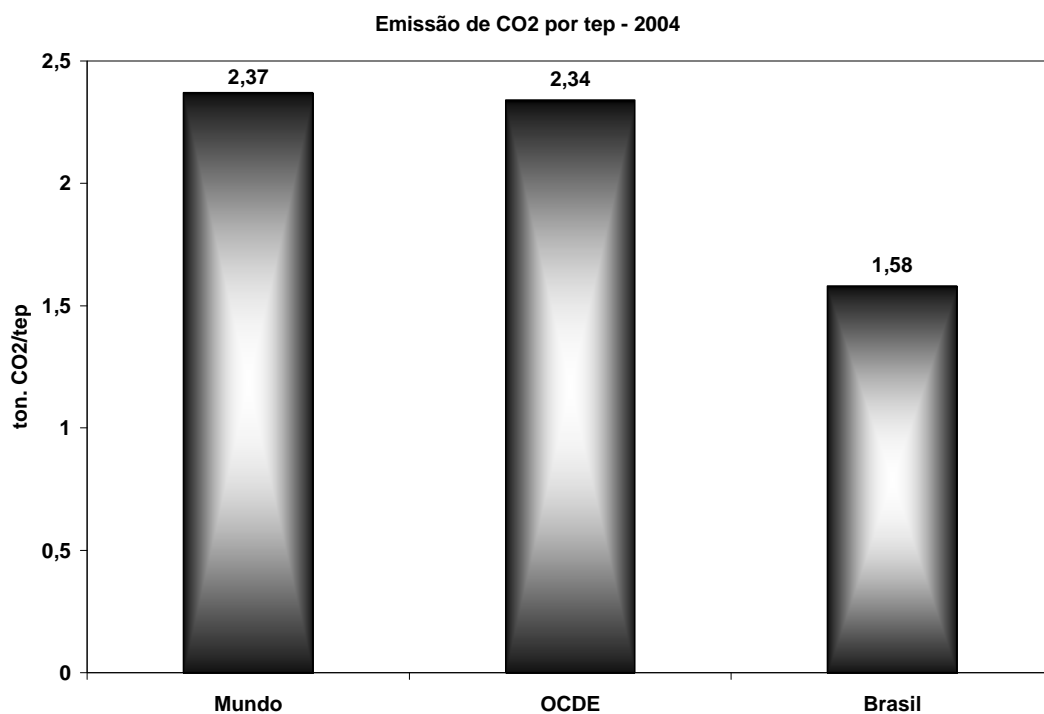


Fonte: Brasil. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética - Balanço Energético Nacional 2007: Ano base 2006: Resultados Preliminares/Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro: EPE, 2007. Pág. 35.

Figure 16.1: Primary Fuel Mix, 1980 and 2004



Fonte: <http://www.worldenergyoutlook.org/docs/weo2006/Brazil.pdf>. Pág 454

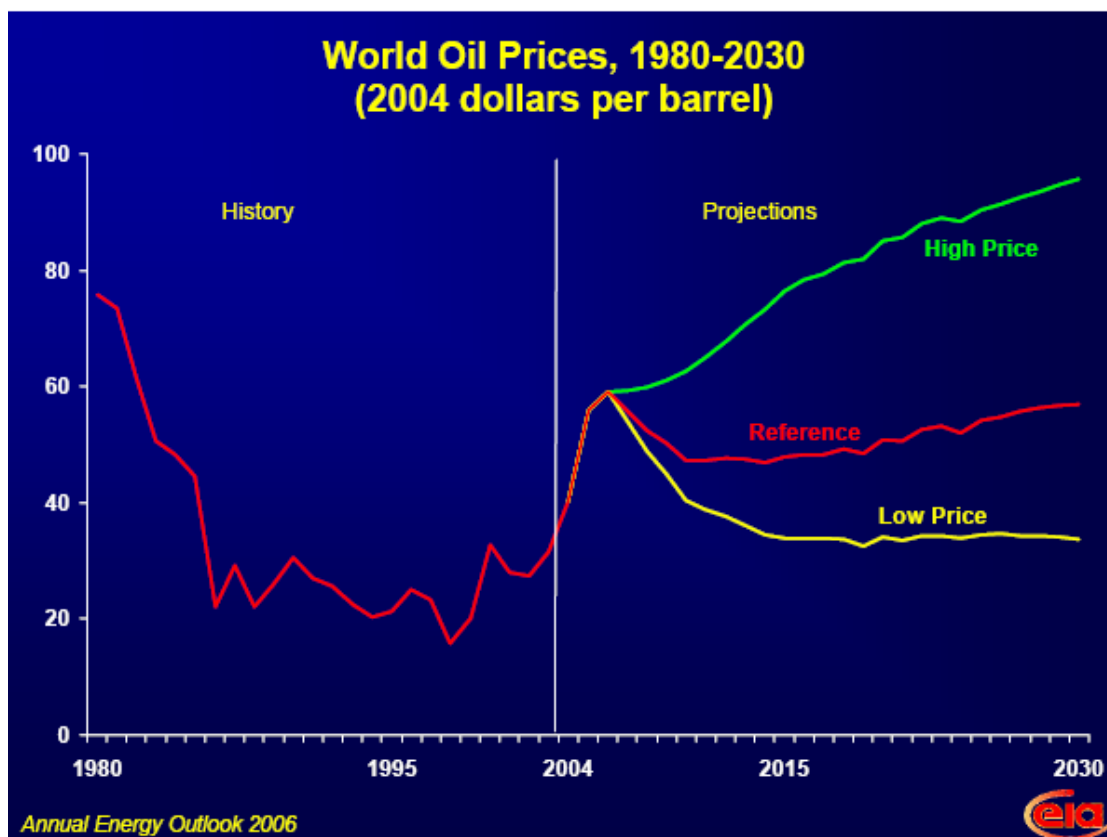


Fonte: Key World Energy Statistics 2006 - AIE²

Fonte: Brasil. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética - Balanço Energético Nacional 2007: Ano base 2006: Resultados Preliminares/Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro: EPE, 2007.

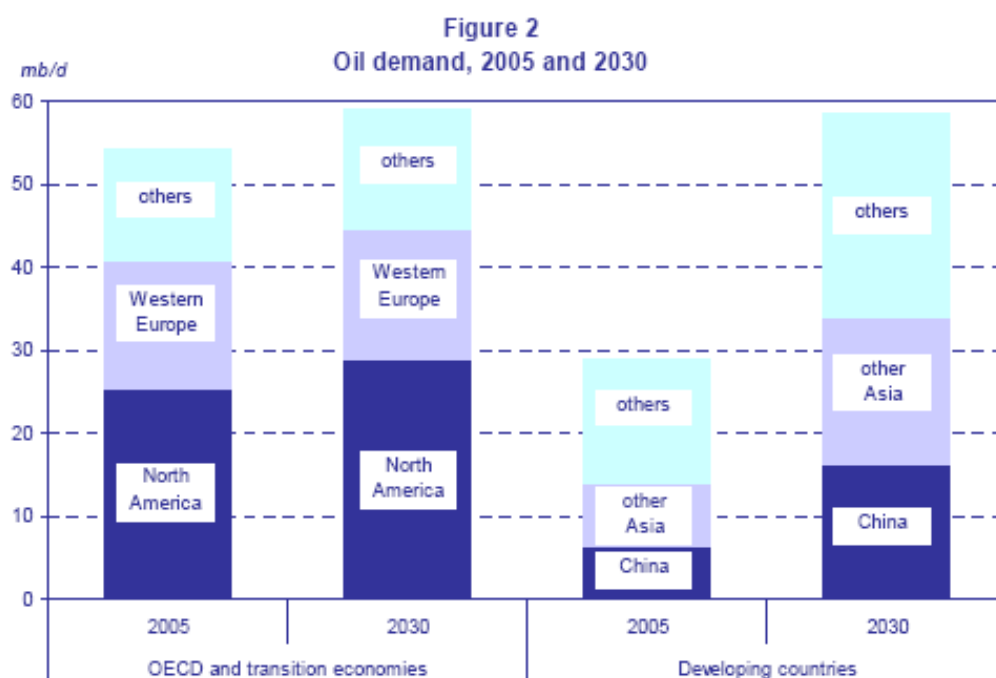
ANEXO D

PROJEÇÕES SOBRE PRODUÇÃO, CONSUMO E PREÇOS DO PETRÓLEO.

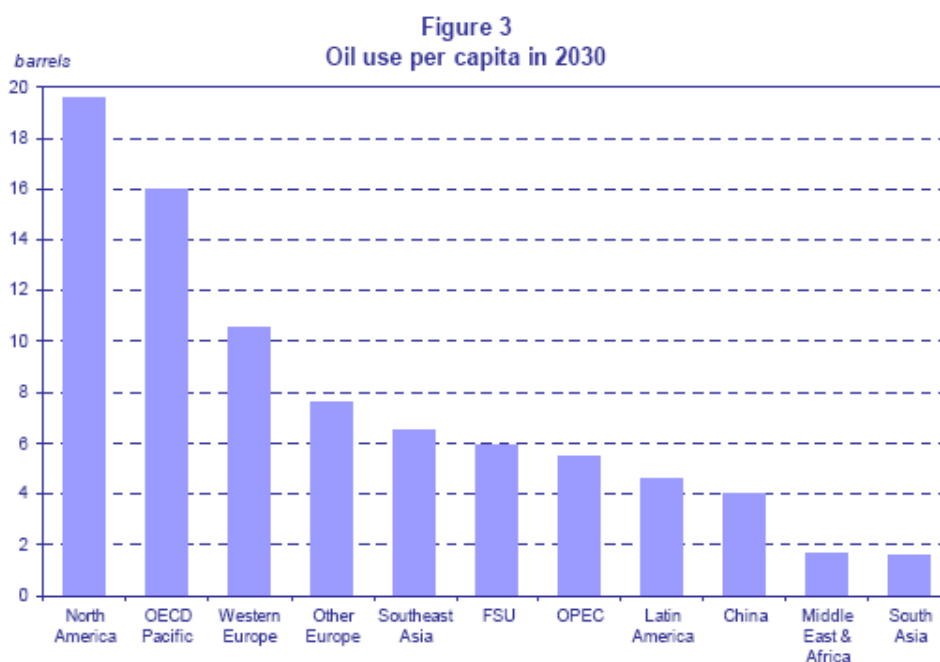


Fonte: Caruso, Guy, *The Impact of Petroleum Technology Advances on Long-Term Energy Markets*, 3rd September 2006, Vienna, Austria. Fonte: http://www.opec.org/opecna/Speeches/2006/OPEC_Seminar/PDF/Guy%20Caruso.pdf

“Expansion of non-OPEC capacity is on average, two-to-three times more costly than for OPEC, with this gap widening over time, as average costs in non-OPEC regions gradually rise. The highest cost region is the OECD, which also experiences the highest decline rates.” Pág. 41. *World Oil Outlook 2007*, <http://www.opec.org/library/World%20Oil%20Outlook/pdf/WorldOilOutlook.pdf>



Fonte: Hamel, Mohamed, "Providing Petroleum, Promoting Prosperity, Protecting the Planet", Oil outlook and investment challenges, Energy Studies Department, OPEC Secretariat, Vienna, Background paper for the Ministerial Symposium on November 2007, Riyadh, Saudi Arabia. Pág. 6 <http://www.opec.org/opecna/Speeches/2007/HeadEnergyStudies%20Paper%20for%20Symposium.pdf>



Fonte: Hamel, Mohamed, "Providing Petroleum, Promoting Prosperity, Protecting the Planet", Oil outlook and investment challenges, Energy Studies Department, OPEC Secretariat, Vienna, Background paper for the Ministerial Symposium on November 2007, Riyadh, Saudi Arabia. Pág. 6 <http://www.opec.org/opecna/Speeches/2007/HeadEnergyStudies%20Paper%20for%20Symposium.pdf>

Demanda Mundial

	2005	2010	2015	2020	2025	2030
North America	25.5	26.1	26.9	27.7	28.4	29.0
Western Europe	15.5	15.6	15.8	15.9	15.9	15.8
OECD Pacific	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.5
OECD	49.6	50.3	51.3	52.2	52.9	53.4
Latin America	4.6	5.0	5.5	5.9	6.4	6.8
Middle East & Africa	3.0	3.4	4.0	4.6	5.2	5.9
South Asia	3.1	3.9	5.0	6.1	7.3	8.6
Southeast Asia	4.4	5.2	6.1	7.1	8.0	9.0
China	6.5	8.7	10.4	12.3	14.3	16.4
OPEC	7.4	8.2	9.1	9.9	10.8	11.7
DCs	29.0	34.5	40.0	45.9	52.0	58.5
FSU	3.8	4.0	4.2	4.3	4.5	4.6
Other Europe	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0	1.1
Transition economies	4.7	4.9	5.2	5.4	5.5	5.7
World	83.3	89.7	96.5	103.5	110.4	117.6

Fonte: Hamel, Mohamed, "Providing Petroleum, Promoting Prosperity, Protecting the Planet", Oil outlook and investment challenges, Energy Studies Department, OPEC Secretariat, Vienna, Background paper for the Ministerial Symposium on November 2007, Riyadh, Saudi Arabia, Pág. 7. <http://www.opec.org/opecna/Speeches/2007/HeadEnergyStudies%20Paper%20for%20Symposium.pdf>

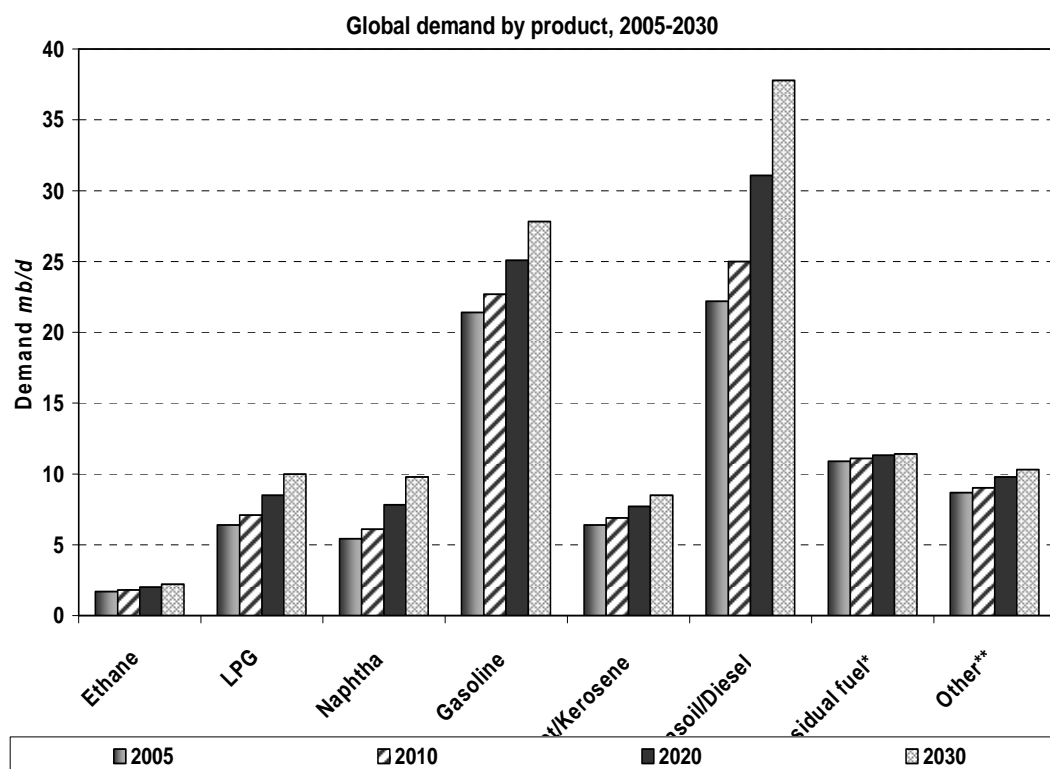
Demanda total por produto, volumes e participação.

	Demand mb/d				Share in demand %			
	2005	2010	2020	2030	2005	2010	2020	2030
Ethane	1,7	1,8	2,0	2,2	2,0	2,0	2,0	1,8
LPG	6,4	7,1	8,5	10,0	7,7	7,9	8,2	8,5
Naphtha	5,4	6,1	7,8	9,8	6,5	6,8	7,5	8,3
Gasoline	21,4	22,7	25,1	27,8	25,7	25,3	24,3	23,6
Jet/Kerosene	6,4	6,9	7,7	8,5	7,7	7,7	7,5	8,3
Gasoil/Diesel	22,2	25,0	31,1	37,8	26,7	27,9	30,1	32,1
Residual fuel*	10,9	11,1	11,3	11,4	13,1	12,4	11,0	9,7
Other**	8,7	9,0	9,8	10,3	10,4	10,1	9,5	8,8
Total	83,3	89,8	103,5	117,6	100,0	100,0	100,0	100,0

*Inclui óleo combustível

**Inclui betume, lubrificantes, ceras, gás (still gas), Coque, uso direto de petróleo bruto

Fonte: Hamel, Mohamed, "Providing Petroleum, Promoting Prosperity, Protecting the Planet", Oil outlook and investment challenges, Energy Studies Department, OPEC Secretariat, Vienna, Background paper for the Ministerial Symposium on November 2007, Riyadh, Saudi Arabia. Pág. 10 <http://www.opec.org/opecna/Speeches/2007/HeadEnergyStudies%20Paper%20for%20Symposium.pdf>



*Inclui óleo combustível

**Inclui betume, lubrificantes, ceras, gás (still gas), Coque, uso direto de petróleo bruto

Fonte: Hamel, Mohamed, "Providing Petroleum, Promoting Prosperity, Protecting the Planet", Oil outlook and investment challenges, Energy Studies Department, OPEC Secretariat, Vienna, Background paper for the Ministerial Symposium on November 2007, Riyadh, Saudi Arábia. Pág. 10 <http://www.opec.org/opecna/peeches/2007/HeadEnergyStudies%20Paper%20for%20Symposium.pdf>

Fornecimento mundial de petróleo mb/d

	2005	2010	2015	2020	2025	2030
US & Canada	10,4	11,3	11,7	12,3	12,8	13,0
Mexico	3,8	3,8	3,8	3,5	3,2	2,9
Western Europe	5,8	5,0	4,3	3,9	3,5	3,2
OECD Pacific	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8
OECD	20,5	20,9	20,6	20,5	20,3	19,9
Latin America	4,3	5,0	5,6	6,2	6,6	6,6
Middle East & Africa	4,4	5,0	5,1	5,3	5,1	5,0
Asia	2,6	2,9	2,8	2,5	2,3	2,1
China	3,6	4,2	4,5	4,8	5,0	5,3
DCs, excl. OPEC	14,9	17,0	17,9	18,7	19,0	19,1

Continuação.....

Continua....

Russia	9,4	10,3	11,0	11,2	11,2	11,2
Caspian and other FSU	2,1	3,5	4,1	4,5	4,9	5,2
Other Europe	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1
Transition economies	11,7	14,0	15,3	15,9	16,2	16,6
Processing gains	1,9	2,2	2,4	2,8	3,0	3,2
Non-OPEC	49,0	54,1	56,3	57,8	58,5	58,8
of which: non conventional	2,2	4,1	5,8	7,4	8,9	10,2
OPEC NGLs/non-conventional	4,1	5,7	6,8	7,8	8,8	9,8
OPEC crude	31,1	30,2	33,8	38,2	43,5	49,3
World	83,3	89,7	96,5	103,5	110,4	117,6

Fonte: Hamel, Mohamed, "Providing Petroleum, Promoting Prosperity, Protecting the Planet", Oil outlook and investment challenges, Energy Studies Department, OPEC Secretariat, Vienna, Background paper for the Ministerial Symposium on November 2007, Riyadh, Saudi Arabia. Pág. 13 - <http://www.opec.org/opecna/Speeches/2007/HeadEnergyStudies%20Paper%20for%20Symposium.pdf>

Non OPEC crude oil +NGL supply outlook in the reference case

	2005	2010	2015	2020	2025	2030
US & Canada	8,9	8,7	8,1	7,5	7	6,5
Mexico	3,8	3,8	3,8	3,5	3,2	2,9
Western Europe	5,6	4,5	3,6	3,2	2,8	2,5
OECD Pacific	0,6	0,7	0,6	0,6	0,7	0,7
OECD	18,9	17,7	16,1	14,8	13,6	12,5
Latin America	4	4,5	5	5,6	5,8	5,8
Middle East & Africa	4,2	4,8	4,9	6	4,9	4,7
Asia	2,6	2,9	2,6	2,2	1,9	1,6
China	3,6	4	4,1	4,1	4,1	4,1
DCs, excl. OPEC	14,4	16,2	16,7	16,9	16,8	16,3
Russia	9,4	10,3	11	11,2	11,2	11,2
Caspian	2,1	3,5	4,1	4,5	4,9	5,2

Continuação...

Continua....

Other Europe	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1
Transition economies	11,7	14	15,3	15,8	16,2	16,6
Non-OPEC	45	47,9	48	47,6	46,5	45,4

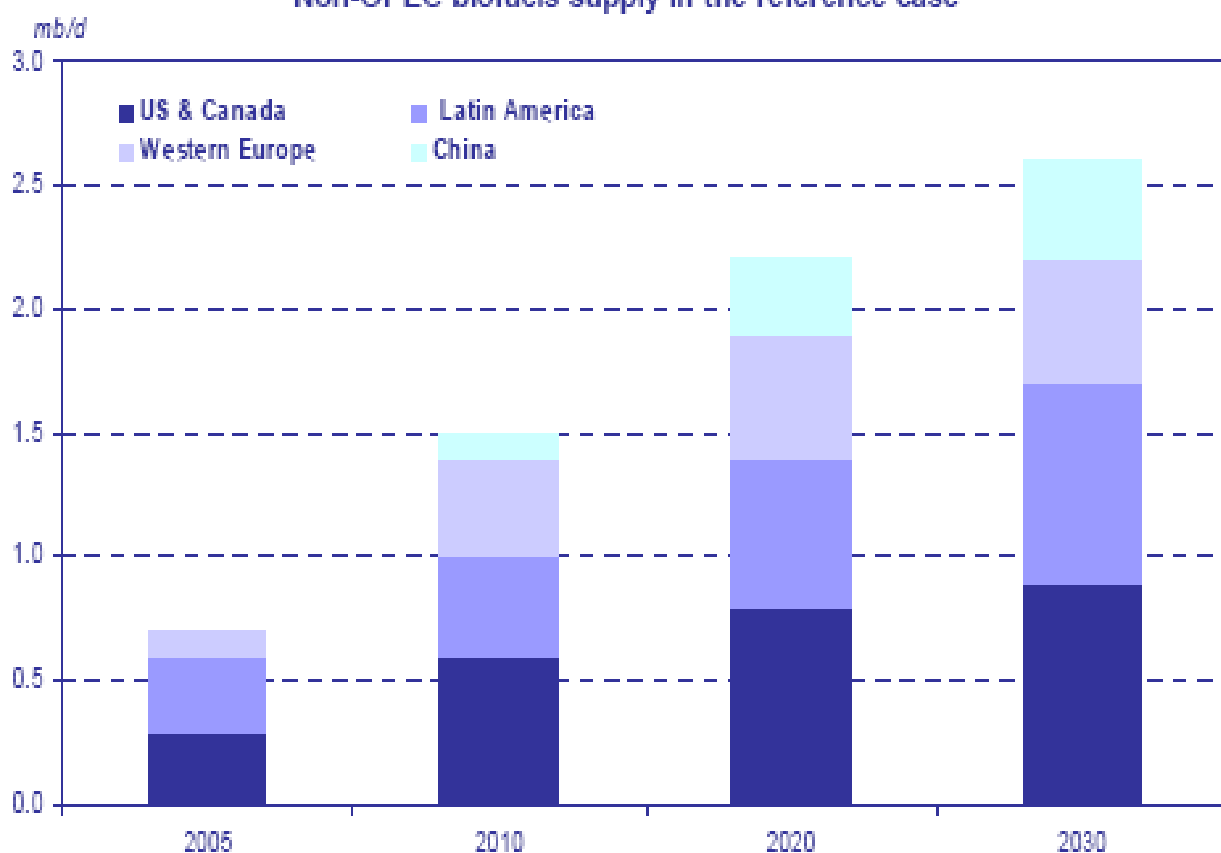
Fonte: Hamel, Mohamed, "Providing Petroleum, Promoting Prosperity, Protecting the Planet", Oil outlook and investment challenges, Energy Studies Department, OPEC Secretariat, Vienna, Background paper for the Ministerial Symposium on November 2007, Riyadh, Saudi Arabia. Pág. 14 <http://www.opec.org/opecna/Speeches/2007/HeadEnergyStudies%20Paper%20for%20Symposium.pdf>

Non-OPEC non- conventional oil supply outlook (excl. biofuel) mb/d

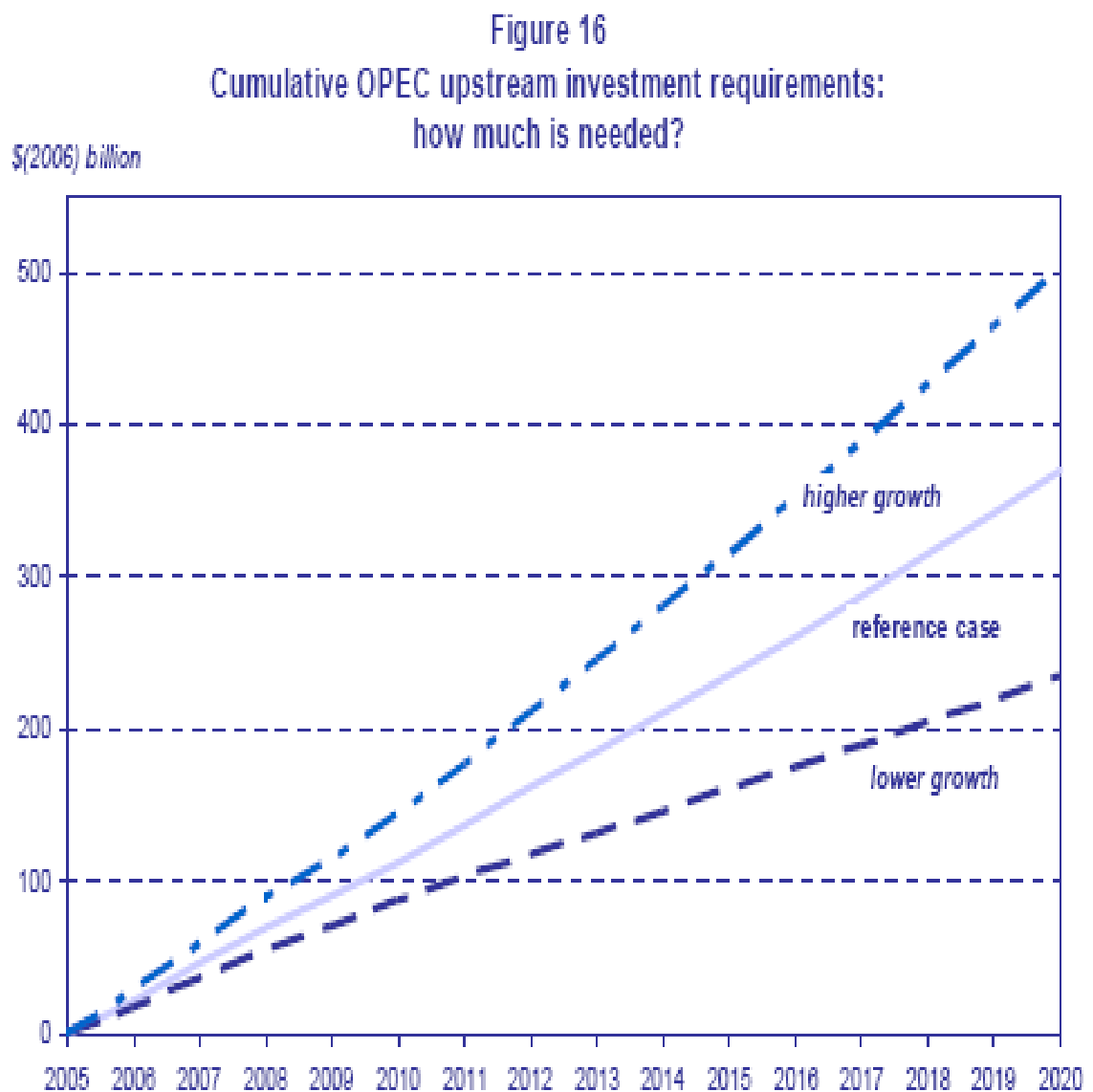
	2005	2010	2015	2020	2025	2030
US & Canada	1,2	2,1	2,9	4,0	5,0	5,7
OECD	1,3	2,3	3,2	4,4	5,3	6,1
China	0,0	0,1	0,3	0,4	0,6	0,8
DCs, excl. OPEC	0,2	0,2	0,5	0,8	1,0	1,3
Non-OPEC	1,5	2,5	3,7	5,1	6,3	7,3

Fonte: Hamel, Mohamed, "Providing Petroleum, Promoting Prosperity, Protecting the Planet", Oil outlook and investment challenges, Energy Studies Department, OPEC Secretariat, Vienna, Background paper for the Ministerial Symposium on November 2007, Riyadh, Saudi Arabia. Pág. 16 <http://www.opec.org/opecna/Speeches/2007/HeadEnergyStudies%20Paper%20for%20Symposium.pdf>

Figure 8
Non-OPEC biofuels supply in the reference case



Fonte: Hamel, Mohamed, "Providing Petroleum, Promoting Prosperity, Protecting the Planet", Oil outlook and investment challenges, Energy Studies Department, OPEC Secretariat, Vienna, Background paper for the Ministerial Symposium on November 2007, Riyadh, Saudi Arabia. Pág. 16
<http://www.opec.org/opecna/Speeches/2007/HeadEnergyStudies%20Paper%20for%20Symposium.pdf>



Fonte: Hamel, Mohamed, "Providing Petroleum, Promoting Prosperity, Protecting the Planet", Oil outlook and investment challenges, Energy Studies Department, OPEC Secretariat, Vienna, Background paper for the Ministerial Symposium on November 2007, Riyadh, Saudi Arabia. Pág.17- <http://www.opec.org/opecna/Speeches/2007/HeadEnergyStudies%20Paper%20for%20Symposium.pdf>