

Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”
LEB 244 – Recursos Energéticos e Ambiente

Etanol

Piracicaba, 2013

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	3
2.	PANORAMA MUNDIAL	9
3.	PROCESSO DE OBTENÇÃO	12
3.1.	Etanol – 1º geração	12
3.2.	Etanol celulósico – 2a geração	14
3.3.	Etanol de algas do mar - 3a geração	18
3.4.	Gás de síntese	19
4.	ASPECTOS FÍSICOS DA FONTE DE ENERGIA	20
4.1.	Processos de obtenção do Etanol	20
5.	LEGISLAÇÃO	26
5.1.	Legislação Ambiental para instalação de usinas.....	27
6.	VANTAGENS E DESVANTAGENS	28
6.1.	Vantagens	29
6.2.	Desvantagens.....	31
7.	VIABILIDADE ECONÔMICA.....	33
7.1.	Panorama do mercado de álcool	34
8.	CONCLUSÕES	38
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41

1. INTRODUÇÃO

A preocupação com o meio ambiente e aumento dos preços do petróleo nos anos 70 levaram a busca de novas formas de energia que fossem viáveis em um primeiro momento economicamente e que posteriormente apresentasse sustentabilidade social e ambiental. Novas tecnologias foram desenvolvidas pelo Brasil durante a crise energética dos anos 70 a fim de se conseguir atender a demanda energética nacional quanto a combustíveis líquidos. (JN,2007)

Os efeitos negativos da alta dos preços do petróleo sobre a economia dos países importadores do “ouro negro”, principalmente de países subdesenvolvidos, levou-os a busca por alternativas de produção doméstica de energia, notadamente a partir da biomassa em alguns casos. Dentro desse contexto começou a desenvolver combustíveis a partir de fontes renováveis. (SZWARC, 2006)

Em um período de transição global de motores convencionais, Ciclos Otto e Diesel, para veículos de uma nova geração tecnológica e a frota mundial de veículos utiliza basicamente combustíveis líquidos e sua renovação é lenta e gradual, os biocombustíveis tornam-se os substitutos diretos dos combustíveis fósseis, Nesse sentido, o etanol mostrou-se como um dos produtos mais viáveis e estratégicos para esse processo de transição. Com o aumento das preocupações ambientais, o etanol reúne vantagens significativas em relação aos combustíveis fósseis, em especial à gasolina, quanto ao desenvolvimento sustentável, ou seja: ambiental, social e econômico. (STRAPASSON & JOB, 2006).

As energias renováveis são, na atualidade, um dos mais importantes assuntos para as discussões sobre o futuro da Humanidade. Tanta importância torna a produção de energia uma área estratégica para as nações de todo mundo. Ao mesmo tempo em que se busca ampliar a oferta e reduzir os custos, crescem as preocupações com a sustentabilidade e o meio ambiente. É nesse contexto que as energias renováveis ao longo do tempo obtiveram apoio de diversos grupos e organizações para a sua ampliação.

O Brasil ingressa na era pós-petróleo disposto a provar que o etanol de cana-de-açúcar era, no presente, um dos melhores combustíveis vendidos no século XXI. Sua produção e venda envolvia a estratégia do país. A oferta de combustíveis obtidos da biomassa permite ampla democratização do abastecimento, eliminando riscos de novo cartel de produtores. (Carvalho, 2006)

O Brasil detém excelentes tecnologias para se trabalhar com diferentes variedades de cana-de-açúcar, investe na expansão contínua da produção, assiste ao aumento da demanda

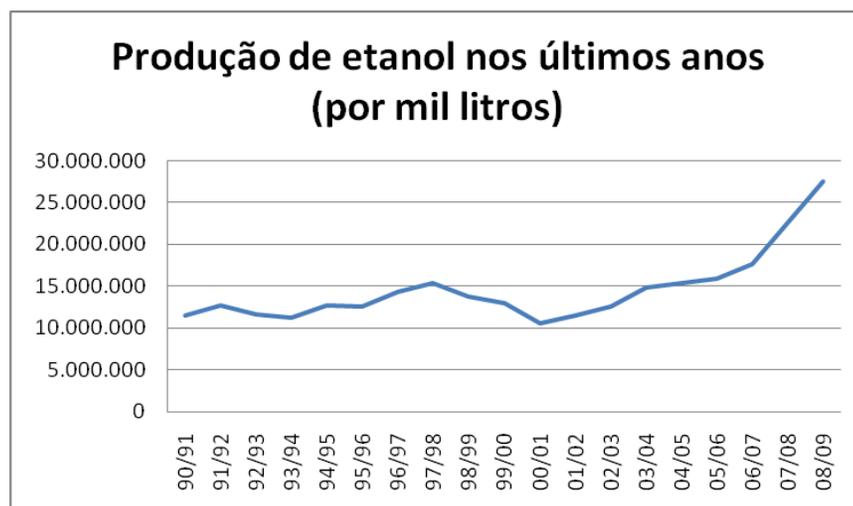
de veículos leves dotados de motores flex, sua capacidade produtiva tem conseguido atender quantidades crescentes de etanol em diferentes pontos do globo, sendo o maior exportador de etanol do mundo, sustenta uma política agrícola livre de subsídios como reconhece a OMC (Organização Mundial do Comércio), procura maximizar o aproveitamento energético de rejeitos da cana-de-açúcar (utilização do bagaço) e tem uma vigorosa política de melhoria nas relações de trabalho e na valorização social (Carvalho, 2006).

No séc. XX pouco espaço houve para os substitutos da gasolina, se caracterizando pela preocupação dos impactos negativos ao meio ambiente causados pela exploração do petróleo e por políticas públicas voltadas à inibição ou proibição do uso de certos produtos (CARVALHO, 2001).

Em busca de soluções o Brasil criou um programa nacional que permitisse, num primeiro momento, misturar álcool à gasolina e, posteriormente, contar com esse combustível para abastecer os veículos. A preocupação levou à instituição do Programa Nacional do Álcool (Proálcool), em 1975 (MARJOTTA-MAISTRO, 2002). De acordo com Melo & Fonseca (1981), esse programa correspondeu à primeira tentativa do governo brasileiro de desenvolver fontes alternativas de energia líquida, em um período de crise no abastecimento mundial de petróleo.

A intervenção estatal no setor de álcool é anterior ao Programa, no início da década de 30, por exemplo, houve uma diminuição no preço do açúcar no mercado internacional. Como medida de proteção às culturas de cana-de-açúcar, adotou-se a adição de 5 % de álcool na gasolina. Em 1933 foi criado o IAA (Instituto do Açúcar e do Álcool), cuja função era controlar a produção e manter os preços em um nível adequado. Durante a II Guerra Mundial, a proporção de álcool na gasolina atingiu 20% (Arbex, 2001).

Gráfico 1 – Produção de etanol nos últimos anos



Fonte: União da Indústria de Cana-de-açúcar/UNICA e Ministério da Agricultura, Pecuária e

Abastecimento/MAPA. Elaborado pela ÚNICA;

Gráfico 2 - Produção de cana-de-açúcar nos últimos anos



Fonte: União da Indústria de Cana-de-açúcar/UNICA e Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento/MAPA. Elaborado pela ÚNICA;

Gráfico 3 - Exportação de Etanol



Fonte: Secretaria do Comércio Exterior (Secex). Elaboração ÚNICA

Com o aprimoramento da tecnologia, o carro movido somente a álcool hidratado ganhou as ruas brasileiras, chegando a representar 85% da frota no final dos anos 80 (UNICA, 2007).

No entanto, problemas no abastecimento colocaram em dúvida a confiança do

consumidor, que passou novamente a priorizar a gasolina. Os usineiros aumentaram para a produção do açúcar na década de 90, pois o preço internacional do açúcar estava mais favorável. No final dos anos 90, o mercado de cana, açúcar e álcool foi desregulamentado. As crises políticas no Oriente Médio - região que responde pela maior parte das reservas conhecidas de petróleo - e o surgimento do carro flex representam uma nova etapa para o carro a álcool brasileiro, ao rodar com 100% de álcool hidratado, 100% de gasolina (toda gasolina brasileira é aditivada com álcool) ou qualquer percentual de mistura entre os dois combustíveis. Atualmente, todos os veículos leves brasileiros rodam com gasolina misturada com álcool anidro. A proporção da mistura é definida por lei, podendo oscilar de 20% a 25%, com um ponto percentual para mais ou para menos. (UNICA, 2007).

A valorização do etanol se acelerou por dois fatores: redução da dependência de uma fonte fóssil, principalmente localizada em países extremamente instáveis politicamente; o conhecimento científico, como consequência, o mercado a mostrar preços crescentes, essa tendência de crescimento parece ser definitiva, no qual uma das causas é a escassez desse produto projetado para as próximas décadas.

A produção de álcool tem tido vários incrementos e grande possibilidade de se manter forte e dinâmica por vários anos. Há vários fatores que influenciam esse dinamismo no setor, entre eles temos: a demanda crescente interna (automóveis biocombustíveis). (UNICA 2007).

De acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN 2012, com ano base 2011), a energia renovável representa uma mudança de 47,4% em 2011 para 45,8 em 2012 na produção primária nacional.

Produção de Energia Primária

Primary Energy Production

											10 ³ tep (toe)
FONTES	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	SOURCES
NÃO RENOVÁVEL	95.677	97.474	99.216	105.667	111.421	114.761	122.009	127.409	133.201	139.112	NON-RENEWABLE ENERGY
PETRÓLEO	74.927	77.225	76.641	84.300	89.214	90.765	94.000	100.918	106.559	108.976	PETROLEUM
GÁS NATURAL	15.416	15.681	16.852	17.575	17.582	18.025	21.398	20.983	22.771	23.888	NATURAL GAS
CARVÃO VAPOR	1.936	1.785	2.016	2.348	2.200	2.257	2.494	1.913	2.104	2.104	STEAM COAL
CARVÃO METALÚRGICO	63	38	137	135	87	92	167	167	0	0	METALLURGICAL COAL
URÂNIO (U ₃ O ₈)	3.335	2.745	3.569	1.309	2.338	3.622	3.950	3.428	1.767	4.143	URANIUM - U ₃ O ₈
RENOVÁVEL	78.583	86.267	91.022	94.855	100.380	108.947	114.553	112.460	119.973	117.628	RENEWABLE ENERGY
ENERGIA HIDRÁULICA	24.604	26.283	27.589	29.021	29.997	32.165	31.782	33.625	34.683	36.837	HYDRAULIC
LENHA	23.645	25.965	28.187	28.420	28.496	28.618	29.227	24.609	25.997	26.322	FIREWOOD
PRODUTOS DA CANA-DE-AÇÚCAR	25.279	28.357	29.385	31.094	35.133	40.458	45.019	44.775	48.852	43.270	SUGAR CANE PRODUCTS
OUTRAS RENOVÁVEIS	5.055	5.663	5.860	6.320	6.754	7.705	8.526	9.450	10.440	11.200	OTHERS
TOTAL	174.260	183.742	190.238	200.522	211.802	223.708	236.562	239.869	253.174	256.740	TOTAL

Fonte: BNE, 2012

O programa de etanol carburante nasceu nos anos 70 como uma iniciativa governamental, o enorme crescimento da produtividade possibilitou a eliminação dos subsídios à produção. Desde 2003, com os veículos flex, já representam mais de 80% das vendas de veículos leves, deixando o consumidor mais protegido contra mudanças de preços (JANK, 2006). O etanol é pelo menos 73% menos poluente que a gasolina, se levar em consideração o ciclo de vida de ambos (Marques, 2009). A tabela abaixo demonstra as principais diferenças na produção de Etanol e Biodiesel, a partir da mensuração das necessidades ambientais para o plantio da matéria prima.

Quadro geral dos Biocombustíveis

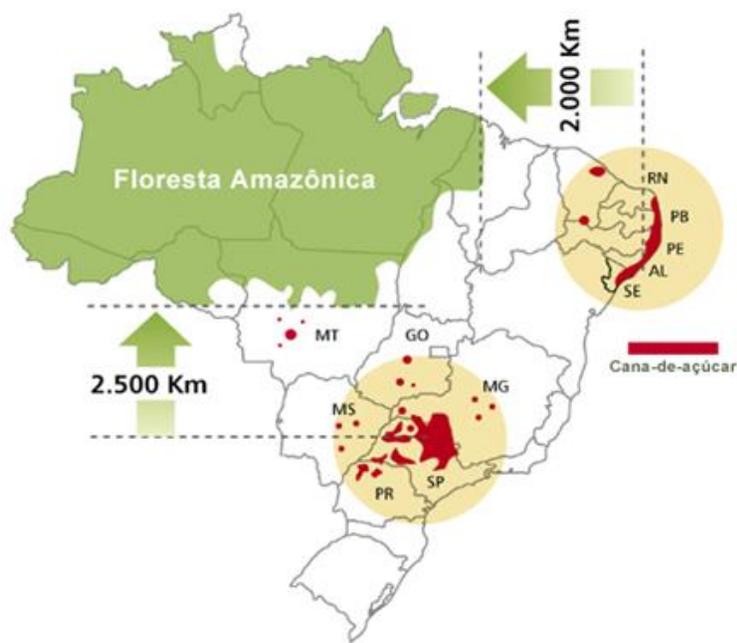
Biocombustíveis	Matéria-prima	Redução na emissão de GEE	Custo de Produção	Produção por hectare	Terras utilizadas
Etanol	Grãos (trigo, milho)	Moderado a baixo	Moderado	Moderado	Terras férteis
Etanol	Cana-de-açúcar	Alto	Baixo	Alto	Terras férteis
Biodiesel	Óleo de sementes (canola, soja, etc)	Moderado	Moderado	Baixo	Terras férteis
Biodiesel	Óleo de Palma	Moderado	Moderado a Baixo	Moderado	Terras litorâneas e úmidas

Fonte: Adaptado de BNDES p.69, 2008

Localização geográfica

Atualmente, a área ocupada pela cana chega aos 6,4 milhões de hectares, o que representa quase 10% da área agrícola do país (62 milhões de hectares). Sendo assim, não se pode pensar em uma concorrência entre alimento e energia em curto prazo, mas é necessário um planejamento para assegurarmos a sustentabilidade da produção (Zoneamento Agrícola).

Figura 1- Localização da produção de cana-de-açúcar no Brasil.



Fonte: NIPE – Unicamp, IBGE e CTC.

2. PANORAMA MUNDIAL

Entre os países industrializados do Anexo I, envolvidos com as metas do Protocolo de Kyoto, o uso de biocombustíveis representa uma das formas de reduzir as emissões líquidas de gases de efeito estufa quanto ao consumo energético no setor de transporte. No entanto, os combustíveis desenvolvidos nos últimos anos apresentam grande diferença na capacidade de redução de emissões em relação ao etanol de cana-de-açúcar (Macedo, 2006).

Balanço de energia na produção de etanol, com diversas matérias-primas.

Matérias-primas	Energia renovável/ energia fóssil usada
Etanol de milho (USA)	1,3
Etanol de cana (Brasil)	8,9
Etanol de beterraba (Alemanha)	2,0
Etanol de sorgo sacarino (África)	4,0
Etanol de trigo (Europa)	2,0
Etanol de mandioca	1,0

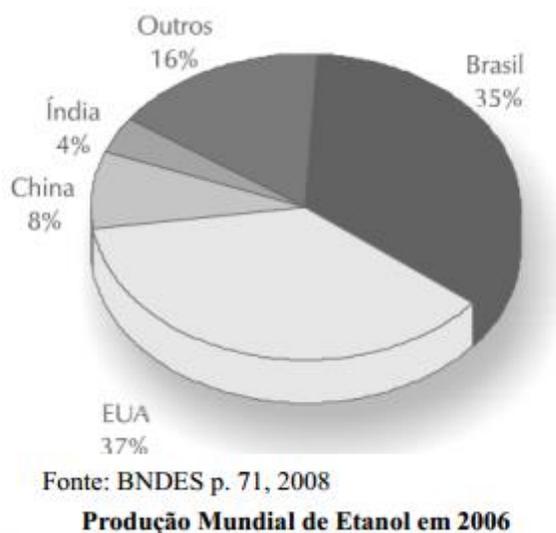
Fonte: Macedo (2006)

Tabela 1 - Visão geral do etanol nos EUA e Brasil

	EUA (2005/2006)	BRASIL (2006/2007)
Usinas em operação	97	335
Matéria-prima	Milho	Cana-de-açúcar
Área cultivada (milhões de hectares)	31,6	6,4
Produção de matéria-prima	267	426
Parcela de matéria-prima para etanol	20 %	48 %
Produtividade (t/ha)	8.4	66.2
Produção de etanol (milhões de litros)	18.547	17.441
Produtividade do etanol (litros/ha)	3000	6.800
Etanol em % de consumo gás+etanol	3 %	40 %
Comércio de etanol (milhões de litros)		
Importações	2805	----
Exportações	----	3028
Custos de produção (US\$/litro)	0,4	0,22
Imposto de importação	46 %	0

Fonte: ICONE

Abaixo o comparativo da produção de etanol no mundo em 2006:



Embora a tecnologia brasileira na produção e no uso do etanol seja referência para outras nações, ainda é necessário superar as barreiras do protecionismo agrícola para que o etanol passe a ser verdadeiramente uma commodity energética e ambiental (SZWARC, 2006).

O Brasil tem papel importante no abastecimento internacional, como maior exportador de álcool do mundo. Portanto é preciso que os empecilhos sejam superados, e que o mercado mundial de álcool carburante se consolide, para que as exportações de álcool se mantenham em ritmo crescente e constante. (SZWARC, 2006).

Tecnologias e seus avanços

De acordo com o Plano Nacional de Agroenergia (2006), o Brasil assumiu, com sucesso, a liderança mundial na geração e na implantação de moderna tecnologia de agricultura tropical e possui pujante agroindústria, sendo o País o melhor exemplo (no mundo) da introdução de energia renovável com uma grande escala de produção. Destaca-se a cadeia produtiva do etanol, reconhecida como a mais eficiente do mundo, conduzida por classe empresarial dinâmica, acostumada a inovar e a assumir riscos.

Partindo da produção estabelecida de açúcar, um processo completo de integração das produções foi obtido nas usinas: com grande flexibilidade nas unidades anexas (e com operação de autônomas, por algum tempo), as perdas de processo foram reduzidas e houve melhoria na qualidade do açúcar. Esse processo exigiu extenso desenvolvimento tecnológico (geração, importação, adaptação e transferência de tecnologias) na produção (agrícola e

industrial), na logística e nos usos finais, nos últimos trinta anos. Também foi importante uma legislação específica, subsídios iniciais e permanente negociação entre os principais setores envolvidos: os produtores de etanol, os fabricantes de veículos, os setores reguladores governamentais e a indústria do petróleo, em um denso processo de aprendizagem.

É importante destacar alguns dos principais avanços tecnológicos nesse período (1975-2000), mesmo porque em alguns casos devem-se buscar desenvolvimentos análogos para outros biocombustíveis.

Entre 1980 e 1990, destacam-se:

- A introdução em larga escala de variedades de cana desenvolvidas no Brasil; (principalmente pelos programas do CTC-Copersucar e do Planalsucar).
- O desenvolvimento do uso integral da vinhaça na ferti-irrigação.
- Controles biológicos na produção da cana.
- Desenvolvimento do sistema de moagem com quatro rolos.
- Tecnologia para operação de fermentações de grande porte.
- Aumento na produção de energia elétrica na indústria (autossuficiência).
- Uso final: especificações do etanol; motores E-100; transporte mistura e armazenamento do álcool.

Entre 1990 e 2000, podem ser apontados:

- Otimização do corte, carregamento e transporte da cana.
- Mapeamento do genoma da cana; transformações genéticas.
- Mecanização da colheita.
- Obtenção de excedentes de energia elétrica e venda para a concessionária.
- Avanços em automação industrial.
- Avanços no gerenciamento técnico (agrícola e industrial).
- A introdução dos motores flexfuel.

Como indicadores desse processo de intensa incorporação de inovações tecnológicas e processos mais efetivos de gestão, podem ser citados os resultados obtidos no período 1975-2000 em São Paulo. Os números de produtividade agrícola indicam aumentos de 33%, em toneladas de cana por hectare; a qualidade da matéria- prima evoluiu 8%, medida em teor de açúcar na cana; observaram-se ganhos de 14% na conversão dos açúcares na cana para etanol e de 130% na produtividade da fermentação medidas em metros cúbicos de etanol por metro cúbico de reator dia.

Os valores médios de parâmetros de desempenho para a agroindústria no Centro- Sul, em 2003-2004, foi:

- Produtividade da cana: 84,3 t/ha.
- Açúcar % cana: 14,6.
- Conversão industrial: 86%.

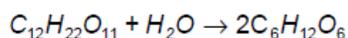
A observação da natureza dos avanços tecnológicos ao longo do período mostra que, nos anos iniciais, as preocupações foram centradas em aumentar a produção rapidamente (produtividades de equipamentos e processos), mesmo em detrimento de eficiência de conversão; isso pode ocorrer sempre que a política indutora force metas muito altas de implementação, com garantia de compra. Nos anos seguintes, os aumentos de eficiência passaram a ser mais importantes (mesmo porque as garantias de preços não foram mais observadas); e a terceira dessas "fases" foi o avanço em técnicas gerenciais da produção, que levou a grandes reduções de custo. O resultado global foi uma forte redução nos custos de produção, levando o etanol a uma situação em que praticamente não há necessidade de subsídios para competir com a gasolina, considerando o petróleo a preços acima de US\$ 45 o barril.

3. PROCESSO DE OBTENÇÃO

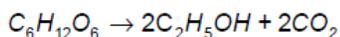
3.1. Etanol – 1º geração

O etanol, ou álcool etílico, é produzido em sua maioria pela fermentação de açúcares de vegetais (cereais, beterraba, milho, cana-de-açúcar e outros), que corresponde à produção de etanol de primeira geração. A produção de álcool combustível por fermentação de açúcares responde por aproximadamente 90% da produção mundial de etanol, conforme Bastos (2007).

A sacarose é transformada em glicose e frutose:



A seguir a glicose e frutose são convertidas em etanol:



A sequência de reações pode ser resumida da seguinte forma:

Sacarose + Levedura = Etanol + CO₂

A figura 4 apresenta o fluxograma de produção do etanol a partir da cana-de-açúcar, através da fermentação (etanol de 1º geração).

Fluxograma de produção de etanol a partir da cana-de-açúcar



Fonte: Adaptado de Neto (2009)

Marques (2008) afirma que o Brasil possui as maiores vantagens comparativas na produção de etanol de primeira geração, que é produzida a partir da cana-de-açúcar. O processo de produção do etanol a partir da cana-de-açúcar compreende as etapas de recepção, preparo e moagem, tratamento do caldo e destilação do álcool (Bastos, 2007).

Conforme Macedo (2007), as inovações na primeira geração tecnológica para produção de etanol foram observadas em toda a cadeia produtiva. Os principais avanços entre 1980 e 1990 foram: desenvolvimento de grande variedade de cana; uso da vinhaça na ferti-irrigação; controles biológicos; desenvolvimento do sistema de moagem com quatro rolos; tecnologia para operação de fermentações "abertas" de grande porte; autossuficiência de energia elétrica; especificações do etanol; motores E-100; e mistura transporte e armazenamento do etanol.

Entre 1990 e 1980, Macedo (2007) mostra que os avanços foram: otimização do corte e transporte da cana; mapeamento do genoma da cultura; introdução da mecanização da colheita; obtenção de excedentes de energia elétrica; introdução aos motores flexfuel; entre outros.

Dessa forma, os autores concluem que esses avanços tecnológicos permitiram o aumento de 33% na produtividade da produção de cana; 14% na conversão dos açúcares para etanol e 130% na produtividade da fermentação. Esses resultados, por sua vez, refletiram-se em diminuição dos custos e preços, tornando o etanol brasileiro mais competitivo.

Observa-se, portanto, que a tecnologia da primeira geração está bastante consolidada e somente ganhos marginais podem ser obtidos através dessa tecnologia (Marques, 2008).

3.2. Etanol celulósico – 2a geração

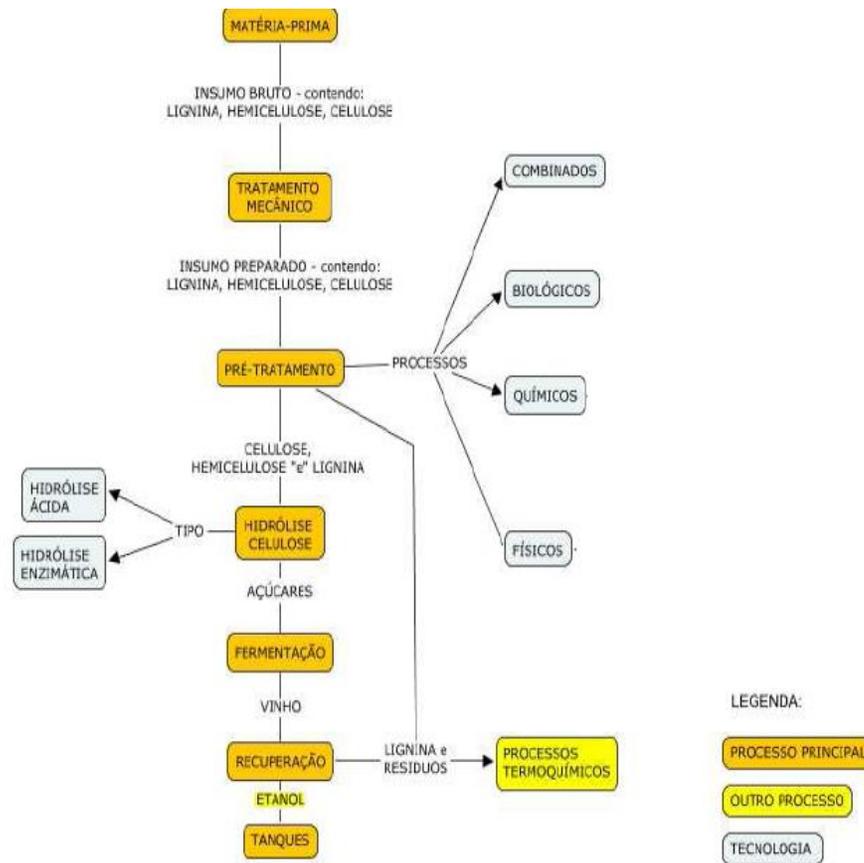
Como a tecnologia da primeira geração já está madura, a tecnologia de segunda geração é vista como uma oportunidade para que o setor consiga obter maiores níveis de produtividade e novos avanços tecnológicos. Entretanto, alerta-se para o fato de que “a muito mais complexa e requer pré-tratamento” (BASTOS, 2007).

A produção de etanol a partir de biomassa lignocelulósica refere-se a essa tecnologia de segunda geração.

“Os materiais lignocelulósicos são os compostos orgânicos mais abundantes na biosfera e participam com aproximadamente 50% da biomassa terrestre” (BASTOS, 2007). Esses materiais abrangem resíduos agrícolas, industriais e florestais além de materiais como bagaço e palha de cana, palha de milho, restos de madeira, entre outros. Os resíduos gerados na primeira geração a partir da cana de açúcar que são o bagaço e palha que correspondem por 2/3 da biomassa da cana-de-açúcar (MARQUES, 2008), precisa ser mais bem aproveitada.

Mais especificamente, o etanol celulósico, é aquele obtido a partir da quebra da molécula (hidrólise) da celulose e hemicelulose para a formação de açúcares passíveis de fermentação através de processos termoquímicos (Bastos, 2007; Marques, 2008). A figura 5 mostra as etapas desse processo identificando as tecnologias aplicadas.

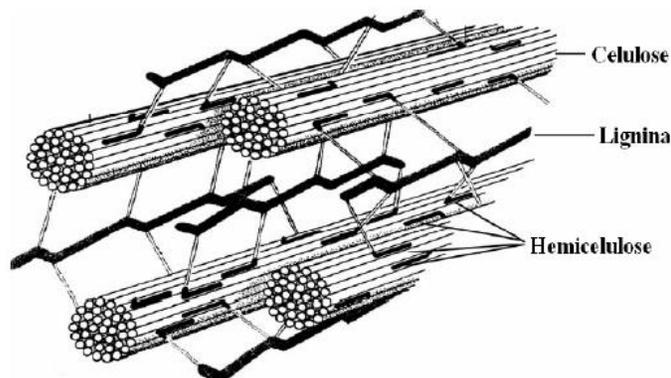
Figura 2 – Processo geral – produção de etanol de 2ª geração



Fonte: Adaptado de Neto (2009)

No tratamento mecânico, a biomassa é limpa e passa por um processo de adequação mecânica para que haja boa eficiência nas próximas etapas.

A biomassa é composta segundo Neto (2009) por: celulose (aproximadamente 31% a 44% da biomassa lignocelulósica), hemicelulose (aproximadamente 12% a 26% da biomassa lignocelulósica) e lignina, que é o material estrutural da planta (23% a 28% da biomassa), conforme a figura 4.



Fonte: Rossel (2007) apud Marques (2008)

No pré-tratamento, separam-se esses três componentes da matéria-prima. Nessa etapa também ocorre à hidrólise da hemicelulose, ou seja, a hemicelulose é transformada em açúcares e os outros produtos (lignina e celulose) são encaminhadas para a hidrólise da celulose.

Na fase da hidrólise da celulose, a celulose é transformada em glicose. Neto (2009) afirma que a fase de pré-tratamento é importante porque o rendimento é superior a 90% quando é feito o pré-tratamento e inferior a 20% quando não possui a etapa anterior.

A lignina é o resíduo na produção de etanol por hidrólise e também um dos principais problemas no processo de hidrólise devido a sua resistência à degradação química e biológica que dificulta o seu processamento. Por outro lado, a celulose e a hemicelulose podem ser transformados em açúcares que por sua vez é convertido em etanol.

A hidrólise da celulose pode ser feita de duas formas: por processos de hidrólise ácida (processo químico) ou enzimática (processo biológico).

No caso da hidrólise ácida as moléculas de celulose ou hemicelulose são quebradas por ácido sulfúrico e na hidrólise enzimática, quebradas por enzimas (catalisadores orgânicos). Essas enzimas precisam ser capazes de quebrar a celulose, fermentar o açúcar e tolerar altas concentrações de etanol.

Para mostrar a limitação atual da tecnologia de produção do etanol celulósico Bastos (2007) comparou a produção de etanol nos EUA a partir do milho utilizando a primeira e a segunda geração.

Tabela 2 - Quadro Comparativo das Características Atuais da Produção do Etanol Celulósico e do Milho nos EUA

	MILHO	MATERIAIS CELULÓSICOS
Custo de Capital para Construção de Plantas (US\$/Galão)	\$1,25-\$1,50	\$4,30-\$5,40
Custo das Enzimas (US\$/Galão)	\$ 0,03	\$0,30-\$0,50
Custo de Produção do Etanol (US\$/Galão)	\$1,10	\$2,30
Custo de Transporte das Matérias-Primas	baixo	alto
Rendimento do Etanol por Tonelada Seca de Biomassa (Galões)	98	70-80
Tempo de Fermentação (Em Dias)	2	7
Processo de Conversão	simples	complexo
Utilização de Trabalho nas Plantas de Processamento	baixo	alto
Energia Utilizada no Processo	gas natural e eletricidade	auto-suficiente

Fonte: Bastos (2007) a partir dos dados da USDA (2006)

A respeito das vantagens e desvantagens de cada tipo, Bastos (2007) afirma que a hidrólise ácida tem a vantagem de utilizar uma tecnologia mais conhecida, entretanto a sua desvantagem é que como usa o ácido como “catalisador”, a reação é muito rápida e há dificuldades de controle de reações indesejáveis. Na hidrólise enzimática há especificidade da reação, ausência de reações secundárias e formação de produtos secundários, entretanto são requeridos conhecimentos da biotecnologia avançada necessitando de engenharia genética e pesquisa biológica para o desenvolvimento de uma enzima eficiente. Além disso, os custos são elevados, a taxa de conversão da celulose em açúcar ainda é baixa e há necessidade de pré-tratamento para conseguir conversões eficientes.

O mesmo autor afirma que a decisão de usar um ou outro tipo de hidrólise depende do material lignocelulósico empregado: na hidrólise da hemicelulose é melhor o uso do ácido sulfúrico, enquanto na hidrólise da celulose o uso das enzimas é melhor.

Além disso, as apostas em cada uma das tecnologias são diferentes: no Brasil a pesquisa é voltada para a hidrólise ácida enquanto os EUA e a Europa investem mais na hidrólise enzimática.

A tabela 3 mostra um resumo da comparação entre as duas formas de hidrólise.

Tabela 3 – Quadro comparativo entre hidrólise ácida e enzimática

HIDRÓLISE ÁCIDA	HIDRÓLISE ENZIMÁTICA
<ul style="list-style-type: none"> • Quebra da celulose/hemicelulose por adição de ácido (sulfúrico) O ácido precisa ser muito controlado para evitar reações paralelas indesejáveis • Tecnologia mais simples (base científica conhecida) • Prazo mais curto para desenvolvimento da tecnologia • Em tese, menores riscos, mas menor retorno • Desafio em termos de inovação está centrado no desenvolvimento de equipamentos (com base em materiais mais resistentes à corrosão) • Foco de empresas brasileiras (Dedini e Oxiteno) 	<ul style="list-style-type: none"> • Quebra da celulose/hemicelulose por enzimas Necessidade de manipulação genética de microrganismos para produção de enzimas capazes de reduzir etapas e, conseqüentemente, custos do processo. • Tecnologia mais complexa (bases científicas da biotecnologia moderna, menos conhecidas) • Prazo mais longo para desenvolvimento da tecnologia • Possivelmente, maiores riscos, mas também maior retorno • Desafio centrado no desenvolvimento de enzimas a custo competitivo • Foco de empresas e programas de governo dos Estados Unidos e da União Européia (Programa de Biomassa do US DoE e projetos prioritários do Programa de Biomassa da União Européia)

Fonte: Bastos (2007)

Apesar das duas tecnologias já serem conhecidas, não possuem bons rendimentos e os custos são muito elevados tornando à alternativa economicamente inviável.

Por fim, tem-se a fase da fermentação onde os açúcares são convertidos em álcool através da levedura *S. cerevisiae*.

3.3. Etanol de algas do mar - 3a geração

No Brasil, a Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) está desenvolvendo um projeto de obtenção de etanol a partir de macroalgas marinhas.

A pesquisa foi desenvolvida pelo grupo ProAlga “visa aperfeiçoar o processo de obtenção de álcool através da hidrólise e fermentação da biomassa de macroalgas marinhas” (UFRJ, 2010). A tecnologia já foi patenteada em 2007 e vai gerar royalties para a UFRJ caso seja utilizada no Brasil ou em outros países.

Conforme UFRJ (2010), o processo tem início com a coleta e secagem das macroalgas do gênero *Gracilária*, *Kappaphycus* e *Hypnea*. Nessa etapa, a biomassa pode ser estocada, diferente da cana-de-açúcar. A seguir, a alga é triturada, sofre hidrólise, fermentação e destilação. Maulori Cabral, que lidera o grupo ProAlga, disse a uma entrevista em UFRJ (2010) que inicialmente era possível hidrolisar menos de 0,5% dos açúcares e atualmente atinge-se 13,6%. A meta é alcançar 20%, mas a produção de etanol a partir da alga torna-se viável pelo menos com 18%.

“No plantio das algas da espécie *Kappaphycus alvarezii*, obtém-se cerca de 110 toneladas de massa seca por hectare/ano, em águas frias como a do litoral sul fluminense” (CRUZ; LOPES, 2009). A mesma fonte diz que atualmente há capacidade para produzir 9,18 m³ do álcool com alga coletada em um hectare/ano. Comparativamente, é possível produzir 7 m³ em um hectare/ano no Estado de São Paulo a partir da cana-de-açúcar.

O crédito do desenvolvimento dessa tecnologia, segundo o professor, é do professor Allen Norton que encontrou um tipo de levedura que conseguisse fermentar o extrato de alga com bastante eficiência. Nesse sentido, o processo pode ser até 5 vezes mais eficiente do que a tecnologia de primeira geração de produção de etanol.

Maulori Cabral mostrou que a produção de álcool a partir das algas não tem necessidade do uso de terra, adubo ou irrigação. Isso significa que diferente da cultura de cana-de-açúcar não haverá conflito com a produção de outras culturas, inclusive aquelas cultivadas pela agricultura familiar. O fato de não precisarem de irrigação faz com que haja uma grande economia de água doce. Quando a produção é associada com a produção de camarão, o professor afirma que a produtividade do cultivo é elevada em três vezes e “favorece a despoluição das águas, por absorver a ureia expelida pelos animais” (CRUZ; LOPES, 2009). As algas também possuem aplicação na agricultura, pois funcionam como fertilizante.

Além disso, o Brasil possui um litoral extenso sendo que as águas mornas do Nordeste apresentam um grande potencial para o cultivo das algas. O estado do Ceará, por exemplo,

exportou 200 toneladas nos últimos 5 anos. Porém, o professor frisa que o processo de hidrólise vem sendo aperfeiçoada para que se possa aproveitar o potencial do extrato das algas.

Outra vantagem é que como as algas são o “pulmão do planeta” (e não a floresta amazônica) sendo responsáveis por 90% da produção de O₂ do planeta, no processo de fotossíntese, a alga sequestra o gás carbono.

Quanto às expectativas, Maulori Cabral acredita que haverá maior incentivo ao cultivo de algas e aprimoramento do processo de secagem que por enquanto é bastante artesanal. O grupo também vem buscando financiamento para adaptar o processo do estágio de bancada para o estágio de produção piloto. Deseja-se produzir até final de 2010, combustível em escala semi-industrial utilizando uma biorrefinaria, provavelmente com financiamento do BNDES.

3.4. Gás de síntese

As informações sobre o gás de síntese apresentados a seguir são provenientes da monografia de Pinheiro (2002).

O começo do desenvolvimento da tecnologia Fischer- Tropsch (F-T) aconteceu na Alemanha, pelos dois cientistas alemães, Franz Fischer e Hans Tropsch.

A ideia era utilizar o carbono presente no carvão que junto com o hidrogênio proveniente de matérias-primas ricas nesse componente, produzir hidrocarbonetos mais longos, como nafta, gasolina e diesel. Portanto, a tecnologia consiste em reorganizar as cadeias de carbono, transformando cadeias como o do carvão e do gás natural em produtos como gasolina, diesel, parafina e outros derivados do petróleo cru.

O processo de produção de combustíveis sintéticos acontece em duas partes.

Na primeira parte o gás de síntese é produzido através da reação de carbono (GN, carvão, ou outros) com o oxigênio, gás carbônico e vapor d'água. Em seguida, o gás passa por tubos reatores, junto com o metal catalisador e assim obtém-se o óleo sintético, que será destilado para obter os produtos que se deseja. As reações químicas procedem da seguinte forma:

1^a Etapa : composto de carbono + O₂, H₂O e CO₂ → gás de síntese (CO + H₂)

2^a Etapa : gás de síntese + H₂ → álcoois , olefinas e hidrocarbonetos

Essa primeira etapa do processo é muito importante, pois corresponde por 50% a60%

dos custos totais de produção. Para a melhoria nessa etapa duas linhas de pesquisa estão sendo desenvolvidas: melhoria da eficiência energética e utilização de membranas cerâmicas com o objetivo de produzir oxigênio de maior pureza e mais barato.

As principais tecnologias para a produção de gás de síntese que são utilizadas atualmente no mercado são: reforma do metano a vapor, a oxidação parcial não catalítica, a reforma auto térmica, reforma combinada, entre outros.

Na segunda etapa onde acontece o processo F-T, alguns pontos importantes são levantados: catalisadores e reatores.

Quanto aos catalisadores, existem dois tipos, que são os de ferro e os de cobalto. A grande diferença dos dois é que o cobalto é menos indicado para ser utilizado em plantas que utilizam insumos mais “pesados”, como por exemplo, o carvão. Além disso, os catalisadores de ferro são mais baratos que os de cobalto e são mais adequadas para produção em pequena escala. A opção pelo cobalto possui vantagem no sentido de possui maior taxa de conversão e maior vida útil, porém é mais caro. Portanto, a escolha do catalisador vai depender do orçamento disponível.

No que se refere aos reatores, existem quatro tipos, a saber: leito fixo, leito fluidizado, leitos fixos fluidizados e leitos de lama. O processo de leito fluidizado e o leito de lama apresentam uma produção de combustíveis líquidos maiores.

Os produtos principais são óleos sintéticos e parafinas. Os sub-produtos do processo F-T são água, gás chamado “tail gás”, que contém hidrogênio, monóxido de carbono e dióxido de carbono.

Até 2006, as quatro principais empresas são: Shell, Exxon Mobil, Syntroleum e Seasol.

4. ASPECTOS FÍSICOS DA FONTE DE ENERGIA

A seguir resumiremos a produção de açúcar e álcool utilizada pela COSAN. Esta descrição pode variar de indústria sucroalcooleira para indústria sucroalcooleira, conforme a capacidade de produção de açúcar e álcool.

Na descrição, os números indicados ao fluxograma de processo no final do texto.

4.1. Processos de obtenção do Etanol

Matéria-prima

O açúcar é constituído por uma substância chamada sacarose, presente em plantas

como a cana-de-açúcar e a beterraba. No Brasil, o açúcar é produzido a partir da cana-de-açúcar. A partir da cana-de-açúcar obtêm-se o açúcar e o álcool.

Para a fabricação do açúcar é necessário que se extraia a sacarose. A cana-de-açúcar é constituída basicamente de água (65 - 75%), sólidos (11 - 18%), fibras (8 - 14%) e pequenas quantidades de ácidos orgânicos e inorgânicos, proteínas, amido, ceras, graxas e corantes. Nos sólidos incluem-se: sacarose, glicose, frutose e sais.

A colheita da cana pode ser feita manualmente ou através de máquinas. No caso manual, a cana é obtida inteira e no segundo caso, obtêm-se toletes de 20 a 25 cm.

Transporte, pesagem, descarregamento e estocagem de cana.

A cana é transportada às indústrias através de caminhões (01). Os caminhões são pesados antes e após o descarregamento para se obter o peso de cana recebida. Além de pesada, a cana é também analisada para que se possa definir características como a quantidade de açúcares, de água e de fibra nela contida, para que o pagamento da cana seja efetuado.

O descarregamento da cana pode ser feito diretamente nas mesas alimentadoras da moenda através de guindastes do tipo hilo (02) ou no pátio de estocagem. A cana colhida mecanicamente não deve ser estocada, sendo utilizada de forma direta. De maneira a evitar a decomposição bacteriológica, recomenda-se a renovação diária do estoque. O tempo médio após a queima da cana até seu descarregamento é de 40 horas.

Extração do caldo da cana

A matéria-prima levada às mesas alimentadoras pode ser lavada ou não dependendo da usina (03). Esta lavagem tem o intuito de retirar parte de matérias estranhas, como terra e areia, de modo a obter um caldo de melhor qualidade e evitar o desgaste excessivo dos equipamentos. A cana colhida mecanicamente não é lavada, pois, devido a sua forma de toletes, o arraste de sacarose pela água seria muito grande.

Preparo da cana

Após a lavagem, a cana é levada através de esteiras rolantes para um jogo de facas niveladoras, seguido do picador, do desfibrador e do eletroímã (04). Esta etapa é conhecida como preparo da cana. O nivelador proporciona uma alimentação uniforme. O picador e o desfibrador têm como objetivo aumentar a densidade, aumentando a capacidade de moagem, e romper ao máximo as células para forçar uma maior eficiência de extração do açúcar. Já o

eletroímã visa retirar possíveis materiais ferrosos que possam vir com a cana para evitar a quebra dos rolos das moendas.

Moagem

A extração de açúcares da cana com o esmagamento nos rolos das moendas. As moendas (05) separam água e sólidos da fibra que formará o bagaço. A sacarose está dissolvida no caldo, portanto, o objetivo da moagem é extrair a maior quantidade possível de sólidos da cana. Na prática, extrai-se 94 - 96% do caldo da cana, que é utilizado para produzir açúcar ou álcool.

A moagem também terá como produto final o bagaço com baixa umidade para ser queimado nas caldeiras para à produção de energia na através do vapor de água a alta pressão.

Embebição

Para aumentar a extração, adiciona-se água ao bagaço antes de passar pelos últimos rolos, constituindo o processo denominado embebição. A embebição utilizada é do tipo composta, que consiste em adicionar água entre os últimos “rolo” e fazer retornar o caldo extraído deste último para o anterior e assim sucessivamente até o segundo “rolo” (conjunto de três rolos da moenda).

Tratamento do caldo

O caldo que já passou pelas moendas passa por algumas etapas de tratamento antes de ir para produção de açúcar e/ou álcool. Este caldo é peneirado, para remoção das impurezas.

Sulfitação

A sulfitação (09) será absorção de SO₂ pelo caldo, evitando reações que levem o mesmo a mudar de cor, coagulando matérias coloidais, fará com que as impurezas se precipitem e facilite a separação das impurezas.

Calagem

A calagem (10) é feita através da adição de leite de cal (Ca(OH)₂) que também ajuda na decantação de materiais coloidais e eleva o pH.

Aquecimento

O caldo será aquecido até aproximadamente 105°C (11) para acelerar a coagulação e floculação dos coloides e não-açúcares proteicos e emulsificar graxas e ceras.

Flasheamento

No balão de flash (12), uma diminuição brusca de pressão provoca uma ebulição espontânea do caldo retirando assim o ar nele dissolvido.

Decantação

A decantação (13) é a etapa de purificação do caldo pela remoção das impurezas floculadas nos tratamentos anteriores. Depois destes processos o caldo é chamado de caldo decantado e vai para a etapa de evaporação. Nesta etapa encontramos a formação de lodo, este será enviado para ser filtrado.

Filtragem

Para não perder o açúcar que está no lodo realiza-se a filtragem (14). O caldo resultante retorna a umidificação, porém restringindo-se à superfície da pilha de estocagem sem maiores consequências em seu interior.

Fabricação do álcool

A partir da cana-de-açúcar será produzido o álcool. O álcool é obtido através da fermentação.

Tratamento e Resfriamento do caldo para a destilaria

Para a produção de álcool, o caldo deve ser tratado. O caldo que servirá para a produção de álcool deve ser resfriado. O caldo poderá passar por um trocador de calor (22) no qual trocará calor com água fria até atingir a temperatura de aproximadamente 30°C.

Fermentação

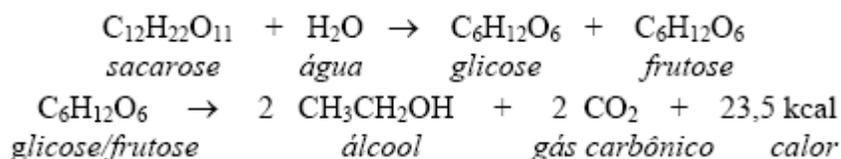
O mosto possui uma concentração adequada para a produção de açúcar. O mosto é preparado a partir de méis, caldo e água (23) a mistura apresenta uma concentração final entre 16 e 23°Brix.

O processo de fermentação Melle-Boinot é o mais utilizado nas destilarias. Esse processo tem como principal característica a recuperação de leveduras através da

centrifugação do vinho (25).

A levedura recuperada sofre um tratamento antes de retornar ao processo (26). Este tratamento consiste da adição de água, reduzindo o teor alcoólico, e de ácido sulfúrico até pH = 2,5, gerando uma mistura conhecida como pé-de-cuba.

A fermentação ocorre em tanques denominados dornas de fermentação (24) onde o mosto é misturado com o pé-de-cuba na proporção de 2:1, respectivamente. Os açúcares (sacarose, glicose e frutose) são transformados em álcool segundo a reação de Gay-Lussac:



Como a reação libera calor e é necessário se manter a temperatura a 32 ° C, um sistema de resfriamento é utilizado. Após um tempo de 4 a 12 horas, a fermentação termina gerando um produto final de teor alcoólico entre 7 e 10%, denominado vinho fermentado.

Centrifugação do vinho

O vinho é centrifugado (25) de modo a separar o fermento. Este fermento é denominado leite de levedura e retorna às cubas de tratamento. O vinho delevedurado é enviado à dorna volante (27) e posteriormente às colunas de destilação.

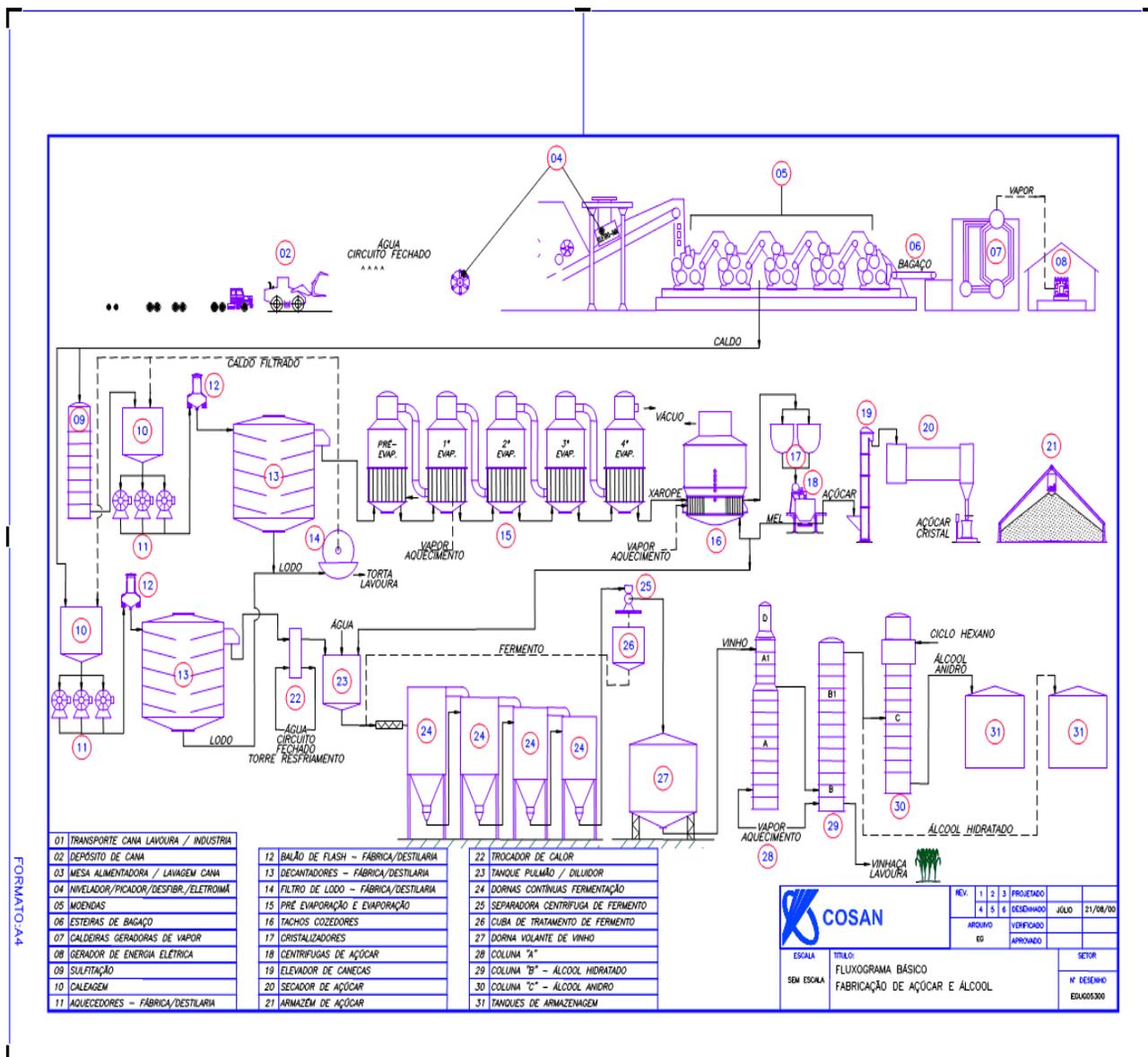
Destilação

O vinho que vem da fermentação é composto basicamente por componentes em fase líquida, dentre os quais destacam-se o álcool (7 a 10 °GL) e a água (89 a 93%). Os demais componentes são encontrados em quantidades bem menores.

Utiliza-se o processo de destilação para a separação do álcool, no qual os diferentes pontos de ebulição dos componentes da mistura são responsáveis pela separação.

Armazenamento

Os álcoois produzidos, hidratado e anidro, são quantificados e enviados a tanques de volumosos(31) onde são estocados para posterior comercialização.



Fonte: UNICA (2010)

A produção de etanol nos últimos trinta anos avançou para 17 milhões de m³. Tendo perspectiva de atingir aos 35,7 milhões de m³ em 2012-2013. O Brasil é o maior produtor mundial de cana 33,9% da produção mundial de cana-de-açúcar está no Brasil. Nosso país também é o maior exportador de açúcar e álcool do mundo representando 18,5% da produção mundial de açúcar e 36,4% do etanol no ano de 2005. (Macedo, 2006).

5. LEGISLAÇÃO

O uso do etanol no Brasil foi regulamentado pelo decreto lei nº. 19.717, de 20 de fevereiro de 1931 adotando assim o etanol como parte da mistura carburante desde 1931. O limite fixado para a mistura carburante de álcool anidro a principio foi entre 0% e 5%. Na crise do petróleo em 1976 esse percentual variou entre 10% e 15% e posteriormente de 20% a 25%, limites adotados atualmente determinados pela lei nº10.464, art.16 de 25 de maio de 2002.

Em 14 de Novembro de 1975 o decreto nº 76.593 cria o Pró-Álcool ou Programa Nacional do Álcool foi um programa que visava à substituição em larga escala dos combustíveis veiculares derivados de petróleo por álcool, financiado pelo governo do Brasil a partir de 1975 devido à crise do petróleo em 1973 e mais agravante depois da crise de 1979. Este programa foi idealizado pelo físico José Walter Bautista Vidal e pelo engenheiro Urbano Ernesto Stumpf. Com os incentivos do governo militar o setor sucroalcooleiro foi se desenvolvendo, necessitando de regras e normas para a sua comercialização em larga escala.

Desta forma, foram criados dois órgãos que legislam sobre suas atividades produtivas. O primeiro de caráter mais estratégico é o Conselho Interministerial do Açúcar de Álcool – CIMA, criado pelo decreto 3.546/2000 Art. 1º, sendo responsável pelas medidas reguladoras para setor sucroalcooleiro, considerando os seguintes aspectos:

I- adequada participação dos produtos da cana-de-açúcar na Matriz Energética Nacional;

II- mecanismos econômicos necessários à auto sustentação setorial;

III- desenvolvimento científico e tecnológico.

Compete ao CIMA aprovar os programas de produção e uso de álcool etílico combustível, estabelecendo os respectivos valores financeiros unitários e dispêndios máximos. O Conselho é formado pelos ministros das seguintes pastas:

- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MA;
- Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior – MDIC;
- Ministério da Fazenda – MF e;
- Ministério de Minas e Energia – MME.

O segundo é a Agência Nacional do Petróleo - ANP que atua como fiscalizadora das atividades de produção do álcool etílico. As atividades da ANP relativas ao setor sucroalcooleiro estão estabelecidas no convênio nº 005/06-ANP, firmado entre o MAPA e a ANP. O convênio define as normas para a cooperação técnica e operacional para o

acompanhamento e a fiscalização das atividades relacionadas com a produção de álcool etílico e com o abastecimento nacional de álcool etílico combustível, e implantação de sistemas de intercâmbio de informações das atividades.

A resolução da ANP Nº 5, DE 13.2.2006 – DOU 14.2.2006 define álcool etílico combustível para fins automotivos o Álcool Etílico Anidro Combustível (AEAC) e o Álcool Etílico Hidratado Combustível (AEHC), comercializado no mercado interno para fins automotivos, em conformidade com as especificações da ANP.

Segundo a Resolução nº 43, de 22 de dezembro de 2009, a comercialização de álcool etílico combustível para fins automotivos somente poderá ser efetuada após cadastramento do fornecedor na ANP, no endereço eletrônico www.anp.gov.br, por meio do preenchimento da Ficha Cadastral de Fornecedor de Álcool Etílico Combustível para Fins Automotivos, sendo o fornecedor um produtor com unidade fabril instalada no território nacional e cooperativa de produtores de álcool etílico, ambos com código de cadastramento no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, e importador de álcool etílico combustível para fins automotivos. A distribuição do etanol só poderá ser feita por pessoa jurídica, constituída sob as leis brasileiras, autorizada para o exercício da atividade de distribuição de combustíveis líquidos derivados de petróleo, álcool combustível, biodiesel, mistura óleo diesel/biodiesel especificada ou autorizada pela ANP e outros combustíveis automotivos. O fornecedor é obrigado a enviar, até o dia 15 (quinze) do mês subsequente ao de competência, os dados de comercialização, do mercado interno, de álcool etílico combustível para fins automotivos por meio do arquivo eletrônico "Demonstrativo de Produção e Movimentação de Produtos – DPMP", nos termos da Resolução ANP nº 17, de 31 de agosto de 2004, ou de outra que a substitua. Deve lacrar com selo numerado cada compartimento do caminhão-tanque, vagão-tanque, balsa-tanque e qualquer outro veículo que venha a ser utilizado para o transporte de álcool etílico combustível para fins automotivos, cujo número deverá constar da nota fiscal do produto e manter a documentação, nos termos da legislação tributária em vigor, inclusive notas fiscais, relativa à comercialização de álcool etílico combustível para fins automotivos disponíveis às agentes de fiscalização da ANP ou de órgãos conveniados.

5.1. Legislação Ambiental para instalação de usinas

Assim como outras empresas agrícolas as usinas sucroalcooleiras devem obedecer a uma série de leis que visam à preservação e restauração do meio ambiente. Dentre essas leis se em contra o Código Florestal, legislações estaduais como Lei Estadual Paulista 9.989, de 22

de maio de 1998, que dispõe sobre a recomposição da cobertura vegetal no Estado de São Paulo, e a lei do Estado de São Paulo foi promulgada a lei nº 11.241, de 19 de setembro de 2002, e regulamentada pelo Decreto nº 47.700 que dispõe sobre a eliminação gradativa da queima da palha da cana-de-açúcar. A Lei Estadual Paulista 9.989, de 22 de maio de 1998, obriga no artigo 1º a recomposição florestal, pelos proprietários, nas áreas situadas ao longo dos rios e demais cursos d'água, obedecendo a seguinte largura mínima, em faixa marginal.

Tendo em vista a crescente preocupação ambiental nos últimos anos surgiram uma série de leis que visavam estruturar a produção sucroalcooleira de forma que os benefícios gerados pelo uso do álcool em detrimento da gasolina não fossem suplantados por impactos ambientais durante o processo de produção. Um dos principais projetos de lei a esse respeito é o Projeto de Lei 4244/08, que define as regras para o licenciamento de usinas de álcool. Esse projeto propõe que a elaboração do Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA) será necessária para a construção, ampliação e modificação de todas as usinas de álcool do país, sendo que as usinas que não o cumprirem serão proibidas de pegar financiamento junto ao governo, bem como não serão contempladas por incentivos do governo ou qualquer programa de apoio do mesmo. Os critérios que serão levados em consideração:

- Disponibilidade hídrica para abastecimento da usina e das culturas agrícolas;
- Manutenção das áreas de preservação permanente e da reserva legal;
- Formação de corredores ecológicos na bacia hidrográfica;
- Geração e destinação final de resíduos potencialmente poluidores, incluindo a vinhaça e a torta de filtro, capazes de degradar o solo e os corpos d'água da região;
- O potencial de deslocamento da produção agropecuária na região e seus efeitos sobre a segurança alimentar e a supressão de vegetação nativa;
- O balanço de carbono, incluído o consumo de combustíveis fósseis para transporte do álcool;
- As relações de trabalho nas propriedades agrícolas fornecedoras de cana-de-açúcar.

6. VANTAGENS E DESVANTAGENS

A discussão sobre o etanol e suas consequências está longe de um ponto final. Diversos estudos mostram seus benefícios, enquanto outros os aspectos negativos. Apesar de polêmica, a discussão parece tender para o lado positivo quando analisamos o caso particular do Brasil, que produz etanol a partir da cana-de-açúcar. Nesse texto serão abordadas

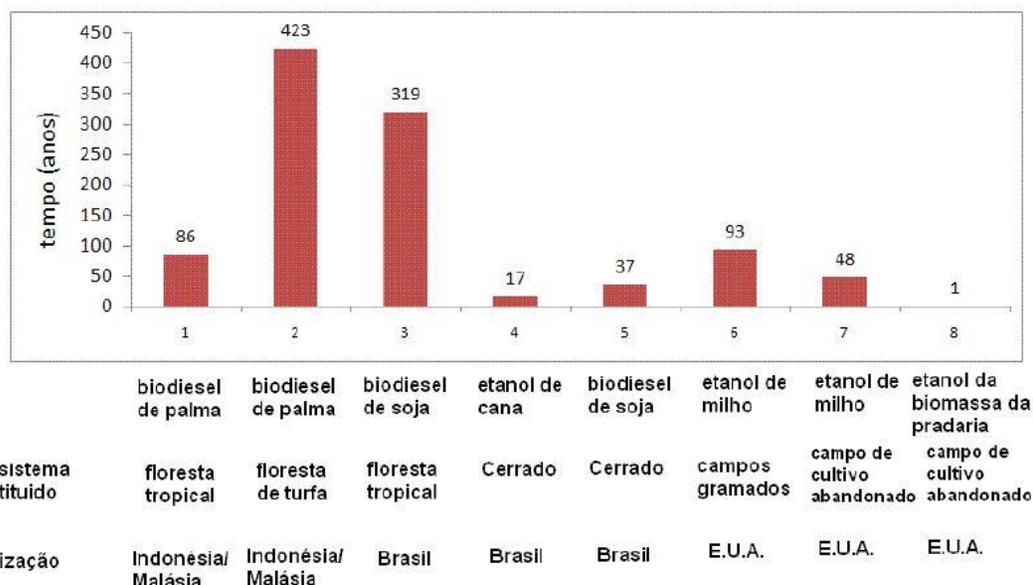
resumidamente as principais vantagens e desvantagens do etanol no contexto brasileiro e serão demonstrados os fatores específicos do Brasil que podem pender a discussão para o lado dos benefícios.

6.1. Vantagens

Apoiado em seu caráter renovável, em sua alta produtividade e na capacidade de geração de energia elétrica através de seus resíduos, o viés sustentável do etanol é conhecido e divulgado há bastante tempo. Recentemente, um estudo da EMBRAPA, retirado de Marques (2009), baseado no balanço energético do etanol da cana, constatou que sua produção e consumo emitem 73% menos CO₂ do que os processos de obtenção e de queima da gasolina. Estudos que analisam o balanço energético são vitais para a comparação entre os dois combustíveis pois são os únicos que analisam todo o ciclo de vida do produto, calculando as emissões dos gases em todos os processos de sua produção, incluindo adubação, transporte, infraestrutura, consumo final e outros.

Muitas pesquisas chegaram a resultados inversos daqueles apresentados pela EMBRAPA considerando que a geração de energia nas usinas baseava-se no uso de combustíveis fósseis. Entretanto, hoje isso praticamente não ocorre no Brasil, já que o bagaço da cana é usado pelas usinas para produzir a eletricidade que consomem. Outros pesquisadores afirmam que, dependendo da área desmatada para o plantio da cana, o saldo positivo de CO₂ na verdade se transforma em déficit. Segundo Searchinger (2008), se o aumento da área cultivada para cana implicar no desmatamento de floresta tropical, o período de compensação para equilibrar as emissões de CO₂ geradas com o desmatamento será de 45 anos. A figura abaixo 7, retirada de Fargione (2008), ilustra o tempo necessário para anular o débito de carbono na produção de diversos biocombustíveis para diferentes situações, incluindo o etanol da cana.

Figura 3 - Tempo necessário para anular o débito de carbono na produção de diversos biocombustíveis



Fonte: FARGIONE (2008)

Como podemos observar, se a cana for plantada no cerrado, que apresenta pecuária extensiva, ao invés da floresta tropical, o período de compensação cairia para 17 anos, um dos menores índices segundo a pesquisa de Fargione. O mesmo estudo da EMBRAPA já mencionado verificou que a expansão da cana no território paulista não se deu sobre áreas de florestas tropicais, mas sim sobre pastagens, características das atividades de pecuária. Além disso, Searchinger (2008) afirma que, quando a cana invade as pastagens tropicais, o tempo de compensação cairia ainda mais: apenas 4 anos. Nesse sentido, se as pastagens ocupadas forem bem manejadas, a emissão de CO₂ devido à mudança do uso do solo não parece ser um problema no caso brasileiro. Mas, se a expansão no bioma do Cerrado se der de forma desordenada, inúmeras regiões poderiam ser negativamente afetadas, como, por exemplo, o Triângulo Mineiro, o entorno do Pantanal, as cabeceiras dos rios Xingu e Araguaia na porção oeste do Mato Grosso, o sul do Piauí e do Maranhão e o norte de Tocantins (Conservação Internacional, 2007 apud Instituto Ciência Hoje, 2007).

Sobre esta possível controvérsia em relação à alteração das paisagens na expansão da cana-de-açúcar, Sparovek (2008) também concluiu que:

“Os municípios com expressiva expansão de cana-de-açúcar no período compreendido entre 1996 e 2006, quando comparados àqueles com menor expansão:

i) não apresentaram redução de cobertura com florestas nas áreas agrícolas recenseadas, ou seja, a taxa de áreas com cobertura de floresta permaneceu estável no

período, mas abaixo do limite legal estipulado pelo Código Florestal;

ii) não apresentaram redução na produção de outras culturas (inclusive alimentos);

iii) apresentaram maior PIB e maior taxa de seu crescimento; e

iv) apresentaram importante redução da atividade pecuária a pasto, indicada pela redução das pastagens, do efetivo animal e da densidade animal na área municipal.”

Ainda segundo o estudo da EMPRABA, é interessante mencionar que se a colheita da cana fosse totalmente mecanizada, a vantagem do álcool seria de 86% em relação à gasolina e de 78% em relação ao óleo diesel. Além disso, sem a ocorrência das queimadas necessárias para o corte manual, a quantidade de material particulado emitido diminuiria, melhorando a saúde da população que sofre com os períodos da queima.

Por fim, outra vantagem do etanol brasileiro é econômica, pois em algumas regiões o álcool chega a ser vendido com preços de 40% a 45% menores, por litro, em relação à gasolina. Apesar do motor a álcool ter um consumo maior por quilômetro rodado, quando comercializado a até 30% abaixo do preço da gasolina, ainda é vantajoso.

6.2. Desvantagens

A principal crítica frente ao etanol da cana está em sua expansão sobre áreas agrícolas e de floresta. No último caso, além da imensa quantidade de biodiversidade perdida, a quantidade de emissões de CO₂ com a queimada praticamente inviabilizaria o ganho no longo prazo, tornando o avanço insustentável. Além disso, o crescimento sem controle da demanda pelo etanol pode pressionar as fronteiras agrícolas, sendo necessários mapeamentos das áreas degradadas, principalmente de pastagens, para evitar a expansão sobre áreas cultiváveis. Segundo o mesmo estudo da EMBRAPA, no território paulista a cana também avançou, ainda que em escala menor, sobre áreas de cultivo de soja e milho.

De qualquer maneira, é notório que o plantio da cana traz muitos malefícios ao solo, independentemente da área em que foi plantada. Segundo Carlos Nobre, coordenador do Programa FAPESP de Pesquisa sobre Mudanças Climáticas Globais e coordenador do Centro de Ciência do Sistema Terrestre do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), embora o etanol tenha capacidade de mitigar os efeitos das mudanças climáticas, ainda resta um desafio para agregar valor ecológico ao biocombustível brasileiro. “Outras monoculturas, como a do eucalipto, por exemplo, conseguem resgatar um pouco das funções ecológicas dos ecossistemas que substituíram. Recuperaram, por exemplo, matas ciliares. Isso ainda não se vê com as plantações de cana”, afirma o pesquisador.

Outra desvantagem do biocombustível é o aumento da emissão de N₂O durante a fase de cultivo do vegetal. Segundo CRUTZEN (2008), para o etanol proveniente da cultura da cana de açúcar, de 50 a 90% de todo o benefício devido a não utilização de um combustível fóssil seria anulado pela emissão de N₂O. Índice baixo quando comparado a outras culturas, já que o Brasil utiliza menos adubo nitrogenado na cana em relação a outros países graças à capacidade da cultura de fixar o nitrogênio do ar através da ação de bactérias.

A produção do álcool ainda traz impactos ambientais negativos decorrentes da queima dos canaviais, do despejo do vinhoto e da excessiva utilização dos recursos hídricos disponíveis. Na figura abaixo, extraída de LANGOWSKI (2007), são destacados os principais impactos ambientais gerados no processo produtivo da cana.

Fase agrícola	Fase industrial
<ul style="list-style-type: none"> ▪ redução da biodiversidade em razão do desmatamento e da monocultura; ▪ contaminação das águas e do solo pelo uso de defensivos e fertilizantes; ▪ compactação do solo pelo uso de maquinaria; ▪ erosão do solo e consequente assoreamento; ▪ como efeito das queimadas da cana, aumento na emissão de gases que provocam o efeito estufa. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ utilização de água em larga escala; ▪ geração de resíduos poluentes como é o caso da vinhaça; ▪ liberação de forte odor no período de fermentação e destilação do caldo da cana para produção de álcool.

Fonte: LANGOWSKI (2007)

Segundo Arbex (2004), a queima de biomassa gera material particulado, constituído por cerca de 94% de partículas finas e ultrafinas, é o poluente que apresenta maior toxicidade, com o agravante de que essas partículas são capazes de atingir o sistema respiratório do ser humano. Recentemente, em junho de 2007, o governo de São Paulo e a UNICA (União da Agroindústria Canavieira) assinaram um protocolo de cooperação para diminuir o prazo da extinção das queimadas, prevista em lei, para 2014, nas áreas mecanizáveis, e para 2017 no caso das áreas em que não é possível a mecanização.

Dufey, Presser e Almeida (2007), com base em entrevista concedida por técnico especializado do MMA, afirmam que, apesar do potencial poluidor da vinhaça e dos efluentes do processo produtivo, o setor realmente tem se mostrado eficiente quanto à disposição adequada dos efluentes líquidos e resíduos como o vinhoto e a água resultante da lavagem, pois esta ocorre quase que totalmente no próprio sistema produtivo da cana.

Além dos problemas ambientais, ainda é possível destacar alguns impactos sociais negativos, como a concentração da posse da terra, alguns casos de condições precárias de

trabalho no manejo e corte da cana. Silva (2006) afirma que aproximadamente 65% de todos os trabalhadores rurais do setor sucro-alcooleiro não estão organizados em entidades sindicais, que contribui para a crescente tendência do emprego informal e precário. Além disso, ainda segundo Silva (2006), de acordo com a Organização Internacional do Trabalho, o setor corresponde a 3% dos registros de trabalho escravo no Brasil.

A própria mecanização da colheita, mesmo trazendo benefícios ambientais, desemprega muitos trabalhadores que precisam ser realocados no próprio setor, através da qualificação da mão de obra para cargos como operador de colheitadeira e outros, ou em outros setores da economia.

7. VIABILIDADE ECONÔMICA

O álcool havia perdido grande parte da sua importância como combustível na década de 90, vive hoje uma nova fase, na qual sua produção é impulsionada não apenas pelos altos preços do petróleo, mas também por uma preocupação ambiental. Nesse novo cenário o álcool perde seu caráter de substituto temporário da gasolina e torna-se uma possível alternativa para o fim do uso de derivados de petróleo.

A preocupação mundial em se reduzir os impactos do homem no meio ambiente, um dos quais a emissão de gás carbônico, criou um novo nicho de mercado dentro do mercado de energia, o mercado de “energia limpa”. Dentro desse mercado o etanol tem se destacado como uma alternativa para a gasolina automotiva, tendo outras concorrentes nesse mesmo nicho, como carros elétricos, a hidrogênio, entre outros. Esse novo mercado juntamente com o aumento dos preços do petróleo permitiu que o etanol renasce-se no Brasil, no entanto ainda é cedo para se considerar a produção do etanol como totalmente viável.

O etanol pode ser obtido de diversas matérias primas como milho, beterraba ou como é o caso do produto brasileiro da cana-de-açúcar. A escolha da matéria-prima tem efeito direto sobre o custo de produção do produto e portanto sobre a viabilidade do investimento, considerando que independente do insumo utilizado o produto final possui as mesmas características, o insumo com menor custo apresentara uma taxa de retorno de investimento maior. A tabela, apresentada por Carvalho(2002), mostra os custos de produção das três principais matérias-primas utilizadas em escala industrial para a fabricação de etano. Pode-se ver que a cana brasileira possui uma vantagem significativa frente às demais plantas.

Comparação do custo de produção álcool toda as finalidades (US\$ por HI)

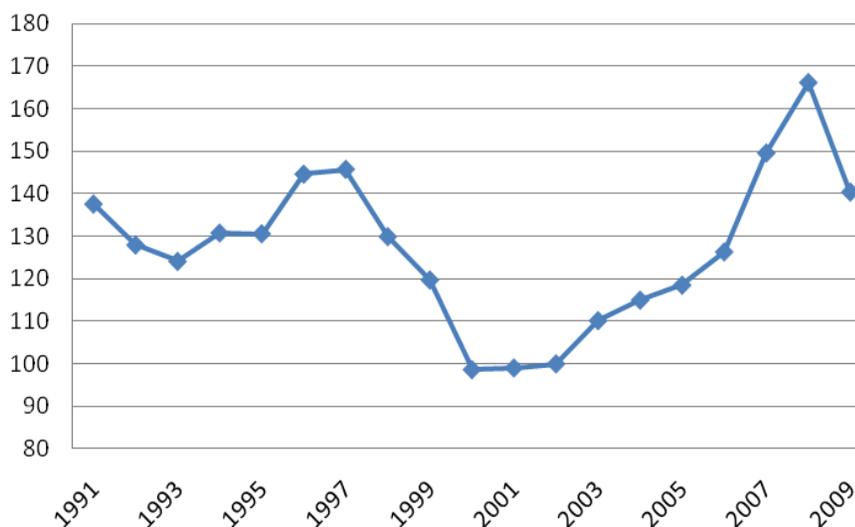
Item	EUA	Alemanha		Brasil
	Milho	Trigo	Beterraba	Cana-de-açúcar
Prédios	0,39	0,82	0,82	0,21
Equipamentos	3,40	5,30	5,30	1,15
Mão-de-obra	2,83	1,40	1,40	0,52
Seguro e taxas	0,61	1,02	1,02	0,48
Matéria-prima	20,93	27,75	35,10	9,80
Outros custos operacionais	11,31	18,68	15,93	2,32
Custo de Produção Total	39,48	54,96	59,57	14,48

Fonte: MAPA(2007)/Henninges(2004)

7.1. Panorama do mercado de álcool

Após o fracasso da implementação do álcool como combustível nacional na década de 70 através do antigo Proálcool. A partir do auge do Programa, em 1985, surge um período de estabilidade da produção ao redor de 12 bilhões de litros, que se estende até meados da década de 1990. Em 1986, diversos fatores contribuíram para que se iniciasse uma fase de avaliação do Programa pelo Governo. Conforme Santos (1993), em janeiro de 1986 os preços internacionais do petróleo começaram a cair; a produção interna de petróleo crescia, diminuindo a dependência do país em relação ao petróleo importado. A partir do início da década de 90 a produção de álcool brasileira decaiu, como pode ser visto na gráfico 3.

Gráfico 1 - Índice produção de etanol no Brasil (Base=2002)



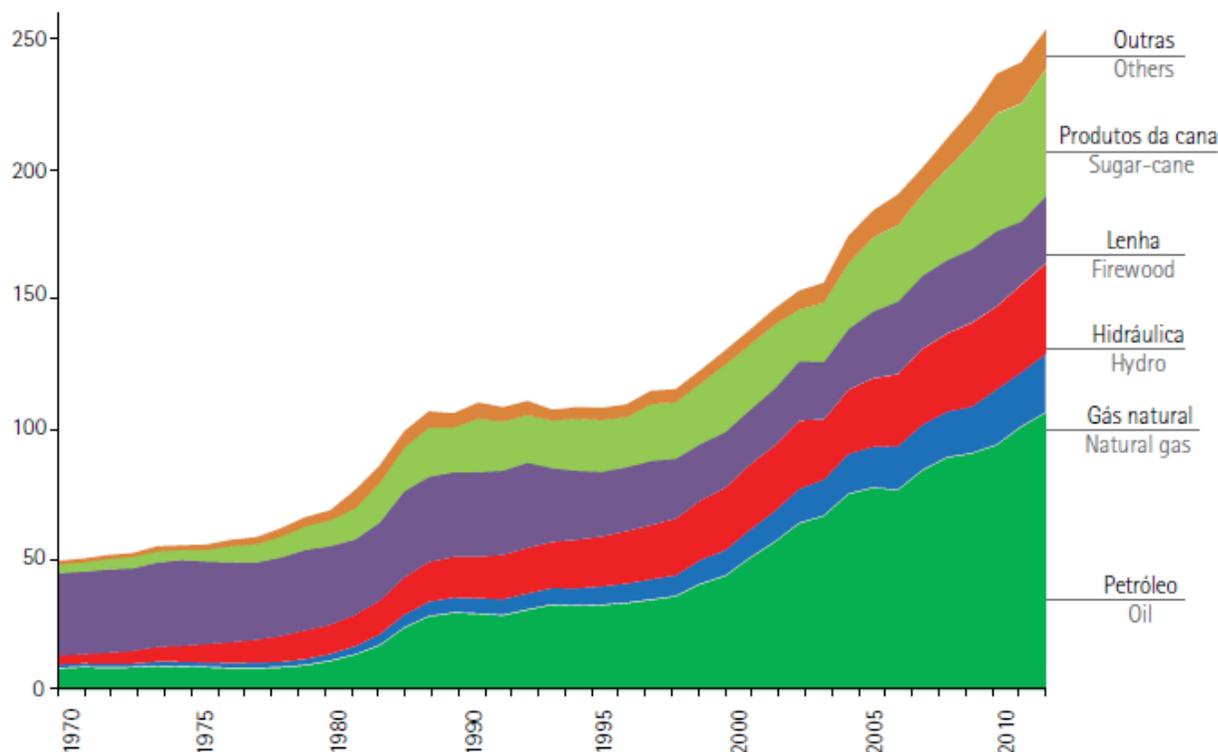
Fonte: Pesquisa industrial mensal – IBGE.

Quantificação da produção de energia primária produzida segundo o Balanço Energético de 2012:

Produção de Energia Primária

Primary Energy Production

10⁶ tep(toe)



Fonte: BNE, 2012

A queda na produção durante a safra 1998/99 é explicada pela desregulamentação do setor, com consequente finalização dos incentivos à produção, e pela queda acentuada na demanda dos carros a álcool, que por sua vez reduziu o consumo do próprio álcool hidratado. A redução da intervenção estatal no setor, em 1999, coincidiu com uma grave crise de super oferta do produto, quando os níveis de preço do álcool atingiram patamares mais baixos inclusive que os custos de produção, instalando-se grave crise no setor. Nesse período ocorreu o fechamento de várias usinas e a adequação da oferta à demanda do mercado.

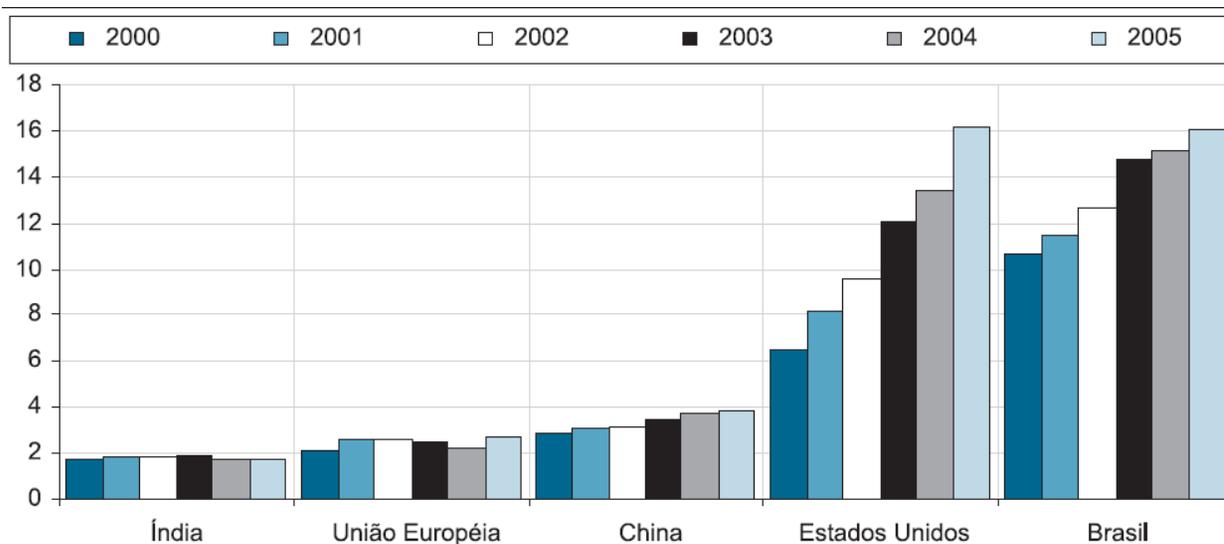
A partir de 2002, observa-se o início da retomada da produção de álcool. Nesse período, a questão ambiental começava a preocupar diversos países, fortalecendo a produção de álcool combustível, considerado um “combustível limpo”. O uso de combustíveis oxigenados - com o objetivo de reduzir a emissão de CO₂ - passou a ser uma tendência nos países

desenvolvidos a partir de meados de 1990. Juntamente com a preocupação ambiental a tensão e guerra no Oriente Médio criaram inseguranças quanto à produção de petróleo, levando a um aumento dos preços e a uma necessidade das outras nações se prepararem para uma possível restrição oferta de petróleo e derivados.

Do lado da demanda, em 1989 e 1990, houve duas crises de abastecimento de álcool, levando à queda nas vendas e à rejeição a esse produto pelo medo de novas crises de abastecimento. O medo de um novo desabastecimento só tem seu fim com o lançamento dos carros bicompostíveis ou flex-fuel em 2003. A chegada do carro flex reduziu o risco dos consumidores de uma crise de falta de combustível como ocorrido anteriormente, no entanto também tornou mais fácil variar entre o álcool ou a gasolina como combustível, o que por sua vez aumentou a sensibilidade dos consumidores às variações do preço desses dois produtos. Segundo dados do MAPA, a participação dos carros flex no total de carros produzidos no Brasil deve chegar a 90% até 2020.

A questão ambiental tem levado ao aumento da produção e consumo do álcool como combustível ou para mistura na gasolina no mundo. O gráfico mostra a evolução da produção nos principais países produtores. Nota-se que os% para serem divididos entre China, União Europeia, Índia e outros pequenos produtores.

Produção de etanol todas as finalidades nos principais países produtores. (bilhões de litros)



Fonte: Mapa(2007)/F.O. Lincht

Em relação à demanda pelo combustível, segundo MAPA(2007) cerca de 3% do combustível usado no mundo é etanol, sendo EUA e o Brasil os dois maiores países consumidores, como é mostrado na tabela.

Demanda mundial por etanol combustível, principais mercados (bilhões de litros)

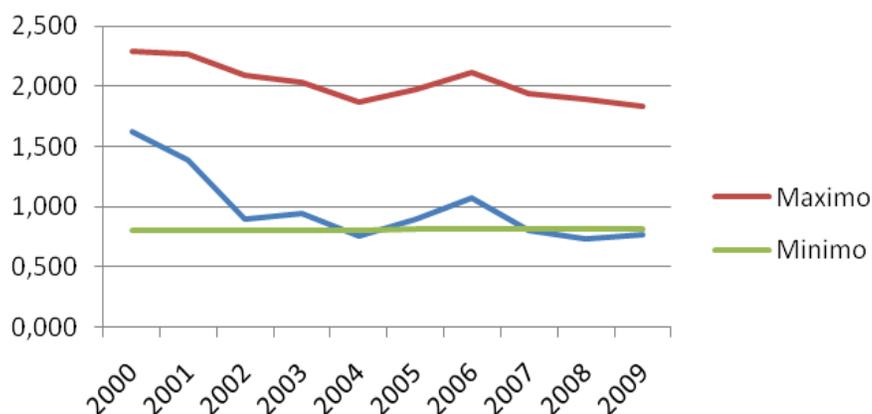
Pais	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Brasil	13,0	11,7	11,1	11,0	11,5	12,0	12,7
Estados Unidos	nd	nd	nd	nd	0,1	13,0	15,3
União Européia	nd	nd	nd	nd	nd	0,5	1,0
Tailândia	nd	nd	nd	nd	nd	0,5	0,5
Índia	nd	nd	nd	nd	nd	0,4	0,4
Suécia	nd	nd	nd	nd	nd	0,3	0,4
Canadá	nd	nd	nd	nd	nd	0,3	0,4
China	nd	nd	nd	nd	nd	0,3	0,4
Outros países	nd	nd	nd	nd	nd	1,7	2,4
Total	13,0	11,7	11,1	11,0	11,6	29,0	33,5

Fonte: Mapa(2007)/F.O. Lincht e Federal Highway Administration.

Nota: Indisponibilidade de dados para os demais países consumidores; nd= não disponível.

A remuneração do produtor de álcool está ligada a dois limites de preço, um máximo e um mínimo. O limite mínimo é o custo médio de produção que segundo pesquisa do PECEGE é de cerca de R\$ 0,80744 para a safra de 2008/09, caso o preço do álcool fique inferior a esse valor é inviável continuar em operação. O limite Máximo é referente ao preço máximo que o álcool pode assumir sem perder sua vantagem econômica frente à gasolina, segundo Macedo (2007) o preço não poderia ser maior que 70% do preço da gasolina, uma vez que na média essa é a diferença energética entre as duas fontes de energia.

Gráfico 2 - Evolução anual do preço do álcool no Brasil e limites de rentabilidade (R\$ de 2009)

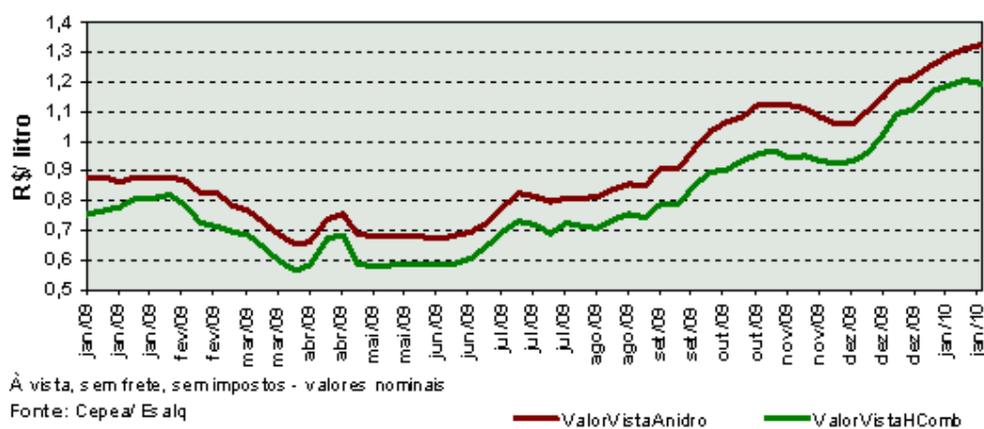


Fonte: CEPEA/IPEADATA/ANP

Pode-se observar no gráfico que nos anos de 2004, 2008 e 2009 o preço médio do álcool ficou inferior ao limite mínimo, representado na média um prejuízo para as usinas nesses anos. O fraco desempenho dos preços do álcool nos anos de 2008 e 2009 podem ser explicados pela redução da demanda, devido à crise financeira e ao aumento da capacidade produtiva. Outro fator que contribuiu para a redução da demanda pelo álcool foi à queda dos preços da gasolina.

Com a redução dos efeitos da crise mundial os preços do etanol começaram a apresentar melhora a partir do segundo semestre de 2009. Em janeiro de 2010 os preços tiveram alto devido as distribuidora que estão repondo os estoque consumido ao longo de 2009, o que levou a um aumento do preço do etanol, como pode ser visto no gráfico.

Indicador semanal de Álcool CEPEA/ESALQ – SP



Fonte: CEPEA/ESALQ

8. CONCLUSÕES

Existem vários estudos sobre os impactos positivos e negativos do etanol. Alguns autores defendem o etanol alegando seu caráter renovável e sua capacidade de gerar energia elétrica através dos resíduos gerados no processo de produção. Além disso, estudos mostram que o consumo de etanol emite 73% menos CO₂ do que a gasolina. Por outro lado, existem autores que destacam as desvantagens, como por exemplo o impacto da expansão do cultivo de cana de açúcar sobre áreas agrícolas e de floresta e os malefícios deste cultivo para o solo. Além disso, existem várias discussões relacionadas à queimada dos canaviais, ao despejo do vinhoto e da excessiva utilização dos recursos hídricos. Também existe críticas relacionadas aos impactos negativos sócias como a concentração de terra e as condições precárias de

trabalho no manejo e corte da cana.

Portanto, é de extrema importância que pesquisadores aprimorem seus estudos na área e o governo crie políticas públicas baseadas na avaliação dos impactos econômicos, sociais e ambientais com foco no planejamento territorial. Além disso, é importante que existam sistemas de incentivos às melhores práticas de governança corporativa, responsabilidade social e certificação ambiental.

A tecnologia da primeira geração de produção de etanol vem se mostrando bastante eficiente, inclusive o Brasil possui vantagens competitivas na sua utilização. Por ser uma tecnologia mais simples e usada há muito tempo, praticamente toda a produção de etanol no mundo é feita através o uso dessa tecnologia.

Entretanto, ganhos de produtividade e aprimoramento nessa tecnologia são marginais de forma que novas tecnologias vem sendo desenvolvidas, como a tecnologia de segunda e terceira geração.

Os mecanismos da segunda geração são conhecidos, mas é preciso muito aprimoramento principalmente para a obtenção de leveduras que possam quebrar as moléculas da biomassa e transformar em açúcar. A produtividade promete dar um salto caso essa tecnologia deslanche e seja utilizada em larga escala, realidade que ainda parece estar distante.

A tecnologia de terceira geração, em que o etanol é produzido a partir de algas é bastante inovadora e promissora, possuindo uma série de vantagens frente às duas outras tecnologias. Entretanto, esta também precisa ser bastante aprimorada para que atinja uma escala comercial. Quanto à produção de gás de síntese, é uma inovação interessante, pois pode-se produzir gás natural e combustíveis líquidos a partir de carbono e hidrogênio.

Assim, é preciso investimento em P&D nessas áreas porque o primeiro que conseguir desenvolver a tecnologia viável economicamente e passar a produzir o etanol a partir dessa tecnologia conseguirá obter vantagens competitivas que lhe auferirão maior produtividade, produção, menor custo e preços e por sua vez maiores lucros que poderão com o tempo retornar o investimento realizado.

Os produtores de álcool passaram nos últimos dois anos um período de redução na demanda que os levou a uma queda nos preços prejudicando a receita das usinas, no entanto as duas condições básicas que garantem o mercado para o etanol continuaram presentes: a condição do álcool como “combustível limpo”, e a vantagem econômica sobre a gasolina. As manutenções dessas duas condições garantem uma demanda futura para o produto, e juntamente com as perspectivas de aumento da frota de veículos flex e da abertura de novos

mercados consumidores para o produto, cria-se um cenário de aumento de demanda e consequentemente dos preços do etanol e das receitas dos usineiros.

O etanol surge no Brasil devido à falta de petróleo no mercado (Cartel), o governo incentiva a produção de álcool, através do programa PROALCOOL. As tecnologias utilizadas para a produção de etanol, se aprimoraram ao longo dos anos, no início do programa a gasolina era mais competitiva do que o álcool, mas atualmente o etanol não necessita de subsídios do governo brasileiro para ser mais atrativo que a gasolina. O etanol de milho norte-americano é menos eficiente para a produção de etanol uma vez que seu rendimento energético é menor. O Brasil possui tecnologia para a produção de biocombustíveis, sendo o maior produtor de açúcar e álcool do mundo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARBEX, M. A. Avaliação dos efeitos do material particulado proveniente da queima da plantação da cana de açúcar sobre a morbidade respiratória na população de Araraquara-SP. Tese de Doutorado. São Paulo, p. Faculdade de Medicina – USP, 2004.

BACCHI, Mirian Rumenos Piedade. Brasil - gerando energia de biomassa, limpa e renovável. Disponível em: < <http://www.cepea.esalq.usp.br/especialagro>>. Acesso em: 01 jun. 2009.

BASTOS, V. D. Etanol, alcoolquímica e biorrefinarias. BNDES Setorial, Rio de Janeiro: BNDES, n. 25, p. 5-38, mar. 2007

BRAZIL, Carlos. Etanol - combustível é renovável, mas há dúvida sobre impacto ambiental. Disponível em: <<http://ogerente.com/ambienblog/2007/03/08/etanolcombustivel-e-renovavel-mas-ha-duvidas-sobre-impacto/>>. Acesso em: 15 mai. 2009.

CARVALHO, L. C. C. Em nome da economia e do meio ambiente a gasolina deixa espaço para o álcool combustível. Revista Agroanalysis, São Paulo, v. 21, n. 9, set. 2001.

CARVALHO, Eduardo Pereira de. A nova historia da energia. Revista Agroanalysis, São Paulo, v. 26, n. 6, p.E2 e E4, jun. 2006.

CRUZ, B. da; LOPES, F. P. ProAlga: a nova geração de biocombustível para o desenvolvimento sustentável. UFRJ em Pauta, Rio de Janeiro, ano 2, n. 17, abr. 2009.

CRUTZEN, P. J. et al. N₂O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels. Atmospheric Chemistry and Physics, v. 8, p. 389-395, 2008.

COSAN. Disponível em: < www.cosan.com.br/>. Acesso em: 17 junho 2010.

EMPRESA DE PESQUISA ENERÉTICA (EPE). Balanço Energético Nacional 2009. Disponível em:< https://www.ben.epe.gov.br/downloads/Resultados_Pre_BEN_2009.pdf>. Acesso em: 17 junho 2010.

FARGIONE, Joseph et al. Land clearing and the biofuel carbon debt. Science, v.319, p. 1235-1237, 29 feb. 2008.

FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO – FAPESP. Etanol de algas. Disponível em: <<http://revistapesquisa.fapesp.br/?art=5157&bd=4&pg=1&lg=>>>. Acesso em: 30 maio 2010.

LANGOWSKI, E. Queima da cana – uma prática usada e abusada. 2007. Disponível em: <<http://www.apromac.org.br/QUEIMA%20DA%20CANA.pdf>>.

MACEDO, .I.C. A energia da cana-de-açúcar. Doze estudos sobre a agroindústria da cana- de-açúcar no Brasil e sua sustentabilidade. São Paulo: Berlendis&Vertecchia: Unica. 2ª. Ed. 2007

MACEDO, I.C. Balanço das emissões de gases do efeito estufa na produção e no uso do etanol no Brasil. Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético da Universidade Estadual de Campinas (NIPE). Campinas, jan. 2004.

MACEDO, I. C. Feasibility of Biomass-Derived Ethanol as a Fuel for Transportation. (Project ME-T1007 - ATN/DO-9375-ME), Activity 6: Potentials in Relation to Sustainability Criteria, SENER/BID, México, 2006

MACEDO, I.C. Greenhouse gas emissions and bio-ethanol production / utilization in Brazil. Piracicaba: CTC, 05/97, jan. 1997. 14p.

MACEDO, I. C. Situação Atual e Perspectivas do Etanol. In: Estudos Avançados, número 21, 2007.

MAPA. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Brazilian Agroenergy Plan 2006-2011. Embrapa. Brasília, DF. 2005

MAPA. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Cadeia Produtiva da Agroenergia vol. 3. 2007.Brasília. Disponível em:<http://www.iica.org.br/indexPublicacoesPublicacoesIIICACadeiasProdutivas.htm> Acessado em 20/05/2010.

MARQUES, F. Balanço sustentável. Revista Pesquisa FAPESP: Edição 159, São Paulo, maio 2009.

MARQUES, G. de O. Análise da inserção brasileira na rede de geração e fluxo de conhecimentos e técnicas relacionados ao desenvolvimento do etanol celulósico: uma abordagem baseada em elementos da teoria econômica evolucionária. Monografia (Graduando em Ciências Econômicas) - Faculdade de Ciências e Letras de Araraquara, Universidade Estadual Paulista "Julho de Mesquita Filho", Araraquara, 2008.

MORAES, M.A.F.D; SHIKIDA, P.F.A. Agroindústria canavieira no Brasil: evolução, desenvolvimento e desafios. São Paulo: Atlas, 2002. cap.2, p.43-68.

MORAES, M.A.F.D. Considerações sobre a indústria do etanol do Brasil. Disponível em: http://www.mre.gov.br/dc/temas/Biocombustiveis_08-consideracoesetanol.pdf. Acesso em: 20/03/2009

NETO, O. B. Integração das principais tecnologias de obtenção de etanol através do processamento de celulose (2ª geração) nas atuais usinas de precessamento de cana-de-açúcar (1ª geração). Dissertação (Mestre em Engenharia de Sistemas) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

NIEMEYER, L. A Produção de Etanol e o Meio Ambiente: a economia política da análise de custo-benefício. Disponível em: http://www.sep.org.br/artigo/1093_36b731f2474aff9dc74491731cf1e8d0.pdf. Acesso em: 20/03/2009.

PINHEIRO, B. B. Produção de combustíveis sintéticos a partir do gás natural: evolução e perspectivas. 2002. 73 pag. Monografia (Bacharel em Ciências Econômicas) – Universidade do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

PECEGE. Programa de Educação Continuada em Economia e Gestão de Agronegócio. Custo de produção de cana-de-açúcar, açúcar e etanol no Brasil. Disponível em: www.pecege.esalq.usp.br. Acessado em: 23/05/2010

RODRIGUES, D.; ORTIZ, L. Em direção à sustentabilidade da produção de etanol de cana-de-açúcar no Brasil. Instituto Vitae Civilis. Núcleo Amigos da Terra. Outubro 2006.

ROSSETO, R. A cultura da cana, da degradação à conservação. Visão Agrícola, n.1. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. Jan, 2004.

SEARCHINGER, Timothy et AL. Use of U.S croplands for biofuels increases greenhouse gases through emissions from land-use change. Science, v.319, p. 1238-1240, 29 feb 2008.

SILVA, M. A. M. A morte ronda os canaviais paulistas. Revista Reforma Agrária, v.33, n2, ago/dez 2006.

SPAROVEK, Gerd; BARRETTO, Alberto; BERNDES, Goran; MARTINS, Sergio; MAULE, Rodrigo. Environmental, land-use and economic implications of Brazilian sugarcane expansion 1996-2006. Mitigation and adaptation strategies for global change. p. 1.573-1.596, 2008. Disponível em: <<http://www.springerlink.com/content/m7g87215162p312l>>.

UNICA. União da Agroindústria Canavieira. Produção e uso do etanol combustível no Brasil: Respostas às questões mais frequentes. São Paulo. Março, 2007a.

U NIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO – UFRJ. ProAlga: a nova geração

de biocombustíveis. Disponível em:
< http://www.olharvital.ufrj.br/2006/index.php?id_edicao=160&codigo=2>. Acesso em: 30 maio
2010.