

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO**  
**CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA**

**PANORAMA E PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA DA**  
**INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ETANOL**

**RIO DE JANEIRO**  
**SETEMBRO DE 2012**



**Panorama e prospecção tecnológica da  
indústria brasileira de etanol**

**Leonardo Costa Farias**

**Monografia em Engenharia Química**

**Orientador**

**Professor Estevão Freire, D.Sc**

**Setembro de 2012**

# PANORAMA E PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA DA INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ETANOL

*Leonardo Costa Farias*

Monografia em Engenharia Química submetida ao Corpo Docente da Escola de Química, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Química.

Aprovado por:

---

Luiz Fernando Leite, D.Sc.

---

Maria Antonieta Gimenez, D.Sc.

---

Fabio Oroski, M.Sc.

Orientado por:

---

Estevão Freire, D.Sc.

Rio de Janeiro, RJ – Brasil

Setembro de 2012

F224p Farias, Leonardo Costa.  
Panorama e prospecção tecnológica da indústria brasileira de etanol/  
Leonardo Costa Farias - Rio de Janeiro, 2012.

70 f: 41 cm

Monografia (Graduação em Engenharia Química) Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2012.

Bibliografia: f. 70

1. Etanol 2. Perspectiva de Inovação I. Título.

CDD  
333.79

## Dedicatória

A Deus que me deu a vida e condições de chegar ao fim desse curso. Pois, por inúmeras vezes me senti só, desesperado, cansado, irritado e descri. Na descrença, tropecei, caí. No fracasso, procurei Deus e encontrei um amigo, um pai. Através dele e de seus discípulos, encontrei carinho e ensinamentos que guardarei em minha alma para que possa aproveitá-los por quantas vezes forem necessárias o meu retorno à Terra. Aos meus pais, Carlos Alberto e Sueli Farias e à minha família que me ensinaram a viver com dignidade, que me iluminaram os caminhos com afeto e dedicação para que pudesse trilhá-lo sem medo e cheio de esperança.

"Cada dia que amanhece assemelha-se a uma página em branco, na qual gravamos os nossos pensamentos, ações e atitudes. Na essência, cada dia é a preparação de nosso próprio amanhã." (Francisco Cândido Xavier)

## Agradecimentos

A Deus, pelo suporte nos momentos de aflição, pela clareza nos momentos certos e, por estar sempre presente na minha vida.

Aos meus pais, pelo amor que sempre tiveram por mim, por sempre terem acreditado e acompanhado todas as minhas dificuldades.

À Professora Andréia Medeiros que acreditou em mim, me entendeu, brigou por mim e me levantou as vezes que caí.

Ao Professor Estevão Freire que nunca sequer tinha me visto e prontamente aceitou ser meu orientador e me ajudou de maneira impar a trilhar rumo à conclusão deste curso de Engenharia Química.

E, finalmente à Ana Paula Gamberali Nóbrega e a todas as outras pessoas que ao meu lado tiveram sentimentos amorosos, dedicação e compreensão. Choraram comigo, me abraçaram, e torceram e continuarão torcendo por mim.

Resumo da Monografia apresentada à Escola de Química como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Química.

## **PANORAMA E PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA DA INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ETANOL**

Leonardo Costa Farias

Setembro, 2012

Orientador: Professor Estevão Freire, D.Sc

Este trabalho tem por objetivo abordar o panorama, as principais perspectivas e impactos de inovações na indústria brasileira de etanol através das principais tendências do setor. Para alcançar tais objetivos, as principais definições, características e histórico foram abordados, seguidos de uma análise das tecnologias no Brasil e da cadeia produtiva focando os principais atores, inovações na cadeia, impactos econômicos e as tendências tecnológicas e de mercado na indústria de etanol. A pesquisa de natureza descritiva foi utilizada, seguida de levantamentos em bases de dados de referência nacionais e internacionais, tais como: Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), *US Patent Full/ Text and Image Database* (USPTO), *Derwent Innovations Index* e *Web of Science*. O principal objetivo deste levantamento foi estabelecer um acompanhamento dos últimos 12 anos da indústria de etanol, bem como suas principais tendências e inovações, no Brasil e no mundo. Os principais resultados mostram aumento do número de publicações científicas e patentes que tenham em seus títulos os termos biorrefinarias, celulose, resíduo agroindustrial, biocombustível e etanol.

Palavras- chave: Etanol, Perspectivas de Inovação, Indústria Brasileira de Etanol.



## SUMÁRIO

I	INTRODUÇÃO .....	1
I.1	Objetivos da Monografia.....	4
I.1.1	<i>Objetivo Geral</i> .....	4
I.1.2	<i>Objetivos Específicos</i> .....	4
I.2	Estrutura da Monografia .....	4
I.3	Metodologia .....	6
II	REFERENCIAL TEÓRICO.....	8
II.1	Definições e características do etanol.....	8
II.2	Matérias-primas para a obtenção de etanol.....	13
II.2.1	Definições e características da cana-de-açúcar .....	13
II.2.2	Definições e características do sorgo sacarino .....	16
II.2.3	Definições e características dos resíduos agroindustriais.....	18
II.3	Definições e características das biorrefinarias.....	19
II.4	Processos de fermentação para obtenção de etanol .....	20
II.5	Histórico da matriz energética mundial a partir do século XX.....	23
II.5.1	O caso brasileiro .....	26
III	A INDÚSTRIA DO ETANOL NO BRASIL – Aspectos mercadológicos.....	32
III.1	Exportações e importações.....	37
IV	A CADEIA PRODUTIVA DO ETANOL NO BRASIL.....	43
IV.1	Principais atores – produtores e consumidores.....	43
IV.2	Tecnologias de produção de etanol no Brasil e no mundo.....	45
IV.3	Fermentação .....	47
IV.3.1	Recuperação e purificação.....	53
V	INOVAÇÕES E TENDÊNCIAS TECNOLÓGICAS NA INDÚSTRIA DO ETANOL .....	55
V.1	Etanol de 2ª geração .....	60
V.2	Impactos econômicos das inovações na cadeia do etanol .....	63
VI	PANORAMA DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA E PROPRIEDADE INTELECTUAL .....	69
VI.1	Busca em base de dados de patentes e artigos .....	69
VII	CONCLUSÕES.....	79
VIII	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	82
IX	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	83
X	ANEXOS .....	92

X.1	Anexo 01: Publicações científicas   <i>Web of Science: 2000 a 2012</i> .....	92
X.2	Anexo 02: Patentes   <i>Derwent Innovations Index: 2000 a 2012</i> .....	96

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Principais rotas de obtenção de etanol.....	11
Figura 2 – Balanço de energia de biocombustíveis.....	33
Figura 3 – Série histórica de veículos (1975 a 2010).....	34
Figura 4 – Veículos <i>flex fuel</i>   Participação nas vendas de veículos leves.....	34
Figura 5 – Vendas de etanol   por região (2012).....	36
Figura 6 – Vendas de etanol   pelas distribuidoras (2010 a 2012).....	36
Figura 7 – Exportações versus importações brasileiras de etanol (1990 a 2011).....	38
Figura 8 – Principais estados produtores de cana-de-açúcar   Safra 2012/13.....	43
Figura 9 – Principais regiões produtoras de etanol   Safra 2012/13.....	44
Figura 10 – Principais atores   Safra 2012/13.....	45
Figura 11 – Típico processo de produção de etanol a partir da cana-de-açúcar.....	52
Figura 12 – Valor agregado dos produtos do setor sucroalcooleiro.....	59
Figura 13 – Diagrama de blocos do processo produtivo da USI Biorefinarias.....	60
Figura 14 – Demanda de combustível fóssil <i>versus</i> potencial do resíduo agrícola.....	65
Figura 15 – Riscos ao longo da cadeia produtiva de bioprodutos.....	66
Figura 16 – Evolução das publicações sobre biocombustíveis/ etanol   Web of Science.....	72
Figura 17 – Países dos editores das publicações científicas   Web of Science.....	75

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Exportações <i>versus</i> importações (2008 a 2011) .....	3
Tabela 2 – Principais características do etanol.....	10
Tabela 4 – Série histórica das exportações/ importações do etanol no Brasil.....	38
Tabela 3 – Exportação brasileira de etanol por portos (valores em US\$ mil).....	39
Tabela 5 – <i>Market share</i> da distribuição do etanol   Principais atores .....	44
Tabela 6 – Comparação entre os principais processos para obtenção de etanol anidro .....	53
Tabela 7 – Termos utilizados na estratégia de busca   USPTO & INPI .....	70
Tabela 8 – Termos utilizados na estratégia de busca   Web of Science & Derwent Index .....	71
Tabela 9 – Áreas de conhecimento das publicações científicas   Web of Science .....	73
Tabela 10 – Categorias web of science das publicações científicas   Web of Science.....	74
Tabela 11 – Instituições por país   Web of Science.....	76
Tabela 12 – Patentes no tema Biocombustível ligados ao Etanol   Área de Conhecimento .....	77
Tabela 13 – Patentes no tema Biocombustível ligados ao Etanol   Depositante .....	77
Tabela 14 – Patentes no tema Biocombustível ligados ao Etanol   Cód. Classif. Internacional .....	78

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANP	Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
ATR	Açúcar Total Recuperável
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CIDE	Contribuições de Intervenção no Domínio Econômico
CIMA	Conselho Interministerial do Açúcar e do Álcool
CNUMAD	Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
CQNUMC	Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança Climática
COFINS	Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
CONSECANA	Conselho dos Produtores de Cana-de-açúcar, Açúcar e Álcool de São Paulo
E100	Frota nacional de carros que é abastecida apenas com etanol.
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EUA	Estados Unidos da América
FAPESP	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
GEE	Gases do efeito estufa
GO	Goiás
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
INPA	Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
INPI	Instituto Nacional da Propriedade Industrial
INRA	Instituto National de la Recherche Agronomique
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IPI	Imposto sobre Produtos Industrializados
http	<i>Hyper Text Transfer Protocol</i>
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MEG	Mono etileno glicol
MDA	Ministério de Desenvolvimento Agrário
MDIC	Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior
MDL	Mecanismos de Desenvolvimento Limpo
MF	Ministério da Fazenda
MME	Ministério de Minas e Energia
MP	Medida Provisória

OMPI	Organização Mundial da Propriedade Intelectual
OMC	Organização Mundial do Comércio
ONU	Organização das Nações Unidas
OPEP	Organização dos Países Exportadores de Petróleo
PAISS	Plano Conjunto de Apoio à Inovação Tecnológica Industrial dos Setores Su- croenergético e Sucroquímico
PE	Preço do etanol
PG	Preço da gasolina
PIS	Programa de Integração Social
PNA	Plano Nacional de Energia
PETROBRAS	Petróleo Brasileiro S.A.
PR	Paraná
PROÁLCOOL	Programa Nacional do Álcool
RCE	Redução Certificada de Emissões
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
SECEX	Secretaria de Comércio Exterior
SDP	Secretaria de Desenvolvimento da Produção
SP	São Paulo
TRR	Transportador-Revendedor-Retalhista
UE	União Europeia
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UNICA	União da Indústria de Cana-de-açúcar
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas
SRSL	<i>Shree Renuka Sugars</i>
www	<i>World Wide Web</i>

## I INTRODUÇÃO

Ao longo das últimas décadas, o mundo tem buscado combustíveis alternativos ao petróleo e seus derivados. As guerras no Oriente Médio e diversas políticas adotadas trouxeram significativa elevação dos preços do petróleo e, conseqüentemente de seus derivados. Além disso, as projeções atuais apontam para a escassez dos mesmos nas próximas décadas. O crescimento do poder aquisitivo das classes sociais menos desfavorecidas viabilizou um aumento do consumo, principalmente asiático.

A indústria do etanol tornou-se prioridade na pauta de vários países, seja pelo caráter ambiental, seja pelo econômico, assumindo grande importância nas diretrizes do setor energético mundial. A tendência de mudança da matriz energética está cada vez mais acentuada e, como consequência direta, investimentos estão sendo realizados com o objetivo de viabilizar, implementar inovações tecnológicas e, formar novas áreas de cultivo de cana-de-açúcar para a indústria, no Brasil e no mundo.

O Brasil ocupa posição de destaque na produção mundial de etanol e este fato muito se deve à tradicional cultura de cana-de-açúcar adquirida ao longo dos últimos séculos e da produção do etanol em larga escala há mais de 30 anos.

Na década de 90, a indústria brasileira de etanol entrou em um novo ciclo de negócios, com grande demanda no mercado brasileiro, assim como no mercado externo, fornecendo um produto de alta qualidade capaz de atender às diversas políticas vigentes nos diferentes países consumidores. Em se tratando de sustentabilidade ambiental, o etanol é um produto de grande valor, pois se comparado à gasolina, reduz em mais de 80% a emissão de Gases do Efeito Estufa (GEE) em todo o ciclo de produção e consumo (ETHANOL SUMMIT, 2011).

Os rumos da indústria brasileira de etanol mudaram significativamente no início deste século, com a introdução dos veículos bicombustíveis no mercado nacional. As projeções de crescimento do mercado interno são bastante otimistas e, especialistas acompanham de perto o desencadear do mercado a fim de evitarem a escassez do produto no território nacional. O consumo de gasolina foi superado pelo do etanol, em 2008. A principal consequência de uma elevada demanda, seja no mercado interno ou no mercado externo, é a escassez e um preço

final não competitivo. A região sudeste do país respondeu, em 2011, por mais de 60% das vendas de etanol no mercado interno. Atualmente o Brasil utiliza 48% da sua produção de cana-de-açúcar para a produção de etanol (ANP, 2011).

A maior parte dos investimentos realizados na indústria brasileira de etanol é realizada por grupos brasileiros com larga experiência no setor e que já possuem usinas no Brasil, embora grupos estrangeiros também estejam investindo de maneira significativa nessa indústria. De maneira indireta, vultosos investimentos estão ocorrendo nas mais variadas áreas como, por exemplo, nas áreas de logística e, de armazenamento de produto. Existem projetos de bases de captação que somam bilhões de reais, como é o caso do alcoolduto que ligará Senador Canedo (GO) até o porto de São Sebastião (SP) e, terá mais de 1.150 km, passando por Ribeirão Preto, maior produtora de etanol e pela refinaria de Paulínia, a maior do Brasil (CANAL BIOENERGIA, 2008).

Políticas de incentivos fiscais se tornaram pautas nas reuniões governamentais a fim de que todos os elos da cadeia produtiva sejam beneficiados e, se tornem mais competitivos. O Brasil possui um dos menores custos de produção de cana-de-açúcar do mundo, ficando atrás de países como Austrália, África do Sul e Tailândia que conseguem produzir açúcar a um menor custo (PEREIRA, 2011). Além disso, significativas possibilidades de aumento da área produtiva, e excelente experiência dos produtores garantam uma competitividade permanente. Entretanto, estudos apontam que o país sofrerá impactos significativos com as bruscas mudanças climáticas que acarretarão reduções na produção e nas áreas de plantio.

O etanol brasileiro conseguiu importantes vitórias no mercado internacional já que barreiras fiscais que perduravam por anos, caíram. Outros direcionadores do mercado brasileiro ainda estão fortemente presentes, como é o caso da taxa de câmbio em relação ao dólar americano, que impacta diretamente nos números das exportações e importações realizadas pela indústria brasileira.

Nos últimos anos, o volume de etanol importado tem aumentado devido: à falta de produto no mercado interno, à diferença de preços entre Brasil e os Estados Unidos da América (EUA), a quebra da safra 2011/ 2012, mudanças climáticas, dificuldades financeiras das empresas, e outros inúmeros fatores que direcionaram a indústria a realizar essas operações.



Tais fatores serão abordados ao longo do texto e, estão dispostos na Tabela 1, a seguir. Este cenário deve mudar, pois alguns especialistas apontam a queda das importações brasileiras de etanol, em cerca de 66%, na safra 2012/ 2013. Essa brusca redução pode ser atribuída à recuperação da produção nas principais regiões produtoras (REUTERS, 2012).

Tabela 1 – Exportações *versus* importações (2008 a 2011)

Ano	Exportações (bilhões de litros)	Importações (milhões de litros)
2008	5,07	0,47
2009	3,29	4,46
2010	1,89	74,59
2011	1,27	592,00

Fonte: MDIC e UNICA

Além do etanol combustível, o etanol grau químico que é fonte de matérias-primas para inúmeros produtos, também tem recebido grande atenção por parte de governos, empresas e pesquisadores, seja por motivos geopolíticos, ambientais ou econômicos, trazendo assim, novamente, a evidência da álcoolquímica. Tal evidência acarreta no aumento de pesquisas realizadas a fim de se obter etanol a partir de matérias-primas diferentes das já utilizadas, em escala industrial, sendo as de maior destaque as algas, os resíduos agroindustriais, os materiais lignocelulósicos e o sorgo sacarino. O conceito de biorrefinaria neste caso também se torna evidente.

O presente estudo analisa a indústria brasileira de etanol, a fim de identificar estágios tecnológicos de desenvolvimento do setor, desafios, carências, mercado, políticas de incentivo e, principalmente, tendências tecnológicas.

Outros países eventualmente serão citados com a mera finalidade de comparação. Para tal, será examinado o modelo atual a fim de constatar possibilidades de otimização e expansão através de: análise do retorno dos investimentos realizados em plantas antigas e novas; análise de sensibilidade do preço do produto; eficiência de equipamentos e outros. Os fatores atuais

que afetam as possibilidades de inovação serão apontados e algumas recomendações para gerenciá-los serão feitas.

## **I.1 Objetivos da Monografia**

### *I.1.1 Objetivo Geral*

Esta monografia tem como objetivo geral, verificar o panorama e a prospecção tecnológica da indústria brasileira de etanol, identificando e apontando as principais tendências do setor, por meio de: análises de patentes, artigos técnicos e científicos, livros, periódicos e meios de comunicação para leigos (jornais e revistas).

### *I.1.2 Objetivos Específicos*

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- a) mapear e analisar os aspectos positivos e contribuições da Indústria de Etanol para a economia brasileira;
- b) identificar as principais tendências de emprego das tecnologias para produção de etanol de segunda geração por meio de pesquisas em patentes e artigos científicos;
- c) mapear a situação brasileira atual - capacidade instalada, capacidade anual de produção, localização geográfica, investimentos, características dos processos, principais tecnologias;
- d) examinar o modelo atual a fim de constatar possibilidades de otimização e expansão através de análise do retorno dos investimentos realizados em plantas antigas e novas;
- e) identificar fatores atuais que afetem as possibilidades de inovação.

## **I.2 Estrutura da Monografia**

Esta dissertação está estruturada em dez capítulos, conforme descrito a seguir:

O Capítulo I descreve os objetivos geral e específicos da monografia, além da estruturação dos capítulos e a metodologia utilizada.

O Capítulo II descreve as principais definições e características do etanol, da cana-de-açúcar, do sorgo sacarino, dos resíduos agroindustriais, das biorrefinarias e dos principais processos de fermentação para obtenção de etanol. Além disso, um acompanhamento histórico do cenário mundial é realizado desde o início do século XX até os dias atuais. Este capítulo tem como principal objetivo o embasamento teórico primordial para a correta interpretação das ações políticas e tecnológicas tomadas ao longo deste período. Três fatores foram cruzados ao longo do tempo: crises e políticas internacionais; políticas nacionais; questões ambientais.

O Capítulo III evidencia a responsabilidade da indústria do etanol no Brasil, no setor energético mundial, principalmente nas questões relacionadas à diminuição da dependência dos combustíveis fósseis. As principais vantagens do uso da cana-de-açúcar em relação ao petróleo também são destacadas. As matérias-primas com possibilidades de produção de etanol, em escala industrial, e comparações dos balanços energéticos de diferentes matérias-primas também são disponibilizadas. A entrada dos veículos *flex fuel*, o impacto do consumo de etanol e gasolina, bem como seus preços também são abordados. Além disso, a política energética brasileira, números relacionados às exportações e importações do etanol e, as principais características mercadológicas da Indústria Brasileira de Etanol também são evidenciados.

O Capítulo IV analisa a expansão da cana-de-açúcar, na safra 2012/13, no Brasil, bem como os principais estados produtores, a produtividade e produção estimadas. Posteriormente, as principais regiões produtoras de etanol são identificadas, com destaque para a região sudeste que responde por cerca de 61%. O *market share* brasileiro é evidenciado através das distribuidoras com destaque para BR, Raízen e Ipiranga que respondem por cerca de 56% do mercado. O capítulo também aborda números relacionados às usinas produtoras de etanol, distribuidoras de combustíveis líquidos, revendedores e pontos de abastecimento. Além disso, as principais matérias-primas para produção de etanol, no Brasil e no mundo são ressaltadas. Os principais microrganismos e as condições favoráveis à sua reprodução são identificados e, todo o processo produtivo do etanol quando a fermentação é utilizada é apresentado.

O Capítulo V mostra as principais desafios e tendências do etanol no Brasil. Uma análise do etanol de 2ª geração é disponibilizada além dos impactos econômicos associados à

implantação das inovações em questão. Neste capítulo há uma preocupação em abordar os temas mais atuais e que estejam em maior evidência no cenário mundial. Uma comparação entre a demanda de combustíveis fósseis e o potencial do uso do resíduo agroindustrial é realizada através do estudo de dois cenários que ilustram o potencial da indústria de bioprodutos. Seus pontos positivos e os seus efeitos diretos são citados.

O Capítulo VI apresenta o panorama da produção científica e propriedade intelectual. Os resultados das buscas em bases de dados são apresentados e analisados. As bases utilizadas foram: Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), *US Patent Full/ Text and Image Database* (USPTO), *Derwent Innovations Index*, *Web of Science*.

O Capítulo VII disponibiliza as conclusões da pesquisa realizada e, o Capítulo VIII sugere temas que não puderam ser devidamente abordados no trabalho, mas relevantes ao tema. O Capítulo IX apresenta as referências bibliográficas utilizadas como fonte de informação para esta monografia e, o Capítulo X mostra os títulos e áreas das publicações científicas e patentes.

### **I.3 Metodologia**

Neste trabalho, utilizou-se pesquisa de natureza descritiva, isto é, as informações relevantes foram registradas, analisadas, classificadas e interpretadas através de técnicas de coleta de dados.

Foi realizado levantamento em bases de dados de referência nacionais e internacionais, tais como: Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), *US Patent Full/ Text and Image Database* (USPTO), *Derwent Innovations Index*, *Web of Science*. Esse levantamento teve como principal objetivo estabelecer um acompanhamento dos últimos 12 anos da indústria de etanol, bem como suas principais tendências e inovações, no Brasil e no mundo.

Para auxílio das técnicas, alguns softwares e tecnologias foram utilizados, conforme descrição a seguir:

- a) Mendeley Desktop: a versão 1.5.2 foi utilizada para catalogar as referências bibliográficas para auxílio da aplicação das normas da Associação Brasileira de Normas

Técnicas (ABNT), controle do que foi utilizado, armazenamento de alguns arquivos digitais e busca indexada de palavras-chave;

- b) Evernote Desktop: a versão 4.5.6.6884 foi utilizada com a finalidade de captura e armazenamento de material eletrônico seja no formato de imagem (.jpg) ou no formato textual. A busca indexada de palavras-chave também foi utilizada;
- c) Dropbox Desktop: a versão 1.4.7 foi utilizada para armazenamento de todo o material eletrônico tais como: figuras, tabelas, gráficos, teses, artigos e, relatórios. Também foi utilizado para o controle de disponibilização de versões entre o autor e seu orientador;
- d) *feeds* RSS: formato de dados disponível, na maioria dos websites atuais, para acompanhamento de novos artigos e conteúdos;
- e) Google Reader: utilizado como agregador de *feeds* RSS que permitiu leitura dos títulos das notícias e seus resumos em um único site viabilizando o controle das notícias que foram lidas, controle das novas publicações em diferentes sites e busca indexada;
- f) Sites de busca: utilizou-se termos gerais relacionados ao tema e através dos resultados obtidos foram selecionados os mais relevantes. Os critérios desta seleção foram: a confiabilidade da instituição, do autor, data de publicação, país de origem e área de conhecimento. Embora uma mesma publicação possa ser classificada em mais de uma área de conhecimento;

## II REFERENCIAL TEÓRICO

### II.1 Definições e características do etanol

A palavra álcool tem origem na língua árabe<sup>1</sup> e, sua derivação pode ser atribuída à palavra *alkohul* que significa “coisa sutil”, segundo a Revista Língua Portuguesa, [entre 2010 e 2012]) ou à palavra *al-Kohol* que era utilizada tanto para se referir a um líquido quanto a um pó muito fino, utilizado antigamente como ornamento pelas mulheres da época (BISTRICHI, C.A. *et al.*, 2008).

Também se pode definir álcool como:

Líquido incolor, volátil, com cheiro e sabor característicos, muito usado na medicina doméstica’ (Quim.) função oxigenada (isto é, composta de carbono, hidrogênio e oxigênio) que se caracteriza pela presença de um grupo hidroxila (OH) ligado diretamente a um átomo de carbono’ | *alcohol* XVII | Do lat. mod. *alcohol* de Paracelso (séc. XVI) deriv. do árabe vulg. *al -kohól* (Class. *al-kuhol*) ‘pó muito fino para tingir as sobrancelhas’, que se especializou para designar uma substância purificada, refinada (CUNHA, 1982).

Outra definição relevante é:

Composto orgânico que contém hidroxila ligada diretamente a um átomo de carbono saturado. Ou líquido incolor, volátil, com cheiro e sabor característicos, obtido por fermentação de substâncias açucaradas ou amiláceas, ou mediante processos sintéticos, utilizado com larga faixa de propósitos (AURÉLIO, 2004).

Recorrendo-se à outra definição, temos:

---

<sup>1</sup> Devido ao longo período de ocupação muçulmana em Portugal e Espanha, muitas palavras da língua portuguesa e espanhola têm origem árabe. É comum atribuir a origem de palavras portuguesas, começadas em “al” à origem árabe.

Obtido da fermentação e destilação de quaisquer matérias açucaradas ou amiláceas. Líquido incolor, volátil, inflamável, ou princípio intoxicante dos licores fermentados, tais como vinho, cerveja e aguardente, formado de açúcares, especialmente glicose, por fermentação e fabricado principalmente pela fermentação de materiais constituídos de carboidratos, tais como melão, vários cereais, batatas e pela hidratação de etileno (MICHAELIS, 2010).



Segundo Koogan e Houaiss (1999), álcool etílico é definido como: “[Fórmula  $C_2H_5OH$ ; ferve a 78 °C e se solidifica a -112 °C.] / P. ext. Qualquer bebida alcóolica. / Nome dos compostos químicos cujas propriedades são análogas às do álcool de vinho”.

Segundo a Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), etanol ou álcool etílico pode ser definido como:

Composto por dois átomos de carbono, cinco átomos de hidrogênio e uma hidroxila ( $C_2H_5OH$ ), é obtido no Brasil pelo processo de fermentação do caldo de cana-de-açúcar. Utilizado como combustível nos motores de Ciclo Otto, especificamente no setor de transporte rodoviário (ANP, 2011).

O etanol é conhecido como álcool etílico, álcool comum, álcool ordinário, álcool de fermentação, álcool de vinho, álcool vínico, álcool absoluto ou simplesmente álcool. As principais características do etanol estão descritas na Tabela 2, a seguir:

Tabela 2 – Principais características do etanol<sup>2</sup>

Fórmula Hill	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O
Fórmula Química	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH
Massa Molecular	46,07 g/mol
Número CAS	64-17-5
Solubilidade em Água	(20 °C) solúvel
Densidade	0,802 g/cm <sup>3</sup> (20 °C)
Valor de pH	(H <sub>2</sub> O, 20 °C) neutro
Ponto de Ebulição	75 - 78 °C (ensaio da preparação)
Ponto de Inflamação	12 °C
Hazard Statement	H225: líquido e vapor facilmente inflamáveis
Precautionary Statements	P210: manter afastado do calor/ faísca/ chama aberta/ superfícies quentes. Não fumar
Hazard Pictogram	
Hazard Symbol	

Fonte: Merck KGaA, Darmstadt, Alemanha

O etanol origina inúmeros produtos que são classificados de acordo com a quantidade de água, preparação e uso final. O etanol 99%, frequentemente referido como álcool absoluto é utilizado, extensivamente para preparações farmacêuticas e de tinturas, como solvente, como agente de conservação, como antisséptico e perfume. O etanol é um componente funcional importante para bebidas alcoólicas, que podem ser produzidas por fermentação de carboidratos. O caldo da fermentação por si só pode ser considerado como a bebida final, isto é, depois do processamento e do envelhecimento, no caso da cerveja e vinho, ou o etanol pode ser concentrado a partir do caldo da fermentação para produzir etanol de elevada concentração. Se o etanol for utilizado para propósitos diferentes do que para a bebida, ele é desnaturado pela adição de substâncias como metanol, piridina, formaldeído, ou sublimado. O etanol desnaturado é usado pela indústria como solvente, como matéria-prima para produção de químicos ou como combustível (KOSARIC *et al.*, 2011).

<sup>2</sup> Sistema Hill: é um sistema de escrita de fórmulas químicas onde o número de átomos de carbono da molécula é escrito primeiro, seguido do número de átomos de hidrogênio, e em seguida o número de todos os outros elementos químicos, em ordem alfabética.

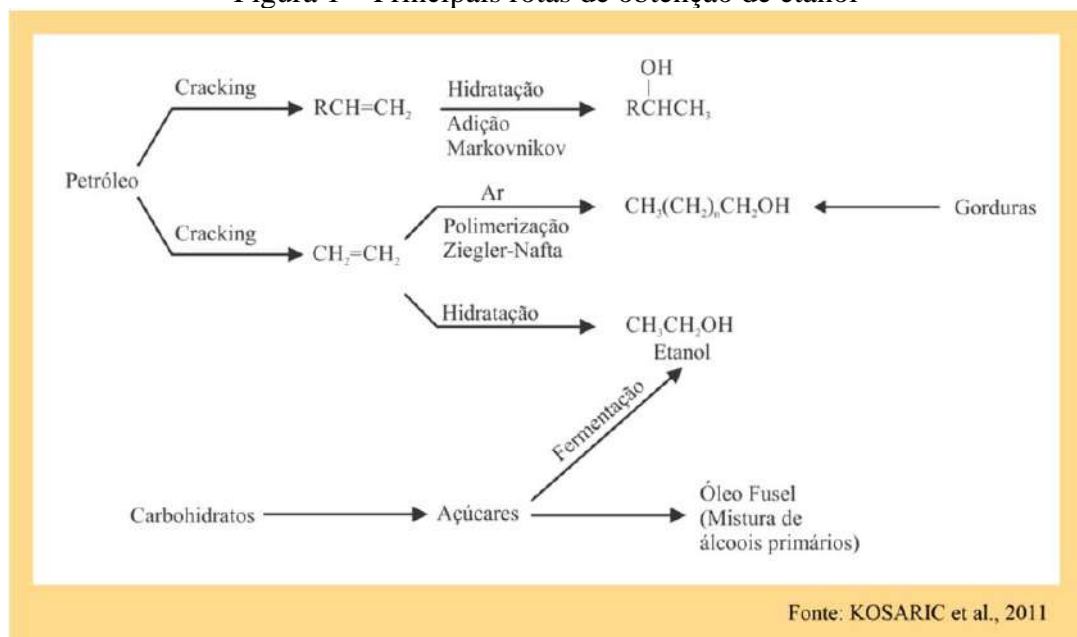


No escopo desta monografia, “etanol” será sempre referido como produto direto da cana-de-açúcar, a não ser que seja feita alguma menção contrária. O etanol pode ser produzido eficientemente não apenas pela fermentação de materiais orgânicos abundantes, mas também através da síntese química a partir do petróleo e de matérias-primas oriundas do carvão (metanol e gás de síntese). Dessa forma, torna-se comercialmente importante para a matriz energética mundial. Existem fundamentalmente três processos industriais de produção de etanol:

- fermentação (processo mais antigo);
- hidratação indireta do etileno;
- hidratação direta do etileno;

A Figura 1, a seguir, ilustra as principais rotas de obtenção de etanol:

Figura 1 – Principais rotas de obtenção de etanol



De maneira geral, as principais matérias-primas possíveis para a obtenção de etanol, a partir da fermentação são:

- açúcares: melão, cana-de-açúcar, beterraba;
- amidos: milho, trigo, aveia, arroz, mandioca, batata doce, ervilha, feijão;
- celuloses: madeira, resíduos industriais ou agrícolas.

O etanol comercializado, no Brasil, de maneira geral, pode ser classificado como:

- a) etanol anidro que é isento de água e, tem pelo menos 99,5% de pureza e, pode ser dividido em:
  - carburante: utilizado como aditivo na mistura com a gasolina,
  - industrial: utilizado na formulação de produtos de limpeza, indústria química e para a fabricação de tintas e vernizes,
- b) etanol hidratado que tem cerca de 94,5% de pureza e, pode ser dividido em:
  - carburante: utilizado diretamente no motor dos veículos,
  - padrão nacional: utilizado para uso doméstico e para fabricação de éter,
  - padrão Japão: mesma utilização do padrão nacional, entretanto, trata-se de um etanol de melhor qualidade, mais demandado para exportação,
  - neutro: é mais puro e de odor neutro, utilizado para consumo humano em indústrias de cosméticos, bebidas, produtos farmacêuticos entre outros,
- c) etanol desnaturado que é adicionado substâncias de odor e sabor desagradáveis, para que não seja utilizado na Indústria de bebidas;
- d) destilado alcoólico que obtido através da mistura de etanol neutro e água desmineralizada, obtendo-se um produto de graduação alcoólica menor que a do hidratado neutro para a fabricação de bebidas alcoólicas.

A ANP, através da Resolução nº 36, de 06/12/2005, definiu etanol hidratado combustível e etanol anidro combustível como:

- a) etanol hidratado combustível: Combustível líquido e incolor utilizado em motores de ignição por centelha (Ciclo Otto);
- b) etanol anidro combustível: Combustível destinado aos distribuidores para mistura com a gasolina A (especificada pela Portaria nº 309/01) para produção de gasolina C. O teor de etanol anidro na gasolina é fixada por Portaria do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), conforme Decreto nº 3.966/ 2001. O teor adicionado pode variar de 20 a 25%, em volume, segundo a Lei nº 10.696/ 2003 até 04/ 2010 e de 25% desde 05/ 2010. Resolução ANP nº 36, de 06/12/2005.

Aproximadamente 70% de todo o etanol produzido no mundo é utilizado como combustível. Observa-se um aumento da utilização do etanol como aditivo da gasolina, pois o

etanol serve de estimulador do octano para melhorar o desempenho dos veículos (COSAN, 2010).

## II.2 Matérias-primas para a obtenção de etanol

A seguir, as principais matérias-primas para obtenção de etanol serão abordadas a fim de que suas principais características sejam evidenciadas.

### II.2.1 Definições e características da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é uma gramínea e, segundo Aurélio (2004) pertence à família de plantas monocotiledôneas<sup>3</sup>, da ordem das glumifloras<sup>4</sup>, que abrange os vegetais vulgarmente conhecidos como *capins* e *bambus*. Seu caule, também chamado de colmo é bem característico devido aos nós bem salientes e, atinge de 2 a 5 m de altura. Ela é cultivada em mais de cem países sob condições climáticas tropicais, subtropicais e temperadas, mas é em sua essência uma cultura tropical. Seu rendimento é afetado pela radiação solar, pela umidade relativa e, principalmente pela temperatura. As principais fases de maturação são: precoce, média e a tardia.

A cana-de-açúcar pode ser definida como:

1.Bot. Planta da família das gramíneas (*Saccharum officinarum*), que pode atingir vários metros de altura. É originária da Ásia Meridional, sendo cultivada em todo o Brasil para obtenção de açúcar e fabricação de aguardente. Os colmos são espessos e repletos de suco açucarado, e as flores, mínimas, congregam-se em enormes pendões terminais, de coloração cinzento-prateada. [F. red.: cana3. Pl.: canas-de-açúcar.] (AURÉLIO, 2004).

---

<sup>3</sup> Plantas monocotiledôneas: classe de plantas angiospérmicas, caracterizadas pela existência de um só cotilédono no embrião. Entende-se por cotilédono a folha seminal ou embrionária, a primeira que surge quando da germinação da semente, e cuja função é nutrir a jovem planta nas primeiras fases. Os principais exemplos de plantas angiospérmicas são: a cana-de-açúcar, o milho, o arroz, a bananeira, etc.

<sup>4</sup> Glumiflora: ordem de vegetais monocotiledôneos, caracterizada pelas flores dotadas de glumas, hermafroditas, e pelos frutos secos e que não se abrem ao atingir a maturidade. Compreende a família das gramíneas e das ciperáceas. As glumas podem ser definidas como bráctea da espiguetas das gramíneas, por dentro da qual ficam as flores. Cada espiguetas possui duas glumas em oposição.

Outra definição relevante é:

Planta herbácea e cespitosa<sup>5</sup> (*Saccharum officinarum*) da fam. das gramíneas, nativa da Ásia e cultivada no Brasil, de folhas lineares, flores dispostas em partículas piramidais e cariopses ovoides, cujo colmo é espesso e repleto de suco açucarado, fornece forragem, açúcar, aguardente e álcool combustível; cana, cana-doce (KOOGAN/ HOAISS, 1999).

E, por fim, outra definição é: “planta gramínea, de colmo com os entrenós ocos e folhas evaginantes; gramínea originária da Índia e de que se extrai açúcar; cana doce (*Saccharum officinarum*)” (MICHAELIS, 2010).

As principais partes da planta são as raízes, o colmo ou talho, as folhas e as flores. A principal função das raízes é absorver os nutrientes. O açúcar encontra-se armazenado no colmo sendo este a parte mais importante da cana-de-açúcar, pois constitui o fruto da mesma. As folhas brotam do colmo e, estão dispostas de maneira alternada. A forma de cada flor é característica de cada espécie sendo esta uma forma de identificação.

A sua composição média é formada por água (69%), açúcares (11%), fibras (8%) e sólidos solúveis (12%). O elevado teor de água desta planta demonstra a importância da relação hídrica para a cultura. Os principais constituintes da cana-de-açúcar são os açúcares (sacarose, glicose e frutose), sais (ácidos inorgânicos e orgânicos) e proteínas (amido, gomas, ceras e graxas e corantes). Dentre os açúcares presentes, a sacarose é o principal, representando de 75 a 93% dos sólidos solúveis (USP, 2007).

A faixa de temperatura para seu desenvolvimento é de 20 a 35°C. Com isso, o seu cultivo torna-se predominante em regiões tropicais e subtropicais embora, os melhores resultados sejam obtidos nos climas tropicais. A luminosidade é um fator relevante para um ciclo produtivo, sua escassez faz com que os colmos brotem e perfilhem menos, tornando-se mais finos e menores. O solo é fator essencial para o sucesso desta cultura. As maiores produtividades são

---

<sup>5</sup> Cespitosa: cuja raiz emite vários caules; multicaule.

observadas em solos de aspecto argiloso, de boa fertilidade, com capacidade de retenção de água. A presença de sódio é indesejável e prejudicial ao cultivo (USP, 2011).

O cultivo da cana-de-açúcar é realizado através do sistema convencional em solos bem preparados com revolvimento que varia de 20 a 30 cm de profundidade. As mudas sadias necessariamente devem ser provenientes de canaviais de 12 a 18 meses. A utilização de fungicidas e inseticidas são procedimentos utilizados para prevenção. Os procedimentos preventivos tais como utilização de fungicidas e inseticidas são indicados. O plantio manual gera um consumo de cerca de quinze toneladas de muda por hectare, enquanto que o plantio mecanizado consome cerca de vinte toneladas por hectare.

Os principais produtos da cana-de-açúcar são o açúcar e o etanol. Seus subprodutos são numerosos e os que apresentam maior destaque são:

- a) vinhaça ou vinhoto: subproduto da destilação do vinho, utilizado como:
  - adubo natural,
  - alimento para animais,
  - produção de proteínas,
  - produção de metano,
- b) melaço ou mel final: subproduto utilizado na fabricação de etanol; como matéria-prima para a produção de proteínas, rações, levedura, antibióticos, etc.;
- c) bagaço: resíduo fibroso da extração do caldo pelas moendas é utilizado como combustível para caldeira, produção de celulose e na alimentação de gado;
- d) torta de filtro: resíduo da filtração mecânica do lodo quando o caldo é submetido ao tratamento de clarificação. É utilizada como fertilizante;
- e) óleo fusel: Óleo fúsel: constituído de álcoois (etanol e álcoois superiores), furfural, aldeídos, ácidos graxos etc. Apresenta composição em função da natureza e qualidade da matéria-prima, bem como da qualidade do etanol produzido. (ALCARDE, [S.d.]);
- f) palha: atualmente utilizada para co-geração de energia na planta e para obtenção de etanol de segunda geração;
- g) dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>): gás inodoro e incolor presente nas reações de combustão.

## II.2.2 Definições e características do sorgo sacarino

O sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) é uma gramínea tropical, nativa da África (Sudão e Etiópia). Tem como característica marcante a fácil adaptação em ambientes extremos, obtendo assim, condições favoráveis a seu desenvolvimento em relação à outras espécies comerciais. Os principais tipos de sorgo são: o granífero, o forrageiro e o sacarino. O tipo de maior interesse para produção de etanol é o sorgo sacarino (PURCINO, 2011).

O colmo do sorgo sacarino contém caldo semelhante ao da cana-de-açúcar. As características do colmo do sorgo sacarino dependem de vários fatores, dentre os quais, os mais relevantes são: o clima, o cultivo, a adubação e a maturação. Após atingir a floração, a gramínea passa a acumular açúcares até a sua maturação. As culturas do sorgo sacarino caracterizam-se por apresentar gramíneas altas, com colmos suculentos e doces, e podem servir de matéria-prima para produção de grãos e massa verde.

Universidades e institutos de pesquisa introduziram o sorgo sacarino, no Brasil, em torno de 1950. O estudo do sorgo sacarino, com fins de melhoramento, foi realizado em meados da década de 1970, com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Devido ao Plano Nacional de Agroenergia (PNA), a EMBRAPA tem desenvolvido cultivares de sorgo sacarino.

O cultivo do sorgo sacarino tem como objetivo reduzir as ociosidades das entressafras da cana-de-açúcar de forma a ampliar o período de moagem das usinas. As outras vantagens da utilização do sorgo sacarino como matéria-prima para obtenção de etanol são:

- a) ciclo de plantio de 120 dias;
- b) não existe a necessidade de se ampliar as áreas de plantio;
- c) não existe a necessidade de novos investimentos em maquinário.

Um hectare de sorgo sacarino rende, aproximadamente, cinquenta toneladas de massa verde total que equivale a cerca de dois mil e quinhentos litros de etanol. Em contrapartida,

um hectare de cana-de-açúcar equivale a cerca de seis mil litros de etanol (GLOBO RURAL, 2011).

### II.2.3 Definições e características dos resíduos agroindustriais

Os resíduos agroindustriais podem ser definidos como matérias-primas provenientes de sobras e resíduos de produtos naturais, como por exemplo, a palha e o sabugo do milho, o bagaço, as pontas e as palhas da cana-de-açúcar (BASTOS, n.d.).

A viabilidade econômica para produção de etanol a partir de resíduos agroindustriais esbarra no desafio da quebra das estruturas das fibras vegetais que têm de 40 a 50% de celulose, 20 a 40 % de hemicelulose e 10 a 20% de lignina. De maneira geral, podemos definir a celulose, e a hemicelulose como polímeros que constituem as fibras dos vegetais, isto é, formam a parede celular das células vegetais (CAMPOS, SILVA, & SILVA, 2011).

Isolada pela primeira vez em 1838, pelo químico francês Anselme Payen, a celulose pode ser definida como polímero de cadeia longa e, como principal característica apresenta a molécula de glicose como monômero. A celulose apresenta estrutura linear, fibrosa, úmida, e é classificada como polissacarídeo ou carboidrato (MELO, 2007).

A hemicelulose é uma mistura de polímeros de hexoses, ácidos urônicos e pentoses que se apresentam tanto em cadeias lineares quanto ramificadas de baixo peso molecular. A lignina é encontrada nas plantas e tem como função, proporcionar rigidez, impermeabilidade e resistência a ataques microbiológicos e mecânicos. Ela é formada pela polimerização de álcoois.

No presente estudo, o enfoque maior será dado à celulose originada do bagaço da cana-de-açúcar, por ser de interesse à matriz energética mundial. Para cada tonelada de cana-de-açúcar processada, 280 kg de bagaço de cana-de-açúcar seco são gerados (DE CAMPOS, DA SILVA, & DA SILVA, 2011). Embora boa parte desse bagaço seja destinada às atividades de cogeração de energia, existe uma quantidade significativa que é desperdiçada - cerca de 6 a 10 milhões de toneladas/ ano. Uma das alternativas para esse excedente é a produção de etanol através de processos de hidrólise e posterior fermentação.



### II.3 Definições e características das biorrefinarias

O termo biorrefinaria foi utilizado, nos EUA, pela primeira vez na *Farm Bill*, em 2002, com o significado de instalações, equipamentos e processos que convertem a biomassa em biocombustíveis e produtos químicos e, ainda podem gerar energia (BASTOS, 2007).

Com a possibilidade de produção de múltiplos produtos, a biorrefinaria pode obter vantagem da complexidade natural e diferenças nos componentes da biomassa e seus intermediários e, a partir disto, agregar mais valor ao produto final. O termo biorrefinaria evidenciou o termo bioetanol que alguns especialistas definem com o etanol produzido a partir de biomassa lignocelulósica.

Segundo José S. T. Monteiro biorrefinaria pode ser definida como: “unidade produtiva que integra processos e equipamentos capazes de produzir combustível, eletricidade e produtos químicos de elevado valor acrescentado, a partir de biomassa” (USI BIOREFINARIAS, [S.d.]).

Uma biorrefinaria é um meio para a coprodução eficiente de materiais, químicos, combustíveis de transporte, gases verdes, energia e/ ou calor de biomassa. O conceito de biorrefinaria é análogo ao conceito de refinaria de petróleo nos dias atuais, que produz múltiplos combustíveis e produtos a partir do petróleo (JONG; REE; TUIL, [S.d.]).

Outra definição relevante é explicitada a seguir.

Biorrefinaria é qualquer instalação que utilize biomassa e produza mais de um produto. E, distingue-se de uma simples planta que produza um único produto com base em matéria-prima renovável. Também pode ser compreendida como planta para uso de matérias-primas renováveis e de seus resíduos, de maneira integral e diversificada, para a produção, por rota química ou biotecnológica, de uma variedade de substâncias e energia, com a mínima geração de resíduos e emissões de gases poluidores. Uma biorrefinaria representa a substituição da petroquímica pela alcoolquímica (BASTOS, 2007).

Quando se fala em governos e economias comprometidos com a Química Verde, as biorrefinarias industriais são consideradas como as rotas mais promissoras. Biorrefinarias parciais já existem em algumas instalações agrícolas e de produtos florestais (fábricas de celulose, moagem de milho úmido, amido e refino de açúcar de beterraba). Entretanto, esses sistemas podem ser otimizados através de uma melhor utilização de resíduos, desta forma, agregando valor (JONG; REE; TUIL, [S.d.]).

Espera-se que as biorrefinarias utilizem estratégias de processamento complexos para produção eficiente de produtos diversificados e flexíveis que vão desde produtos convencionais, combustíveis, eletricidade, calor, até produtos químicos. Entretanto, para que as biorrefinarias se tornem economicamente viáveis, é importante que exista:

- a) tecnologias de fracionamento de alto rendimento;
- b) sistema de produção zero de resíduos (JONG; REE; TUIL, [S.d.]).

#### **II.4 Processos de fermentação para obtenção de etanol**

O principal nome que aparece quando se fala sobre fermentação é o de Louis Pasteur, cientista francês, do século XIX que realizou importantes descobertas na química e medicina. Intrigado com o fato do vinho e da cerveja azedarem, e atendendo a pedidos de alguns vinticultores e cervejeiros franceses iniciou estudo utilizando um microscópio. Identificou a bactéria responsável por essa ação e, desta maneira comprovou que os processos de fermentação e decomposição ocorrem devido à ação de microrganismos (HAWES, 1963).

Atualmente, os processos de fermentação têm sido amplamente utilizados com a finalidade de aumentar a matriz energética de vários países. O Brasil e os EUA lideram a obtenção de etanol através da fermentação (PONTES, 2012).

A identificação dos microrganismos e o pleno conhecimento das atividades e condições favoráveis ao meio são fundamentais para o controle dos processos de fermentação. Ao identificar tais características, é possível determinar os nutrientes necessários para o crescimento desses microrganismos e, junto com outros agentes, obter modificações que gerem outras substâncias químicas.

Embora os microrganismos sejam utilizados há muitos séculos na produção de bebidas e alimentos, somente após a criação do microscópio, por volta de 1590 é que se tornou possível a sua observação e, apenas no século XIX, a microbiologia foi reconhecida como ciência. A partir da Primeira Guerra Mundial, foram utilizados microrganismos através de processos fermentativos, em escala industrial para fabricação dos mais variados produtos (OLIVEIRA & MANTOVANI, 2009).

Os processos de fermentação, em condições controladas, envolvem conversões químicas. Algumas conversões químicas se tornam mais eficientes quando se utiliza a fermentação ao invés da síntese química. Os pré-requisitos básicos para um bom processo bioquímico são:

- a) facilidade na propagação do microrganismos;
- b) manutenção da uniformidade biológica;
- c) baixo custo com as matérias-primas necessárias aos substratos;
- d) rendimentos aceitáveis;
- e) período de fermentação rápido;
- f) facilidade na recuperação e purificação dos produtos.

Os principais fatores num processo de fermentação são: o pH, a agitação, a temperatura, o microrganismo, o meio de cultura, a esterilização do equipamento, o equipamento, operações de *downstream*<sup>6</sup> e a uniformidade do rendimento. Nem sempre o crescimento adicional da população de microrganismos é desejada; às vezes, para que se tenha um rendimento máximo o impedimento deste crescimento torna-se fundamental. Em síntese, pode-se dizer que em todo processo de fermentação industrial busca-se o maior rendimento, a menor quantidade de subprodutos e o menor custo possível.

Na atualidade, seria inimaginável a produção de etanol no Brasil se bioreatores em sistema descontínuo alimentado, ou mesmo contínuo com reciclo das células não fossem utilizados. Após um processo de fermentação alcoólica a operação unitária mais indicada para a recuperação do etanol é a destilação, embora ela tenha grande peso no custo de todo o processo devido à energia utilizada para sua execução.

---

<sup>6</sup> Operações de *downstream*: operações finais para a recuperação do produto.

As principais matérias-primas utilizadas com a finalidade de produção de etanol (PARAZZI, n.d.), podem ser divididas em três tipos, citados a seguir:

- a) amiláceas e feculentas:
  - amido: cereais,
  - féculas: raízes e tubérculos,
- b) celulósicas:
  - lenhosas: madeiras,
  - resíduos sulfíticos (lixívia),
  - bagaço de cana e palha,
- c) açucaradas
  - diretamente fermentescíveis: trioses, tetroses e hexoses,
  - não diretamente fermentescíveis: sacarose, maltose e rafinose,
  - mistas: melação.

São inúmeras as possibilidades de obtenção de etanol, isto é, várias culturas apresentam potencial técnico-econômico para produção de etanol, principalmente as que armazenam açúcares e amido. Entretanto, existem fatores que determinam a viabilidade do processo, dentre os quais, os principais são:

- a) balanço energético;
- b) custo de conversão da matéria-prima em etanol.

Atualmente, a cultura da cana-de-açúcar está se deparando com fortes aliados, quando se fala em produção de etanol, no Brasil. Muito se deve às inovações tecnológicas. As duas matérias-primas em evidência para tal são: o sorgo sacarino e a celulose.

A produção de etanol a partir de resíduos agroindustriais, isto é, lignocelulósicos utiliza basicamente dois tipos de processos:

- a) processos com o emprego de ácidos;
- b) processos com o emprego de enzimas.

Nos dois processos supracitados, ocorre a quebra das moléculas de celulose e, a produção de açúcares para posterior produção do etanol por fermentação convencional.

## II.5 Histórico da matriz energética mundial a partir do século XX

No início do século XX, no Brasil, o etanol já era utilizado para fins energéticos a partir da cana-de-açúcar. A mistura do etanol de cana-de-açúcar à gasolina, de maneira oficial, ocorreu pela primeira vez em 1931, através do Decreto 19.717. O Governo de Getúlio Dornelles Vargas tornou obrigatória a mistura de 5% de etanol na gasolina. Nesta época, a gasolina era importada.

Os principais fatores que motivaram a busca de combustíveis alternativos ao petróleo podem ser atribuídos às crises do petróleo ocorridas ao longo das décadas dos séculos XX e XXI (BIODIESELBR.COM, n.d.), às projeções atuais que apontam para a escassez do petróleo nas próximas décadas e, O crescimento do poder aquisitivo das classes sociais menos favorecidas que viabilizou um aumento do consumo, principalmente asiático.

Depois da Segunda Grande Guerra, a história do petróleo passou por cinco fases marcantes e bem definidas que causaram grande impacto no mercado de combustíveis mundial. A primeira delas ocorreu em 26 de julho de 1956, quando o governo egípcio, liderado por Gamal Abdel Nasser, nacionalizou o Canal de Suez que tinha suma importância na exportação de produtos do oriente para o ocidente. Na época, o Canal pertencia à empresa anglo-francesa *The Suez Maritime Canal Company*. (NASSER, 1956). Tal atitude gerou retaliações por parte de Inglaterra e França que apoiaram a invasão israelense à Península do Sinai em outubro do mesmo ano, assumindo assim o controle do Canal. A União Soviética ofereceu apoio militar ao Egito e em consequência deste feito, os EUA e a Organização das Nações Unidas (ONU) solicitaram que as tropas anglo-francesas fossem retiradas. As solicitações foram atendidas, e o resultado de todas essas ações foi o interrompimento do abastecimento de petróleo e, um aumento brusco do preço do mesmo (CEFETSP, [S.d.]).

Em 1960, os cinco principais produtores de petróleo (Venezuela, Irã, Iraque, Arábia Saudita e Kuwait) fundaram a Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP) e esta, representava mais de 80% das exportações mundiais de petróleo bruto<sup>7</sup>. (YERGIN,

---

<sup>7</sup> Posteriormente, mais países se associaram à organização (Catar, Indonésia, Líbia, Emirados Árabes, Argélia, Nigéria, Equador, Gabão e Angola). (OPEC, 2012).

1993). Em 1961, a OPEP requereu das chamadas “sete irmãs” (*Royal Dutch Shell, Mobil, Gulf, BP, Standard Oil e Standard Oil da Califórnia*) o seguinte:

- a) aumento da receita dos países-membros da OPEP;
- b) aumento gradativo do controle sobre a produção de petróleo;
- c) unificação das políticas de produção (OPEC, 2008).

A segunda fase ocorreu em 1973, quando a OPEP aumentou o preço do petróleo em mais de 300% em retaliação ao apoio prestado pelos EUA à Israel durante a Guerra do Yom Kippur. (PETROBRAS, [S.d.]). Visando evitar o aumento da dependência externa com as crises do petróleo, em 14 de novembro de 1975<sup>8</sup>, o Brasil, sob a liderança do presidente Ernesto Geisel, deu início ao Programa Nacional do Álcool (PROÁLCOOL) através do decreto nº 76.593. O decreto determinou que a produção de etanol a partir da cana-de-açúcar, mandioca ou de qualquer outro insumo teria que ser incentivada por meio da expansão da oferta de matérias-primas. Desta forma, o governo permitiu a criação das condições necessárias para que o Brasil entrasse em evidência no cenário mundial de energia. Pode-se considerar este ano como o mais significativo do etanol no Brasil (UDOP, 2000).

Na época, o setor açucareiro era significativo e as usinas tinham grande capacidade. O setor sucroalcooleiro foi alavancado pelas altas no preço do petróleo. O risco iminente de comprometimento do abastecimento interno fez com que surgisse uma significativa sinergia do governo com instituições de pesquisa, indústria automobilística, refinarias e usineiros para debate de características e metas para o PROÁLCOOL. Em 1977 foi estipulada a adição de 4,5% de etanol à gasolina (BARROSO, 2011).

A terceira fase ocorreu em 1979 devido à Revolução Iraniana com a deposição do Xá Reza Pahlevi gerando completa desorganização no setor de produção de petróleo no Irã e como consequência direta, os preços subiram mais de 1000%. Logo em seguida ocorreu a Guerra Irã-Iraque que gerou abrupta redução da produção desses dois principais produtores mundiais elevando, mais uma vez, de maneira significativa o preço do petróleo. Neste mesmo ano, o

---

<sup>8</sup> Há divergências com relação a este ano. Alguns órgãos reguladores consideram 1974 ao invés de 1975.

governo brasileiro estipulou novo percentual do etanol na gasolina, 15,0% (BARROSO, 2011).

Em outubro de 1988, em Toronto, Canadá, ocorreu a primeira conferência entre governantes e cientistas sobre as mudanças do clima global causadas pelos GEE. Tal conferência ficou conhecida como *Toronto Conference on the Changing Atmosphere* (HARE, 2009).

No final dos anos 80 e início dos anos 90, com a redução do preço do petróleo, aumento da cotação do açúcar e o fim dos subsídios às usinas e consumidores, ocorreu grande escassez de etanol hidratado nos postos de abastecimento. As vendas de veículos movidos a etanol, no país, caíram significativamente.

Em agosto de 1990, em Sundsvall, Suécia, os cientistas advertiram que para estabilização dos crescentes níveis de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), principal vilão do efeito estufa, seria necessário uma redução de mais de 60% das emissões neste mesmo ano. Este informe foi gerado pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) e, ficou conhecido como *IPCC First Assessment Report 1990* (HOUGHTON; JENKINS; EPHRAUMS, 1990).

A quarta fase ocorreu em janeiro de 1991 com o início da Guerra do Golfo. O Iraque, liderado por Saddam Hussein, invadiu o Kuwait o que fez com que os EUA, Inglaterra, França, Arábia Saudita, Egito, Síria e mais 23 países (Forças Aliadas) expulsassem os iraquianos. Entretanto, durante a retirada das tropas, alguns poços de petróleo kuaitianos foram incendiados acarretando uma crise ecológica e econômica (VEJA.COM, [S.d.]).

Em 2007, o relatório apresentado pelo IPCC, conhecido como *Fourth Assessment Report: Climate Change 2007* indicou que são inúmeras as mudanças nos continentes e oceanos como, por exemplo, a quantidade de precipitação, a salinidade oceânica, os padrões de ventos e eventos climáticos extremos<sup>9</sup> atribuídos ao aumento das concentrações dos GEE. O relatório também indicou provável risco de extinção de aproximadamente 20 a 30% das espécies animais e vegetais caso o aumento da temperatura média ultrapasse 2,5 °C. Em relação ao Brasil,

---

<sup>9</sup> Eventos climáticos extremos: secas, chuvas intensas, ondas de calor e intensidade de ciclones tropicais, antecipação da época de eventos das estações do ano.

o relatório indica que até meados do século XXI a floresta tropical será gradualmente substituída por savana no leste da Amazônia, enquanto que a vegetação semiárida poderá ser substituída por vegetação árida com grandes possibilidades de perdas de biodiversidade. Os impactos das mudanças climáticas bruscas, na agricultura brasileira, acarretará redução na produção e área plantada para várias culturas. Dentre as quais, a mais afetada será a cultura de soja com redução de até 60% na área favorável para cultivo (NOBRE, C. A. *et al.*, 2005).

Ao contrário de muitas conclusões que ficaram evidentes por décadas, o homem não é o único vilão responsável por grandes emissões de CO<sub>2</sub> na atmosfera, cerca de 22 bilhões de toneladas de CO<sub>2</sub>, por ano. Estima-se que anualmente, mais de 130 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> são liberadas na atmosfera a partir dos vulcões. As atividades antropológicas representam mais de 130 vezes a quantidade de CO<sub>2</sub> liberadas a partir das atividades vulcânicas, isto é, os seres humanos emitem em cerca de 70 horas a quantidade que os vulcões tipicamente liberam em um ano, de acordo com as melhores estimativas (MARSHALL, 2011).

A quinta fase ocorreu em 2008 quando os preços do petróleo subiram algo em torno de 100% entre janeiro e julho devido a movimentos especulativos, isto é, investimentos de *hedge funds* (fundos de alto risco). Houve uma migração dos investidores do setor imobiliário para o setor petrolífero. O aumento da demanda levou países produtores ao limite além da saturação da capacidade de refino e transporte. Em maio de 2007, o barril de petróleo custava no mercado internacional US\$ 60,00 e em meados de 2008 este valor chegou a cerca de US\$ 120,00 (CABRAL, 2008).

### **II.5.1 O caso brasileiro**

Em 1983, o número de carros movidos a etanol representava mais de 90% do total de vendas. Em 1985, o governo brasileiro estipulou novo percentual do etanol na gasolina, um novo recorde, 22%. Em 1989, o preço do petróleo teve significativa queda e o da gasolina se equiparou ao do etanol. Neste mesmo ano, o Brasil enfrentou alguns problemas marcantes do PROÁLCOOL dos quais o mais relevante foi o de corrosão nos motores levando a reformulações das especificações iniciais do etanol anidro e hidratado (BARROSO, 2011).



Cabe ressaltar que todas as metas estabelecidas para o PROÁLCOOL foram cumpridas e até mesmo extrapoladas. Entretanto, em 1986, devido ao declínio dos preços internacionais do petróleo, o Programa foi sendo questionado principalmente com relação ao alto custo; à expansão do plantio da cana-de-açúcar em detrimento, por vezes, dos espaços agrícolas ocupados por culturas alimentares; ao fato de o etanol não substituir o petróleo, mas apenas a gasolina. O legado do Programa trouxe como principais benefícios o equilíbrio das dívidas externas; geração de emprego; elevação da arrecadação fiscal; redução da poluição ambiental; redução da dependência do setor energético internacional e, principalmente, desenvolvimento tecnológico nos setores industrial e agrícola.

Nos anos 90, o etanol (anidro e hidratado) teve seus preços regulados pelo mercado. Em 1993, o governo brasileiro, através do artigo 9º. da lei 8.732/93, tornou obrigatório, para fim de revenda em postos de abastecimento, que a mistura de etanol anidro à gasolina fosse de 22%, podendo variar de 20 a 25% (BARROSO, 2011).

Em junho de 1992, no Rio de Janeiro, Brasil, ocorreu a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (CNUMAD)<sup>10</sup>, ou simplesmente ECO-92<sup>11</sup> que teve como principal objetivo encontrar meios para conciliar o desenvolvimento socioeconômico com a proteção e conservação dos ecossistemas da Terra. Dentro desse cenário, como consequência direta das ações iniciadas em Toronto, em 1988, e em Sundsvall, em 1990, houve a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança Climática (CQNUMC)<sup>12</sup> que é um tratado firmado por quase todos os países com o objetivo de estabilizar a concentração de GEE na atmosfera (BARROSO, 2011).

Os produtores de cana-de-açúcar e os industriais criaram um modelo de autogestão, de adoção voluntária, que levou em consideração o açúcar total recuperável (ATR)<sup>13</sup> como base para remunerar a matéria-prima, tomando como base países que já tinham adotado tal sistema.

---

<sup>10</sup> CNUMAD: em inglês é conhecida como UNCED - *United Nations Conference on Environment and Development*.

<sup>11</sup> ECO-92: Também conhecida como Cimeira da Terra, Cúpula da Terra ou Rio-92.

<sup>12</sup> CQNUMC: em inglês é conhecida como UNFCCC - *United Nations Framework Convention on Climate Change*.

<sup>13</sup> O ATR é expresso em quilogramas por tonelada de cana-de-açúcar e representa todos os açúcares presentes na matéria-prima. O clima influencia de forma direta o ATR. Durante a escassez de chuvas ele aumenta e diminui durante períodos constantes de chuva. Também pode ser definido com a quantidade de matéria solúvel que pode ser transformada em sacarose no caldo da cana-de-açúcar. (CONAB, 2008, 2012)

Como consequência do trabalho, surgiu o Conselho dos Produtores de Cana-de-açúcar, Açúcar e Álcool de São Paulo (CONSECANA), em 1999 (UNICA, 2009).

Através do Decreto nº 3.546, o então Vice-Presidente Marco Antônio de Oliveira Maciel criou, em 17 de julho de 2000, o Conselho Interministerial do Açúcar e do Álcool (CIMA) com o objetivo de deliberar sobre as políticas públicas para o setor sucroalcooleiro. O titular do MAPA é quem preside o CIMA, acompanhado pelos ministros do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC), do Ministério de Minas e Energia (MME) e do Ministério da Fazenda (MF) (MACIEL *et al.*, 2000).

Em 19 de dezembro de 2001, o governo de Fernando Henrique, através da Lei nº 10.336, criou as Contribuições de Intervenção no Domínio Econômico (CIDE). Essas contribuições são na verdade, tributos fiscais que incidem sobre a importação e a comercialização de combustíveis. O etanol e a gasolina estão incluídos nesses tributos (CARDOSO; MALAN; JORGE, 2001).

Em 2003, um grande marco para a indústria de etanol foi o lançamento dos veículos bicomustíveis, no Brasil, chamados de veículos *flex fuel*<sup>14</sup>, ou simplesmente veículos *flex*. (BARROSO, 2011). Cabe ressaltar que o primeiro veículo *flex* comercializado no mundo foi o Ford T, produzido no período que se estendeu de 1908 a 1927. O Ford T era equipado com um carburador<sup>15</sup> de injeção ajustável. Henry Ford tentou implementar a utilização de etanol na fabricação dos veículos Ford, entretanto, como o preço da gasolina estava baixo devido ao custo do petróleo na época, não obteve sucesso. Henry Ford dizia: - “o álcool etílico é o combustível do futuro” (NEW YORK TIMES, 2006).

Em 2005, o Brasil deu início ao Programa Nacional de Biodiesel através do Presidente Luís Inácio Lula da Silva. O Programa autoriza a utilização comercial do biodiesel em todo território nacional e estabelece os percentuais de mistura do biodiesel ao diesel de petróleo, a forma de utilização e o regime tributário (BARROSO, 2011).

---

<sup>14</sup> Veículo *flex fuel*: no Brasil é a denominação dos veículos equipados com motores de combustão interna que têm a capacidade de utilizar gasolina ou etanol hidratado independente da proporção ou mistura, no mesmo tanque, e queimados simultaneamente na câmara de combustão.

<sup>15</sup> Carburador: era responsável pela mistura as/combustível em motores de combustão interna. Caiu em desuso com o uso da injeção eletrônica, responsável pela redução dos índices de emissão de gases poluentes.

Para se produzir biodiesel, torna-se necessária a utilização de metanol ou etanol. Para o Brasil, a rota etílica é a mais indicada devido às terras aptas a novas áreas de plantio de cana-de-açúcar, embora o metanol apresente menor custo e viabilize maior.

O Programa estabelece diferenciação tributária por região de plantio, por oleaginosa<sup>16</sup> e por categoria de produção (agricultura familiar ou agronegócio). Como incentivo fiscal, o Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) foi isento para os participantes do Programa além do Selo Combustível Social, concedido pelo Ministério de Desenvolvimento Agrário (MDA) ao produtor industrial.

Em 14 de outubro de 2005, em Piracicaba/ SP, o então ministro da Agricultura, Roberto Rodrigues e o então presidente da EMBRAPA, Silvio Crestana, lançaram o PNA que vigorou entre 2006 e 2011 e, teve como principal objetivo a produção de biocombustíveis, como o etanol e biodiesel, florestas energéticas, biogás e aproveitamento de resíduos e dejetos (MELO, 2007).

Com o histórico brasileiro na matriz energética mundial, o Brasil desta vez sofreu menor impacto, pois, ao contrário das crises de 1973 e 1979, em 2008, o país exportava petróleo, a produção interna contribuiu para segurar parte da alta dos preços, o etanol pôde ser utilizado como combustível alternativo para a maior parte da frota nacional de veículos, além da queda do dólar que gerou conforto para as reservas brasileiras. Neste mesmo ano, o consumo de etanol se equiparou ao da gasolina.

Em 04 de março de 2009, a Petrobras Biocombustíveis passou a vender etanol no mercado brasileiro. Na época, o então presidente Alan Kardec indicou como pretensão da empresa garantir uma fatia de 20% no crescimento da demanda do etanol brasileiro nos próximos anos (G1, 2009).

---

<sup>16</sup> Oleaginosa: são vegetais que possuem óleos e gorduras que podem ser extraídos através de processos químicos.

Em 06 de março de 2009, o então ministro da Agricultura Reinhold Stephanes, anunciou a retomada da política de estoque<sup>17</sup> e, anunciou a liberação de R\$ 2,5 bilhões através do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) para estocagem de etanol (SALVADOR, 2009).

Em 01 de setembro de 2011, com a finalidade de diminuir o consumo de etanol anidro, no Brasil, o governo federal, através da Portaria 678, assinada pelo então ministro Mendes Ribeiro Filho determinou que o percentual obrigatório de etanol anidro adicionado à gasolina fosse de 20%, esta determinação entrou em vigência em 01 de outubro de 2011. Tal medida tende a provocar a queda de consumo de milhões de litros do combustível por mês e, as usinas poderão aumentar a produção de etanol hidratado, pois a oferta limitada deixou seus preços superiores aos de competitividade com a gasolina em quase todo o país. Atualmente, a competência legal para a definição do percentual de etanol anidro na gasolina é do CIMA. (AGROENERGIA, 2011).

Em 19 de setembro de 2011, a ANP, através de Medida Provisória (MP) passou a regular e fiscalizar oficialmente o setor de etanol desde a produção até a venda do produto. Dessa forma o etanol deixa de ser subproduto agrícola. Tal medida pretende acabar com a oscilação de preço do produto, no mercado brasileiro, principalmente no período entressafra. A ANP poderá exigir manutenção de estoques mínimos e, comprovação de capacidade de atendimento de mercado (BARROSO, 2011).

Depois de mais de 30 anos de protecionismo, em 23 de dezembro de 2011, o Congresso americano, pois fim à política de subsídios ao etanol americano, que expirou em 31 de dezembro do mesmo ano. Com tal medida, a tarifa de importação do etanol brasileiro e o crédito tributário também tiveram seus fins decretados, abrindo assim o mercado de etanol dos EUA (EICHENBERG, 2011).

Entre 13 e 22 de junho de 2012 ocorreu, no Rio de Janeiro, a Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável, a Rio+20. A Conferência é assim conhecida para

---

<sup>17</sup> Política de estoque: retirada de parte da produção do mercado no período de safra, e a venda do produto estocado para pagamento do empréstimo durante o período de menor oferta.

evidenciar os vinte anos da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (Rio-92). Na primeira semana de evento, não foi possível a definição da agenda do desenvolvimento sustentável para as próximas décadas. Isto é, o objetivo da Rio+20 é a renovação do compromisso político com o desenvolvimento sustentável e, seus dois principais temas:

- a) a economia verde no contexto do desenvolvimento sustentável e da erradicação da pobreza;
- b) a estrutura institucional para o desenvolvimento sustentável. (RIO20.GOV.BR, 2012)

O Brasil assumiu a liderança nas negociações da conferência, após o encerramento das reuniões dos comitês preparatórios. Os negociadores brasileiros apresentaram sugestões para definições das metas. O documento final da conferência resume-se a uma série de tópicos que visa o avanço para uma "economia verde", que freie a degradação do meio ambiente, combata a pobreza e reduza desigualdades.

### III A INDÚSTRIA DO ETANOL NO BRASIL – Aspectos mercadológicos

A indústria do etanol no Brasil evoluiu de maneira significativa e, tem grande responsabilidade nas diretrizes do setor energético mundial, principalmente quando o assunto é a diminuição da dependência do petróleo. As principais vantagens do uso da cana-de-açúcar em relação ao petróleo são:

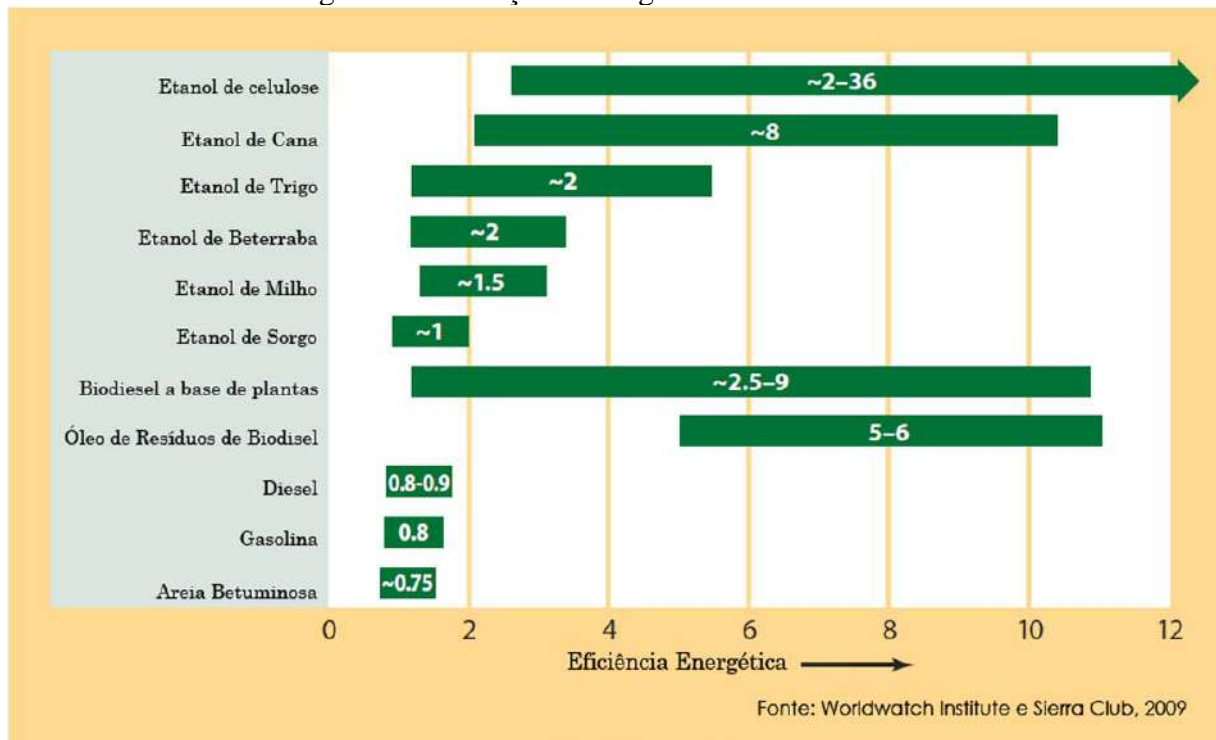
- a) fonte de energia renovável;
- b) o Brasil é um dos principais produtores;
- c) não há dependência direta das variações de preço no mercado internacional;
- d) menor emissão de poluentes;
- e) os subprodutos de sua matéria-prima são reaproveitados;
- f) é biodegradável;
- g) grandes possibilidades de aumento das exportações (XAVIER *et al.*, 2011).

No Brasil, o etanol é produzido em sua grande maioria, a partir da cana-de-açúcar, embora possa ser obtido a partir do milho, da beterraba, do sorgo sacarino, de resíduos agrícolas, do trigo, da mandioca, da cevada, da batata, do girassol, do eucalipto dentre outros. A opção brasileira pela produção a partir da cana-de-açúcar pode ser atribuída a alguns fatores de ordem política e econômica, ao preço do açúcar internacional que vinha caindo acentuadamente e, ao fato de que a cana-de-açúcar ser uma das matérias-primas, para produção de etanol, mais eficientes para fins comerciais. O etanol da cana-de-açúcar gera aproximadamente 8,0 unidades de energia renovável para cada unidade de energia fóssil consumida em sua produção, entretanto, o valor gerado pelo etanol de beterraba é de aproximadamente 2,0 e o valor do etanol de milho é de aproximadamente 1,5 (WORLD WATCH INSTITUTE *et al.*, 2009). A Figura 2 ilustra uma comparação do balanço de energia<sup>18</sup> das diferentes matérias-primas para obtenção de etanol. Vale ressaltar que a figura representa as melhores estimativas e não as médias.

---

<sup>18</sup> O balanço de energia é a comparação de quanto uma energia fóssil é utilizada para fazer um combustível contra o quanto de energia é gerado a partir desse mesmo combustível.

Figura 2 – Balanço de energia de biocombustíveis



O etanol já é obtido, em larga escala, a partir da cana-de-açúcar há mais de 30 anos, desta forma o Brasil se coloca em posição de grande destaque em relação à experiência na produção e na utilização do etanol, permitindo assim um pioneirismo no que se refere às inovações tecnológicas. Desde 2003, com o lançamento dos veículos *flex* até os dias atuais, mais de 128 milhões de toneladas de gás carbônico deixaram de ser lançados na atmosfera pela frota brasileira de veículos *flex*, de acordo com o Carbonômetro<sup>19</sup> (UNICA, 2012). Quando se pensa em créditos de carbono, se fossem estipulados nos próximos 20 anos plantio de árvores de forma a gerar uma equivalência, seriam necessárias mais de 916 milhões de árvores nativas.

O número de veículos *flex* vem aumentando significativamente desde o seu lançamento. De 2008 até os dias atuais não se registrou venda de nenhum veículo movido exclusivamente a etanol. Os veículos *flex* representam 46% de toda a frota brasileira de veículos leves. (BRASIL.GOV.BR, [S.d.]). E no ato da compra, uma grande maioria de novos proprietários opta por veículos *flex* ao invés de veículos movidos à gasolina ou a etanol. Os veículos *flex*

<sup>19</sup> Carbonômetro: ferramenta criada pela ÚNICA para medir a redução nas emissões de CO<sub>2</sub> por carros equipados com motor *flex* e que utilizam o etanol como combustível.

*fuel* e os movidos exclusivamente a etanol têm alíquotas do IPI menores em relação aos veículos movidos à gasolina, conforme determina o Decreto nº 4.317, de 31 de julho de 2002. (MDIC, [S.d.]). De acordo com a Figura 3, a seguir, observa-se que o melhor período de vendas para os carros movidos a etanol foi de 1979 até 1989. Durante este período o número de carros novos, movidos a etanol, foi muito superior ao de carros movidos à gasolina. No início da década de 90 o cenário começou a mudar significativamente, e os carros novos movidos à gasolina passaram a retomar sua posição no mercado, até que em 2006, os veículos *flex* assumiram seu posto e, desde então permanecem no topo das vendas, como mostra a Figura 4, a seguir. Em 2008 o consumo brasileiro de etanol superou o consumo de gasolina, pela primeira vez em 20 anos.

Figura 3 – Série histórica de veículos (1975 a 2010)

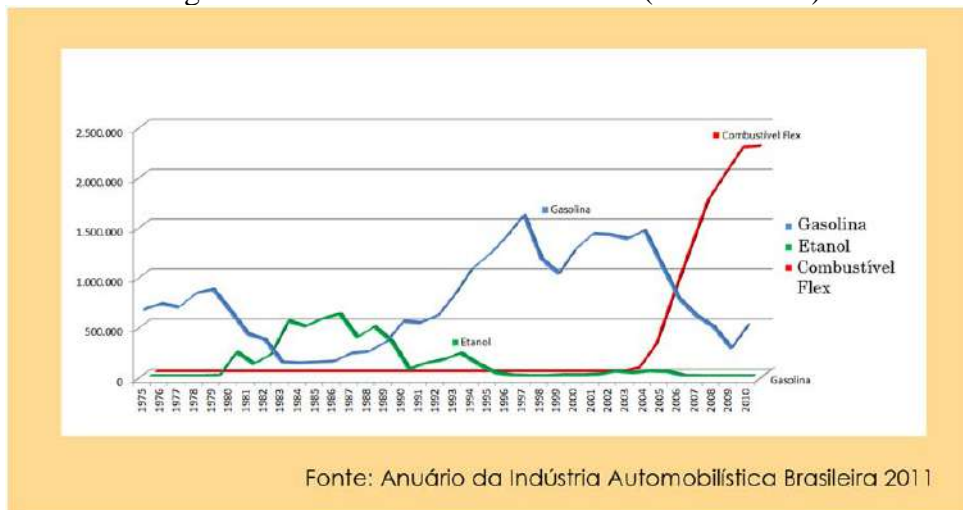
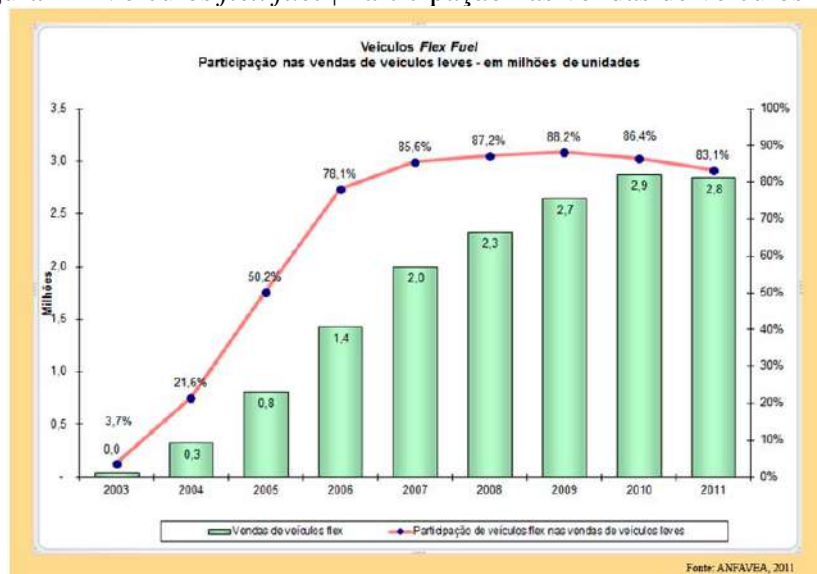


Figura 4 – Veículos *flex fuel* | Participação nas vendas de veículos leves





O consumo de etanol e da gasolina está diretamente associado ao preço do etanol perante o preço da gasolina. Em 2010 o preço relativo do etanol aumentou significativamente e, imediatamente as vendas de etanol diminuíram e as de gasolina aumentaram. O preço relativo é o critério mais relevante na hora do abastecimento embora, outros fatores como autonomia e impacto ambiental tenham influencia. Segundo os especialistas, a compra de etanol na bomba de combustível deixa de ser vantajosa quando o preço é superior a 70% do valor da gasolina. Um dos principais problemas atuais é que não houve renovação dos canaviais nos últimos anos e, o mercado nacional encontrará grande dificuldade para elevar a produção em curto prazo. Está faltando etanol no mercado e, a principal consequência é um preço final não competitivo (UDOP, 2012).

A política energética brasileira, nos últimos oito anos, está mantendo o preço da gasolina no mesmo patamar, o que faz com que o etanol tenha significativa desvantagem. Além disso, as CIDE tiveram a alíquota para gasolina reduzida, sendo que para o etanol as CIDE permanecem o mesmo valor de alíquota R\$ 37,20 por m<sup>3</sup>. O Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) também é cobrado, na maior parte dos estados. Em cada litro de gasolina, incidem R\$ 0,26 de Programa de Integração Social (PIS) e Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS), enquanto que para cada litro de etanol esse valor sobe para R\$ 0,46, cerca de 77% a mais quando se compara à gasolina. Atualmente, o Brasil é um dos únicos países do mundo que incentiva, em termos fiscais, o uso de combustível fóssil e sobretaxa o combustível verde (UDOP, 2012).

A variação do preço do etanol combustível, de uma região para outra, pode ser atribuída à alíquota do ICMS, que varia de 12 a 28%. Em São Paulo, Goiás, Bahia e Paraná, o ICMS sobre o etanol é o mais baixo, beneficiando diretamente os consumidores. Outros fatores relevantes para composição de preço é o dos custos com transporte e a margem das distribuidoras (RAÍZEN, [S.d.]).

De acordo com a Figura 5, a seguir, pode-se observar que a região sudeste é responsável por mais de 72% de todo o mercado nacional (ANP, 2011). As vendas de etanol hidratado por parte das distribuidoras sofreram queda considerável quando se compara o ano de 2012 com os anos de 2011 e 2010. Em contrapartida, analisando o mesmo período, observamos que

o etanol anidro, adicionado à gasolina, teve um aumento de bastante significativo, de acordo com Figura 6.

Figura 5 – Vendas de etanol | por região (2012)

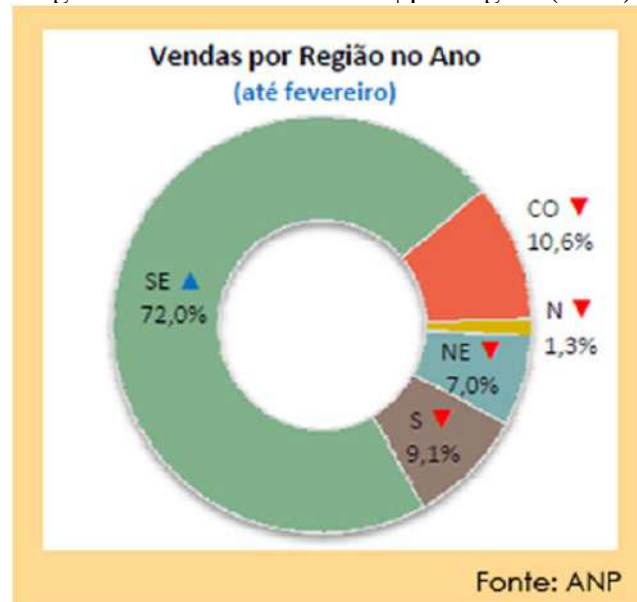
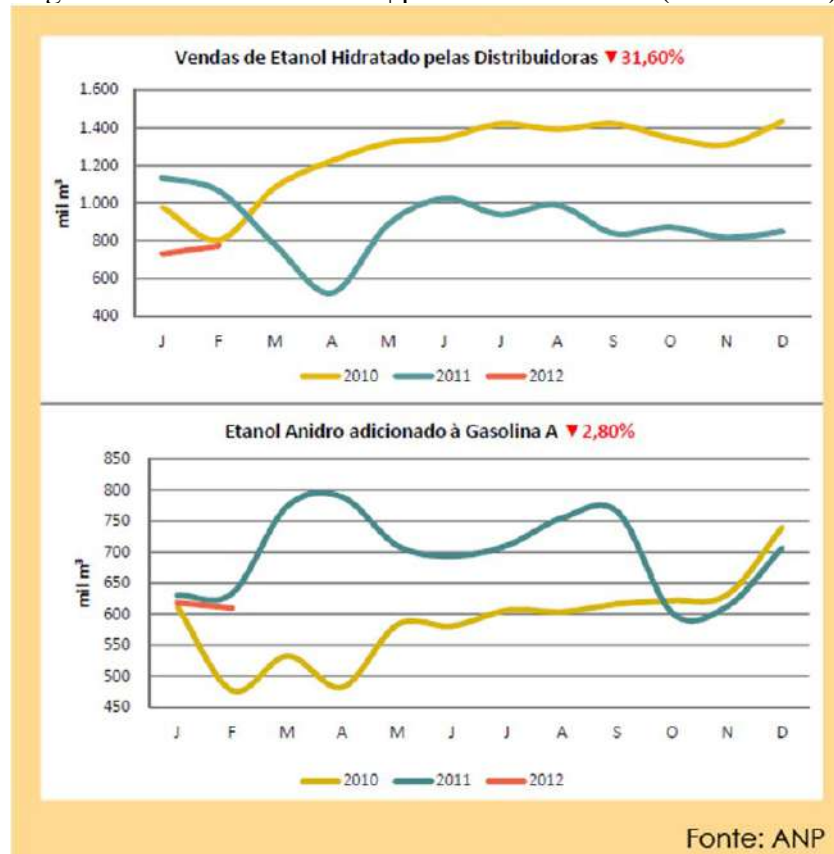


Figura 6 – Vendas de etanol | pelas distribuidoras (2010 a 2012)



### III.1 Exportações e importações

Há registros de exportação brasileira de etanol desde a década de 80, embora a quantidade, na época fosse pouco expressiva, cerca de um milhão de litros por ano. O tipo de etanol era o anidro, destinado à produção de tintas e conservantes. Somente em 2001, algumas empresas brasileiras passaram a exportar etanol de maneira significativa. As empresas exportadoras de maior destaque são: Copersucar, Raízen, Alcopar, e Crystalsev. O etanol exportado é geralmente o hidratado, as empresas brasileiras atuam em parceria com *traders*<sup>20</sup> dentre os mais significativos são: EDFMan, Alcoltra, Vertical, Dreyfus e Coimex (BNDES, 2003).

Os principais compradores do etanol brasileiro são: EUA, Países Baixos, Japão, Coreia da Sul, Jamaica, Índia e El Salvador. Considerando-se o período que se estende de 2001 até 2011, juntos estes países representam 50% de todo o montante de dólares que entrou no país com as exportações, isto é, cerca de 8,413 trilhões de dólares. O Brasil também tem histórico de exportação para os seguintes países: Trinidad e Tobago, Caribe, Reino Unido, Nigéria, México, Bélgica, Austrália, Finlândia, Suíça, Costa Rica, e Argentina. O etanol carburante tem como principal destino as grandes distribuidoras, como por exemplo: Chevron, Shell, BP, Philips Conoco. (MDIC, 2011). Já o etanol que é destinado para fins comerciais tem como principal destino a Indústria de Solventes e, as principais empresas são: Basf, Dow Corning, Celanese e Rhodia. Um dos principais produtos é o acetato de etila. O etanol também tem significativo destino à indústria de bebidas (BNDES, 2003).

A Tabela 4 e a Figura 7, a seguir mostram a série histórica (de 1990 até 2011) das exportações e importações de etanol no Brasil. Pode-se observar que o período compreendido entre 1990 e 2000 não foi significativo para exportações. Nos anos de 1990 e 1991 as importações representaram mais de 2500% se comparadas às exportações. Essa relação diminuiu ao longo dos anos e, em 2006 atingiu o seu menor valor, 0,02%. Desde 2010 essa tendência está mudando e, em 2011 essa relação atingiu 56,37%, isto é, desde 1997 que as importações não superavam as exportações (MDIC, 2011).

---

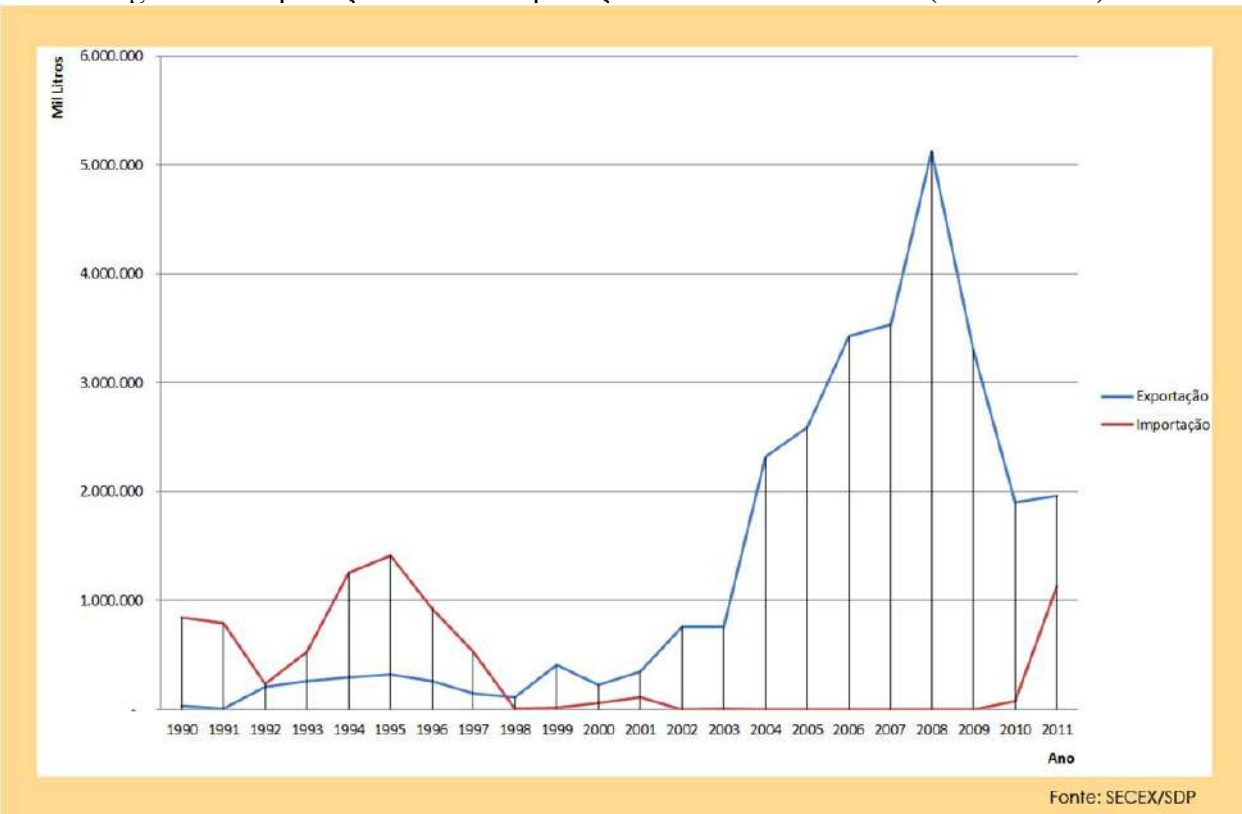
<sup>20</sup> *Trader*: em termos financeiros é quem compra e vende instrumentos financeiros como, por exemplo, *commodities* e derivativos.

Tabela 3 – Série histórica das exportações/ importações do etanol no Brasil

Anos	Exportação		Preço Médio	Importação		Preço Médio
	US\$ mil	(Mil) Litros	US\$/Litro	US\$ mil	(Mil) Litros	US\$/Litro
1990	7.407	37.215	0,20	205.535	847.441	0,24
1991	2.276	8.889	0,26	225.931	791.208	0,29
1992	55.911	208.396	0,27	60.131	238.866	0,25
1993	78.534	266.360	0,29	133.233	536.396	0,25
1994	88.294	293.238	0,30	380.128	1.254.621	0,30
1995	106.919	320.081	0,33	471.690	1.417.409	0,33
1996	95.420	261.308	0,37	327.387	926.681	0,35
1997	54.129	146.594	0,37	179.613	529.865	0,34
1998	35.520	117.926	0,30	4.284	12.474	0,34
1999	65.849	407.220	0,16	4.191	17.918	0,23
2000	34.786	227.258	0,15	11.932	63.958	0,19
2001	92.146	345.675	0,27	42.692	117.860	0,36
2002	169.153	759.016	0,22	868	1.729	0,50
2003	157.962	757.375	0,21	1.465	6.171	0,24
2004	497.740	2.321.410	0,21	317	376	0,84
2005	765.529	2.592.293	0,30	295	227	1,30
2006	1.604.730	3.428.862	0,47	249	96	2,59
2007	1.477.646	3.532.667	0,42	2.037	4.108	0,50
2008	2.390.110	5.123.993	0,47	773	467	1,66
2009	1.338.152	3.296.465	0,41	2.257	4.408	0,51
2010	1.014.261	1.900.165	0,53	39.104	75.569	0,52
2011	1.491.778	1.964.017	0,76	840.988	1.136.980	0,74

Fonte: SECEX/ SDP

Figura 7 – Exportações versus importações brasileiras de etanol (1990 a 2011)



Fonte: SECEX/SDP

Uma das maiores preocupações dos produtores brasileiros que exportam etanol eram as barreiras protecionistas que tornavam o preço final do produto pouco competitivo. Tal prática levou a discussão a níveis delicados, já que o Brasil cogitava sistematicamente levar o caso à Organização Mundial do Comércio (OMC). A União Europeia (UE), por exemplo, estabeleceu exigências ambientais para autorizar a entrada do biocombustível importado, criou um valor limite para as emissões de gases gerados na produção do produto e estabeleceu critérios em relação ao desmatamento das terras utilizadas para plantar a cana-de-açúcar. Já os EUA cobravam alíquotas mais altas para os importadores brasileiros de etanol. Em dezembro de 2010, o Senado dos Estados Unidos aprovou a permanência da tarifa de US\$ 0,54 por galão americano (cerca de 3,79 L) ao etanol importado.

O principal porto de saída do etanol brasileiro é o Porto de Santos, em São Paulo. Ele sozinho responde por cerca de 70% de todo etanol exportado. Vale ressaltar que o Porto de Paranaguá (PR) tem registrado significativo aumento nas exportações de etanol. Em 2011, as exportações de etanol atingiram o valor de 1,49 bilhões de dólares (MDIC, 2011), conforme a Tabela 3, a seguir:

Tabela 4 – Exportação brasileira de etanol por portos (valores em US\$ mil)

Portos	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Santos - SP	103.201	70.467	286.390	470.873	1.054.213	1.028.852	1.665.975	974.823	723.306	1.172.098
Porto de Paranaguá - PR	8.957	11.855	84.472	111.679	304.979	211.203	427.034	199.175	204.973	190.101
Maceió Porto - AL	26.375	37.772	84.162	105.943	96.436	117.623	155.891	100.553	69.298	106.293
João Pessoa - Cabedelo PB	18.351	27.822	30.601	23.918	16.505	24.582	25.789	10.786	3.553	5.708
Recife - Porto Suape - PE	1.185	1.289	6.458	33.581	76.667	66.843	54.075	26.046	2.784	5.229
Viória - Porto - ES	8.149	8.441	5.038	2.050	70	-	12.981	4.506	2.767	0
Foz do Iguaçu - Rod. PR	1	1	40	-	-	-	761	565	2.839	3.365
Rio de Janeiro - RJ	887	150	236	16.632	54.728	25.472	39.524	16.401	0	82
Uruguaiana - Rodovia							38	0	1.944	4.341
Outros	2.047	165	343	853	1.132	3.071	8.042	5.297	2.797	4.561
<b>TOTAL</b>	<b>169.153</b>	<b>157.962</b>	<b>497.740</b>	<b>765.529</b>	<b>1.604.730</b>	<b>1.477.646</b>	<b>2.390.110</b>	<b>1.338.152</b>	<b>1.014.261</b>	<b>1.491.778</b>

Fonte: SECEX/SDP

A viabilidade das importações se fundamenta na diferença de preços entre Brasil e EUA, entretanto cabe ressaltar que se os preços brasileiros baixarem entre a saída do navio dos EUA e chegada aos portos brasileiros, essa diferença diminui.

O ano de 2008 foi o mais significativo para as exportações brasileiras de etanol - 5,1 bilhões de litros de etanol foram exportados, isto é, cerca de 2,39 bilhões de dólares vieram para o Brasil. Desde 2001, as importações não eram significativas, entretanto em 2011 elas atingiram a marca histórica de 840,988 milhões de dólares, isto é, mais de 1,1 bilhões de litros de etanol. Esse volume incluiu diversos carregamentos que chegaram através do Nordeste do país e representam um aumento de mais de 1400% se comparado ao mesmo período de 2010. A importação pode ser atribuída à crescente demanda em meio à quebra da safra de cana-de-açúcar na região centro-sul do país e, aos preços do etanol estarem mais elevados no mercado interno. A maior parte desse etanol tem como origem os EUA, cerca de 96,7% de todo etanol importado (MDIC, 2011).

Desde a crise financeira de 2008, vem ocorrendo aquisições, incorporações e fusões de empresas de açúcar e etanol a fim de consolidarem marcas mais vultuosas no mercado e como alternativa à falta de crédito que se estabeleceu. É esperado que essas operações se mantenham nos próximos anos e ditem novos modelos de atuação. Os negócios mais significativos nos últimos anos foram a *joint venture* da Shell e Cosan, denominada Raízen, a união da ETH Bioenergia com a Brenco, a compra do Grupo Moema pela Bunge, a compra de mais de 50% do Grupo Equipav pela *Shree Renuka Sugars* (SRSL), a PETROBRAS pagou 84 milhões de dólares por 40,4% de participação na Total Agroindústria Canavieira, a Louis Dreyfus adquiriu a Santa Elisa Vale, dentre outros (FOLHA DE SÃO PAULO, 2012).

As consolidações são consideradas movimentos normais e aguardados, é um estágio bem delineado do amadurecimento da indústria. Por se tratarem de grandes concentrações no mercado, essas ações são sempre monitoradas a fim de evitar o monopólio.

O pesquisador Mairun J. A. Pinto (2011) realizou um mapeamento sobre os investimentos no setor Sucroenergético, desde 2000, e contou com entrevistas com especialistas nacionais e internacionais do setor, com análises da evolução dos processos de transferência dos controles acionários, perfil dos investidores, motivações que levaram aos investimentos, dentre outros e, identificou três ciclos de significativas entradas de investimentos internacionais na indústria brasileira, citados a seguir:

- a) entre 2000 e 2001: a principal característica deste período foi a desregulamentação do setor e emergências das exportações brasileiras de açúcar. Quatro empresas de origem francesa entraram no mercado: *Louis Dreyfus Commodities*; *Sucden*; *Union DAS/Tereos* e *Béghin-Say*;
- b) entre 2006 e 2008: com a crescente procura por etanol no mercado internacional, diversos investimentos diretos foram realizados. O grupo espanhol Abengoa Bioenergia entrou no mercado brasileiro. Entretanto, esse momento foi interrompido pela crise de 2008;
- c) entre 2009 e 2012: três grandes companhias chegaram ao mercado brasileiro: *Shree Renuka*, de origem indiana; *Glencor*, de origem Suíça e a *Royal Dutch Shell* de origem anglo-holandesa (VALOR ECONÔMICO, 2012).

A constatação dos investimentos fica evidenciada quando se analisa a capacidade de moagem das usinas controladas por capitais estrangeiros, que partiram de 7% em 2008 para 32% em 2011 (AGÊNCIA USP, 2011).

Após quatro anos da compra de duas usinas de açúcar e etanol, da Dedini Agro, por valores superiores a US\$ 600 milhões, o grupo espanhol Abengoa Bioenergia, em 28 de fevereiro de 2012, optou por colocar à venda os ativos da mesma devido aos resultados abaixo do esperado. Não há registro de intenção de empresas estrangeiras que tenham optado pelo resgate de investimentos no setor sucroalcooleiro no país. O prejuízo estimado na safra 2011/2012 chega a cerca de R\$ 50,4 milhões. O mercado indica um desinteresse crescente, de empresas estrangeiras, por novas aquisições no Brasil, neste momento (UDOP, 2012).

Atualmente, o Brasil tem cerca de 430 unidades produtoras de açúcar e etanol, distribuídas entre 180 grupos empresarias, que juntas representam uma capacidade instalada de cerca de 600 milhões de toneladas de cana-de-açúcar que pode gerar até 25 bilhões de litros de etanol e cerca de 28 milhões de toneladas de açúcar. São Paulo, que responde por cerca de 60% da produção brasileira de etanol anidro e hidratado, recebe a maior parte dos investimentos no setor, embora Minas Gerais apresente significativo crescimento e Tocantins, Maranhão e Piauí apresentem grande potencial. O fator mais relevante para investimentos ainda é o aumento da capacidade e, não a eficiência energética, pois esta exige grandes custos na aquisição de tecnologias mais eficientes (NAVARRO, 2011).

O cenário do etanol brasileiro mudou significativamente com o fim do protecionismo norte americano, no final de dezembro de 2011. Além disso, o presidente Barack Obama, visando atender às determinações do programa de redução da poluição, determinou o aumento progressivo da mistura de etanol na gasolina norte americana. Atento a isto, o governo federal, através da medida provisória nº 554, pretende conceder mais de R\$ 500 milhões por ano, em subsídios, para que os produtores brasileiros formem estoques maiores. Outra ação do governo é com relação a linhas de crédito especiais, através do BNDES que incentivará a produção de cana-de-açúcar. Tais medidas do governo brasileiro têm como principal objetivo contornar a falta de etanol para exportação e, principalmente, a falta de etanol no mercado interno, que fez com que o Brasil comprasse etanol dos EUA para que não faltasse o produto nas bombas dos postos brasileiros. Embora, se tenha usinas trabalhando, em média, com 30% de capacidade ociosa. O consumo doméstico com projeção até 2012 está em torno de 1,9 bilhão de litros/ mês (UDOP, 2012).

Os investimentos do governo têm como principal objetivo atender a capacidade ociosa das usinas, embora especialistas afirmem que tal medida não será suficiente para atrair novos investimentos. Acredita-se que a única maneira de alcançar novamente a competitividade é através de uma política de desoneração do etanol hidratado.

A produção brasileira de etanol tem apresentado redução específica, e o principal motivo é que o preço do produto não está oferecendo a rentabilidade adequada aos produtores que por muitas vezes preferem a produção de açúcar a produção de etanol. Integrantes da Indústria de Etanol brasileira acham que a solução do futuro do etanol está na redução dos impostos (PIS, COFINS e ICMS), na renovação dos canaviais e nos financiamentos de novas tecnologias para etanol de 2ª geração.

Especialistas analisam esse momento com cautela já que o fim do protecionismo norte americano tende a pressionar os preços do etanol brasileiro, pois, com os incentivos aos produtores para exportar, num momento em que a produção de etanol está diminuindo, os preços do etanol e, também da gasolina tendem a aumentar. A perspectiva é que o volume de etanol exportado para os EUA aumente em torno de dez vezes, na próxima década, podendo atingir o valor de cerca de 15 bilhões de litros (EICHENBERG; RODRIGUES; BATISTA, 2011).



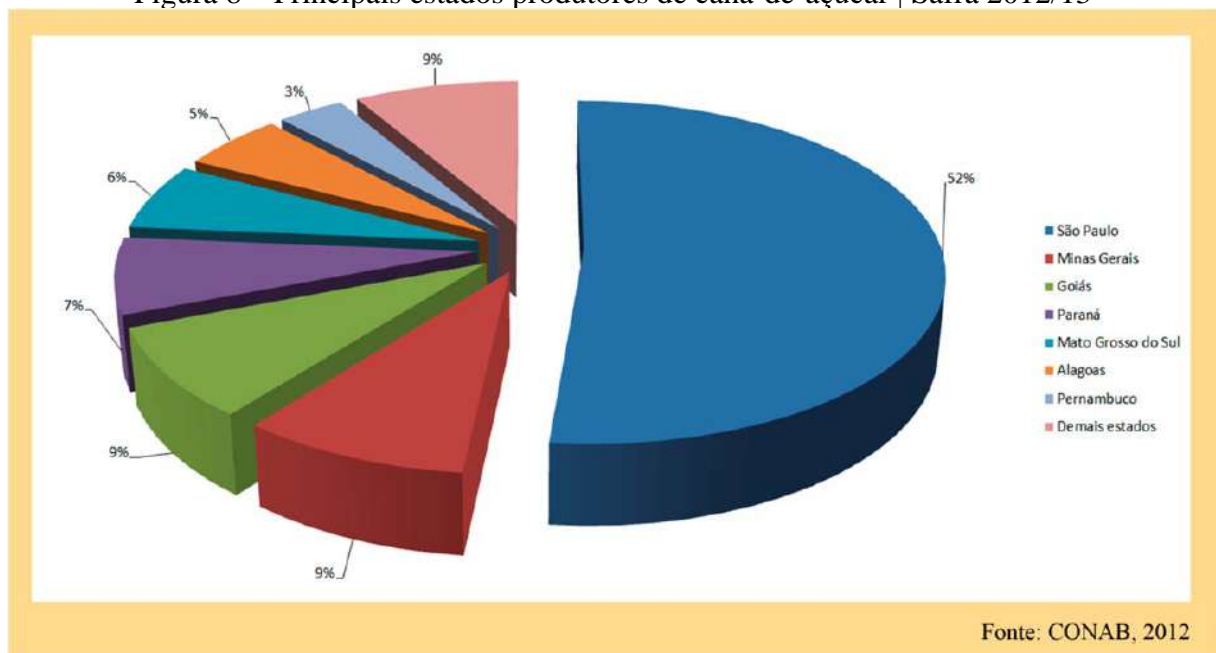
## IV A CADEIA PRODUTIVA DO ETANOL NO BRASIL

### IV.1 Principais atores – produtores e consumidores

A cana-de-açúcar está em expansão no Brasil. As áreas produtoras dos Estados de Mato Grosso do sul, Goiás, Espírito Santo, Bahia, Mato Grosso e Minas Gerais são os que mais se destacam e, têm um progressivo aumento. O aumento varia de 3,5 a 12,5%. Entretanto, não existe nenhum indício de novas unidades para a safra 2012/13 (CONAB, 2012).

Para a safra de 2012/13 o setor sucroalcooleiro, no Brasil, terá uma área cultivada com cana-de-açúcar estimada em 8.567,2 mil hectares, distribuídos em todos os estados produtores, que são apresentados na Figura 8, a seguir:

Figura 8 – Principais estados produtores de cana-de-açúcar | Safra 2012/13

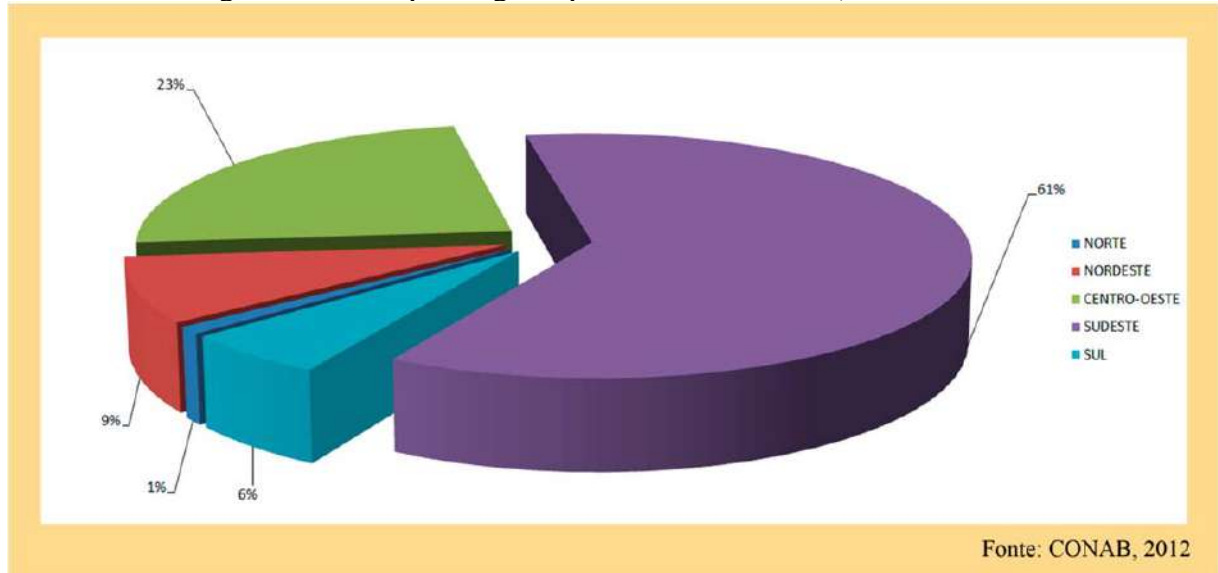


A produtividade de cana-de-açúcar, no Brasil, está estimada em cerca de 70.289,0 kg/ha, o que significa um ganho de 2,9% se comparada à da safra passada, que foi de 68.289,0. Entretanto, ainda está abaixo da produtividade obtida na safra de 2010/11 que atingiu o valor de 77.4460,0 kg/ha (CONAB, 2012).

A produção de etanol estimada para a safra de 2012/13 está em 23,96 bilhões de litros que serão obtidos a partir de 302,2 milhões de toneladas de cana-de-açúcar. Cerca de 4,81% a

mais que a produção passada. A partir disso, espera-se um aumento de 7,44% na produção de etanol anidro e, 3,08% na produção de etanol hidratado (CONAB, 2012). As principais regiões produtoras estão dispostas na Figura 9, a seguir:

Figura 9 – Principais regiões produtoras de etanol | Safra 2012/13



No que se refere à distribuição, o *market share* brasileiro é evidenciado a seguir com as distribuidoras, com destaque para BR, Raízen e Ipiranga que respondem por cerca de 56% do mercado. Os principais atores encontram-se descritos na Tabela 5, a seguir:

Tabela 5 – *Market share* da distribuição do etanol | Principais atores

Distribuidora	Participação
BR	21,10%
Raízen	18,60%
Ipiranga	16,40%
Quality	3,70%
Magnum	3,70%
Eldorado	3,40%
Gpetro	2,30%
Euro Petróleo	2,20%
Petroluna	2,20%
Manguinhos	2,00%
Outras	24,40%

Fonte: ANP, 2012

Em relação aos agentes de abastecimento, tem-se quatrocentos e sete usinas de etanol, duzentos e trinta e duas distribuidoras de combustíveis líquidos, além de 376 Transportador-

Revendedor-Retalhista (TRR)<sup>21</sup>, 38.830 revendedores varejistas de combustíveis líquidos sendo que destes 16.658 são de bandeira branca e, por fim 8.005 pontos de abastecimento (instalações), conforme mostra a Figura 10, a seguir:

Figura 10 – Principais atores | Safra 2012/13



## IV.2 Tecnologias de produção de etanol no Brasil e no mundo

No Brasil, a principal tecnologia de produção de etanol é fundamentada na utilização da cana-de-açúcar como matéria-prima. No mundo, ao contrário do Brasil, as principais matérias-primas utilizadas são: o milho (EUA e China), a beterraba (União Europeia), mandioca e trigo (em alguns outros países).

A base da tecnologia da produção de etanol está fundamentada na produção de bebidas alcoólicas. E, o mesmo microrganismo utilizado há séculos atrás ainda é utilizado nos dias atuais, a levedura *Saccharomyces cerevisiae*. De maneira geral, os microrganismos podem ser obtidos através das seguintes maneiras:

<sup>21</sup> A atividade de Transportador-Revendedor-Retalhista compreende a aquisição de combustíveis a granel, de óleo lubrificante acabado e de graxa envasados; armazenamento; transporte; revenda a retalho, controle de qualidade e assistência técnica ao consumidor quando da comercialização de combustíveis. (ANP, 2007)

- a) isolamento a partir de recursos naturais;
- b) aquisição de coleções de culturas;
- c) aquisição de mutantes naturais;
- d) aquisição de mutantes induzidos por métodos convencionais;
- e) aquisição de microrganismos recombinantes por técnicas de engenharia genética.

Atualmente, técnicas de engenharia genética, também conhecidas como tecnologia de DNA<sup>22</sup> recombinante têm sido utilizadas com a finalidade de se obter melhorias celulares, isto é, células mais produtivas, células produtoras de substâncias que normalmente não produziram dentre outras. A tecnologia de DNA recombinante consiste basicamente na inserção de fragmentos de DNA de uma célula em outra, através de vetores e, com essa técnica mais dirigida, espera-se obter melhorias genéticas mais significativas do que normalmente se obtém com o uso de técnicas mais simples.

Vários microrganismos podem acumular etanol no meio de cultura, a partir da glicose. Entretanto, a *Saccharomyces cerevisiae* é a que permite um rendimento em torno de 90% já que as células têm que proliferar.

Com a finalidade de permitir a fermentação alcoólica de matérias-primas amiláceas, através da técnica de DNA recombinante, utilizaram-se vetores adequados para introduzir a codificação para a síntese de glicoamilase de *Aspergillus* em células de *Saccharomyces cerevisiae* (SCHMIDELL *et al.*, 2001).

Embora outras técnicas possam ser utilizadas, quando se utiliza a cana-de-açúcar para a produção de etanol, geralmente respeitam-se as seguintes etapas:

- a) pesagem;
- b) análise química<sup>23</sup>;
- c) mesa alimentadora;
- d) moagem da cana-de-açúcar;
- e) tratamento do caldo;

---

<sup>22</sup> DNA: sigla de origem inglesa originária de *deoxyribonucleic acid*.

<sup>23</sup> Análise química: é realizada para a determinação da quantidade de açúcar contida na cana-de-açúcar.

- f) fermentação do caldo;
- g) destilação do mosto fermentado.

### IV.3 Fermentação

Quando se pensa em fermentação, a primeira ideia a se associar é a utilização de leveduras. As leveduras são microrganismos unicelulares, possuem apenas um núcleo e, podem se reproduzir por brotamento, divisão celular ou ambos. Elas foram utilizadas por séculos para produção de bebidas alcoólicas. E, são os microrganismos mais comuns na produção industrial de etanol. As que são mais amplamente utilizadas com elevada produtividade são:

- a) *Saccharomyces cerevisiae*;
- b) *S. uvarum* (formalmente *S. carlsbergensis*)
- c) *Candida utilis*
- d) *Saccharomyces anamensis*
- e) *Schizosaccharomyces pombe*
- f) *Kluyveromyces*<sup>24</sup>. (KOSARIC *et al.*, 2011)

A produção de etanol a partir de leveduras é caracterizada por elevada seletividade, baixo acúmulo de subprodutos, elevada produção de etanol, elevada taxa de fermentação, boa tolerância com relação à elevação das concentrações de etanol e substrato, e baixo pH. Viabilidade e estabilidade genética das leveduras, nas condições do processo, são desejadas. Entretanto, encontrar um ponto ótimo no qual todas essas características sejam atendidas, é difícil. Algumas leveduras conseguem preencher boa parte das exigências.

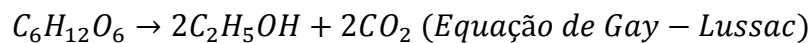
Os microrganismos, em questão, requerem os seguintes nutrientes para seus desenvolvimentos: carbono, nitrogênio, fósforo, enxofre, oxigênio, hidrogênio, quantidades menores de potássio, magnésio, cálcio, traços minerais e alguns fatores de crescimento orgânico (vitaminas, ácidos nucleicos e aminoácidos).

---

<sup>24</sup> A espécie *Kluyveromyces* fermenta a lactose e, são boas produtoras de etanol a partir de soro de leite.

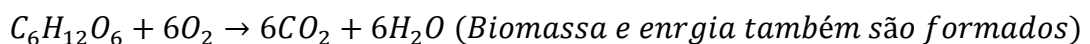
As leveduras são capazes de metabolizar vários compostos de carbono. Reações químicas metabólicas se dividem em aeróbicas e anaeróbicas. A conversão da glicose pela *Saccharomyces cerevisiae* sob as duas condições é discutida, a seguir.

Sob condições anaeróbicas, a levedura produz etanol, de acordo com a equação de Gay-Lussac<sup>25</sup>, que não leva em consideração a produção de mais células e de subprodutos:



Para cada grama de glicose consumida, 0,51 gramas de etanol podem ser produzidas. Entretanto, parte do carbono é usado para a geração da biomassa de modo que o rendimento real, tomando-se o etanol como base, é algo em torno de 90 a 95% do rendimento teórico. Além do etanol, dióxido de carbono, biomassa e dois mols de trifosfato de adenosina são produzidos por mol de glicose. Uma concentração mais baixa que a da produção teórica é causada pela formação de pequenas quantidades de subprodutos, como por exemplo, o glicerol e succinato. Se o carbono não for utilizado para a produção da biomassa e subprodutos, a produção de etanol aumentará de 1,6 a 2,7%, respectivamente. Na produção de etanol, óleo fusel é parcialmente formado a partir dos carbonos e ocorre uma desaminação e subsequente conversão em determinados tipos de aminoácidos (KOSARIC *et al.*, 2011).

Sob condições aeróbicas, a glicose é convertida em dióxido de carbono e água de acordo com a equação:



Quando se fala em fermentação, as principais variáveis do processo são:

- a) efeitos da concentração do substrato: a concentração do substrato tem efeito significativo na produção de etanol. O aumento de açúcar tem vantagem porque direciona o produto para uma alta concentração de etanol e subsequente redução dos

---

<sup>25</sup> Louis Joseph Gay-Lussac (1778-1850): nascido na França foi químico e físico com grandes contribuições à ciência mundial. (USP/IQ, [S.d.])

custos de destilação. Entretanto, uma concentração maior que 14% acarreta o início de plasmólise das células da levedura;

- b) efeitos da concentração do oxigênio: embora a biomassa seja produzida sob condições anaeróbicas e, estas condições favoreçam a produção de etanol, o oxigênio é indicado como essencial para a boa fermentação. O oxigênio é especialmente necessário quando a fermentação é realizada em batelada com níveis elevados de açúcar, que requerem o crescimento prolongado das leveduras, ou em processos contínuos, porque a levedura é incapaz de crescer durante mais de cinco gerações sob condições anaeróbicas;
- c) efeitos do etanol: o etanol é tóxico para as leveduras. O efeito geral e, mais evidente ocorre na membrana da célula da levedura. O etanol inibe tanto o crescimento quanto a produção de etanol de uma maneira incompreensível.
- d) efeitos do pH: usualmente, a fermentação na indústria do etanol, realizada por leveduras tem uma faixa de pH que vai de 4 a 6, dependendo da capacidade de tamponamento do meio. Se o valor do pH for menor do que cinco, durante a fermentação, o crescimento das leveduras é severamente reprimido. O pH indicado para o crescimento da maior parte das *Saccharomyces cerevisiae* varia de 2,4 a 8,6 com um valor ótimo de 4,5;
- e) efeitos da temperatura: a maior parte das leveduras cervejeiras tem um crescimento máximo em temperaturas em torno de 39 a 40 °C. A máxima temperatura aceitável para qualquer espécie de levedura, que foi noticiada foi 49 °C para a *Kluyveromyces marxianus*. Em processos batelada, a temperatura ótima para a completa utilização da glicose e alta concentração final de etanol é, em geral, ligeiramente mais baixa que a temperatura ótima de crescimento (KOSARIC *et al.*, 2011).

Quando polissacarídeos (celulose e amido) são utilizados pra a produção de etanol, eles primeiramente devem ser hidrolisados através de diferentes métodos físico-químicos ou enzimáticos, para posteriormente serem convertidos em etanol. Uma combinação desses dois métodos seria vantajosa. Isto é possível através do processo de sacarificação e fermentação simultânea (SSF)<sup>26</sup> utilizando culturas de microrganismos capazes de hidrolisar polissacarídeos e converter açúcar em etanol ou através da fermentação direta de polissacarídeos através

---

<sup>26</sup> SSF: sigla originada do nome em inglês *simultaneous saccharification and fermentation process*.

de monoculturas para produção de etanol. A utilização de leveduras termófilas e enzimas celulósicas ao processo SSF é vantajoso, cabe ressaltar que a faixa de temperatura ótima para a hidrólise da celulose vai de 45 a 50 °C (KOSARIC *et al.*, 2011).

O processo SSF também pode ser utilizado para matérias-primas como a mandioca e o milho. Enzimas da *Aspergillus niger*, *A. awamori*, e *Rhizopus sp.* são utilizadas para a hidrólise de amido e fermentação simultânea de leveduras. O rendimento do etanol nestes processos varia de 82 a 99% do valor teórico (KOSARIC *et al.*, 2011).

Os tipos mais comuns de reatores utilizados para produção de etanol utilizando-se a fermentação são: reatores batelada e reatores com escoamento contínuo. Para aumento da produtividade foi projetado o reator batelada com reciclo. Para reciclagem das células de levedura, utiliza-se o processo *Melle-Boinot*.

O processo *Melle-Boinot* pode ser simplificarmente definido como a recuperação das células de leveduras que têm como origem uma fermentação anterior e que são separadas do vinho por centrifugação. Este processo acarreta um maior rendimento em etanol porque viabiliza fermentações mais rápidas através de volumes menores de dornas, de nutrientes e consequentemente menores custos de instalação. Além disso, diminuem os riscos de contaminação, a pureza das fermentações é garantida, e a destilaria pode ser parada, sem prejuízos acentuados para o fermento (FILHO *et al.*, 2005).

Quando se utiliza um reator com escoamento contínuo este pode ser projetado para ter ou não reciclo de células. Seu processo elimina a maior parte das desvantagens inerentes ao processo batelada. O tempo-morto relacionado à alimentação em lotes é eliminado e em geral a produtividade aumenta. Os reatores são menores que os necessários aos processos batelada. Para processos contínuos simples, utilizados para a produção de etanol, a principal característica é a adição contínua de alimentação (incluindo oxigênio) ao reator no qual um estado estacionário desejável tenha sido estabelecido. A fim de se aumentar a produtividade, dois ou mais reatores podem ser conectados em série ou, além disso, reatores com escoamento contínuo e reciclo de células também podem ser utilizados. Neste caso, a biomassa que deixa o reator é centrifugada e recirculada para o mesmo (KOSARIC *et al.*, 2011).



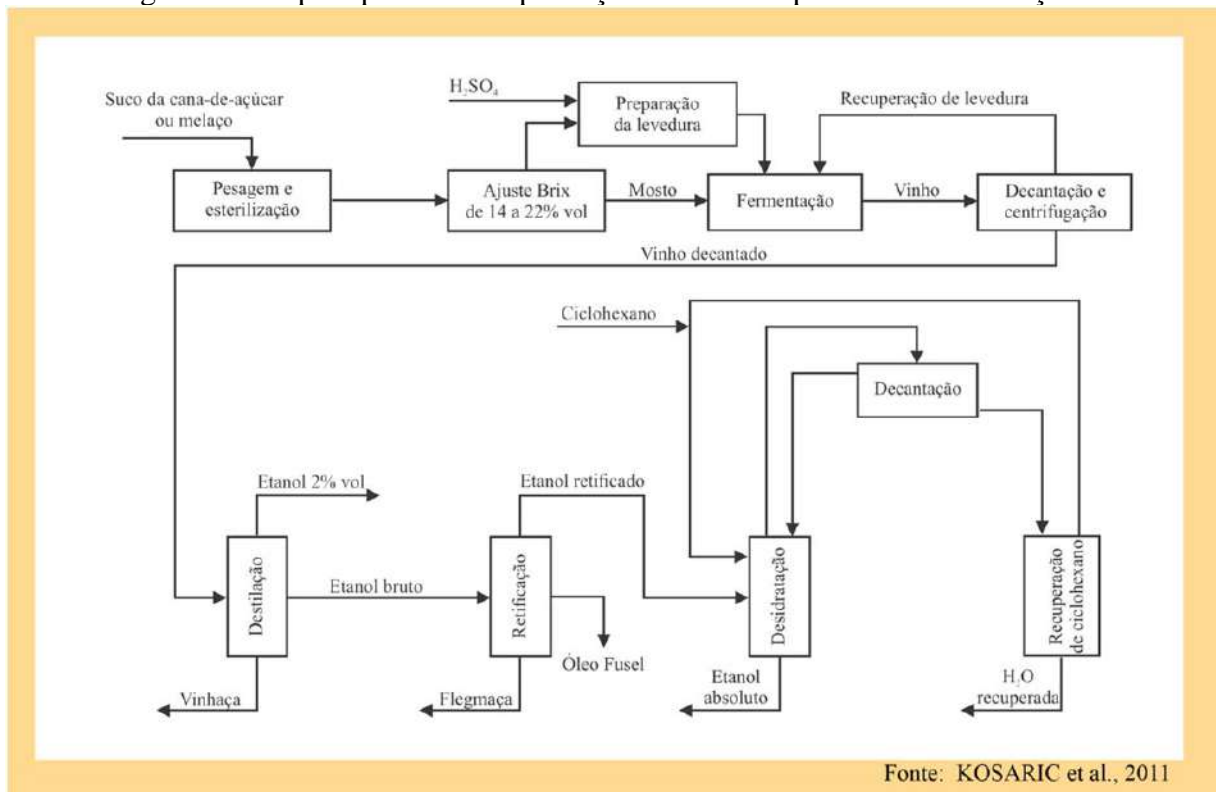
As matérias-primas para produção de etanol através da fermentação pode ser classificadas como:

- a) carboidratos fermentáveis: utilizados sem conversão;
- b) amidos e outros materiais orgânicos: convertidos antes de serem utilizados.

A cana-de-açúcar encontra-se no grupo dos carboidratos fermentáveis. Sendo assim, os carboidratos da cana-de-açúcar podem ser utilizados diretamente através de seu sumo ou através do melaço. Para cada tonelada de cana-de-açúcar, 160 kg de sólidos fermentáveis são obtidos. O caldo da cana-de-açúcar é obtido através da moagem da cana-de-açúcar seguido da extração do açúcar com água, e da clarificação através de hidróxido de cálcio e ácido sulfúrico para a precipitação dos materiais inorgânicos. Como produto, obtém-se um fluido esverdeado, mais viscoso que a água, e contém cerca de 12 a 13% de sacarose. Quando ocorre a cristalização da sacarose, obtém-se o melaço como resíduo. Este contém sacarose, frutose e glicose, e ao contrário do caldo da cana-de-açúcar, o melaço é estável, no que se refere ao armazenamento. O melaço é comumente diluído antes de sua fermentação (KOSARIC *et al.*, 2011).

A Figura 11, a seguir, apresenta um típico processo de produção de etanol, utilizando-se a cana-de-açúcar com matéria-prima e reatores batelada. O processo *Melle-Boinot* é o processo mais utilizado nas destilarias brasileiras.

Figura 11 – Típico processo de produção de etanol a partir da cana-de-açúcar



Cabe ressaltar que com relação à etapa de desidratação do etanol o benzeno foi largamente utilizado com agente de separação. Entretanto, seu uso foi proibido pelos órgãos brasileiros de saúde pública por causa de seu potencial cancerígeno. Ainda é comum, encontrar representações do processo produtivo que indiquem o benzeno como agente de separação. Neste caso, os seus substitutos mais indicados são: o ciclohexano e o etileno glicol (LOPES, 2012).

Para obtenção do etanol anidro, os processos mais comuns são:

- destilação azeotrópica com ciclohexano;
- destilação extrativa com mono etileno glicol (MEG);
- desidratação com peneira molecular.

A seguir, a Tabela 6 compara através de valores, os diferentes processos supracitados.

Tabela 6 – Comparação entre os principais processos para obtenção de etanol anidro

Processo	Destilação Azeotrópica	Peneira Molecular	Destilação com MEG Modelos BSM
Vapor (Kg/L)	1,5 a 1,6 <sup>(1)</sup>	0,55 (0,80) <sup>(2)</sup>	0,45 a 0,70 <sup>(3)</sup>
Água (L/L)	65	55	30 a 38
Desidrat. (L/m <sup>3</sup> )	0,5 a 0,6	10 anos/ carga	Máx. 0,15
Reciclo de etanol	0 a 25 %	Mín. 15%	Máx. 2,0%
Energia elétrica (Kwh/m <sup>3</sup> )	Mín. 11,1	Mín. 9,51	Máx. 7,22
Custo do investimento (%)	100	200 a 250	140 a 160

<sup>(1)</sup> Vapor de baixa pressão. Fonte: LOPES, 2012

<sup>(2)</sup> 0,05 Kg/L de vapor de alta pressão.

<sup>(3)</sup> 0,35 a 0,45 Kg/L de vapor de alta pressão.

### IV.3.1 Recuperação e purificação

Ao longo das últimas décadas foram projetadas várias colunas de destilação com a finalidade de aumentar as eficiências de recuperação de diferentes produtos. O objetivo foi praticamente atingindo e, atualmente a qualidade do etanol e a quantidade recuperada aumentaram, diminuindo o consumo de energia.

Para uma elevada eficiência de recuperação em plantas que utilizam a fermentação, e produzem etanol com alto grau de pureza, os seguintes tópicos são requeridos:

- a) destilação extrativa: resulta em um elevado grau de pureza se comparado à purificação convencional em colunas, tanto investimentos quanto custos operacionais são reduzidos;
- b) pressão em cascata e bombas de calor: permitem substancial recuperação e reciclagem do calor, minimizando a perda de calor e consumo de vapor;
- c) sistemas de controle avançado: garantem estabilidade nas condições operacionais;
- d) requerimentos de energia: é indicado utilização de sistemas que façam uso de co-geração de energia (KOSARIC *et al.*, 2011).

Para a produção de etanol anidro, o sistema azeotrópico água/ etanol obtido a partir da fermentação deve ser desidratado. Devido a fatores econômicos muitos produtores ainda dependem da destilação azeotrópica para a desidratação do etanol. Em destilarias de menor por-

te utilizam técnicas de adsorção para desidratação do etanol azeotrópico. A pervaporação através de membranas ou desidratação através de agentes sólidos podem reduzir custos com energia e equipamentos (KOSARIC *et al.*, 2011).

Vários graus de pureza do etanol estão disponíveis no mercado, dentre os quais, os mais relevantes para o escopo do presente trabalho são:

- a) etanol (99,7 a 99,8% vol.): conhecido como etanol absoluto ou anidro e, se refere ao tipo mais puro de etanol disponível que pode ser utilizado na indústria de alimentos e farmacêutica. Também é comumente utilizado na manufatura de aerossóis ou comumente misturado à gasolina (70 a 80% vol.) para ser utilizado como combustível em motores;
- b) etanol (96,0 a 96,5% vol.): é comumente utilizado para fins farmacêuticos, preparação de cosméticos e consumo humano;
- c) etanol (96,0% vol.): é utilizado como solvente e combustível para propósitos industriais e técnicos e, também pode ser convertido em uma variedade de produtos;
- d) etanol (88,0% vol.): etanol industrial desnaturado, geralmente utilizado para propósitos de aquecimento ou iluminação;
- e) etanol combustível: é obtido através de fermentação e é utilizado como anidro ou hidratado ou como uma mistura dos dois para aumentar a octanagem da gasolina (KOSARIC *et al.*, 2011).

## V INOVAÇÕES E TENDÊNCIAS TECNOLÓGICAS NA INDÚSTRIA DO ETANOL

O etanol é um importante candidato na substituição do óleo diesel. Seus principais benefícios se encontram na combustão e na redução dos poluentes. Entretanto, cuidados com a evaporação, riscos de incêndio e danificação dos materiais devem ser tomados ininterruptamente. O ponto de fulgor do etanol é mais baixo do que o do diesel e a sua inflamabilidade é mais alta, com isso o risco de explosão é maior no caso de um vazamento. Uma alta volatilidade é interessante, pois o rendimento da combustão é aumentado (VEJA *et al*, 2012).

Em 10 de janeiro de 2012, um gerador movido a etanol entrou em operação, na Estação Comandante Ferraz, estação de pesquisa brasileira, na Antártida, com a finalidade de iluminar a estação. Como o etanol tem um ponto de congelamento extremamente baixo, torna-se ele o mais indicado para operar a baixas temperaturas ao invés da gasolina ou do óleo diesel. Além disso, ao se comparar turbinas elétricas convencionais com turbinas movidas a etanol, observa-se uma redução de cerca de 68% nas emissões de GEE. Tais turbinas podem servir como alternativas sustentáveis para países que tenham como meta reduzir a emissão de GEE. Com isso, o Brasil se tornou o primeiro país a gerar energia limpa a partir de biocombustível na Antártida.

Infelizmente, em 25 de fevereiro, ocorreu um incêndio de grandes proporções na Estação Comandante Ferraz iniciado na sala de geradores que destruiu cerca de 70% de todas as instalações do local, causando a morte de dois militares. Com isso, novas fontes de energia estão sendo repensadas. Existe previsão de reconstrução da base em dois anos, segundo o então ministro da Defesa, Celso Amorim. De acordo com a Marinha do Brasil, as chances do incêndio ter sido provocado pelos geradores movidos a etanol são remotas (ÚNICA *et al*, 2012).

Cientistas da empresa BAL (Laboratório de Bioarquitetura), divulgaram estudo no qual utilizaram algas marrons para produção de etanol de terceira geração. Quatro tanques de algas foram utilizados, em Puerto Montt, no Chile, sob a ação de bactérias *Escherichia Coli* geneticamente alteradas. Desta forma, as bactérias foram capazes de extrair o alginato<sup>27</sup>, além

---

<sup>27</sup> Alginato: é o principal componente dos açúcares das algas.

de fermentá-lo para dar origem ao etanol. A principal vantagem apontada é o fato de que as algas presentes nos oceanos não concorreriam com áreas reservadas ao plantio de alimento (FOLHA ONLINE, 2012).

A partir de projeto desenvolvido desde 2004 várias pesquisas foram realizadas a respeito do sorgo sacarino, uma variedade da planta utilizada na alimentação animal, e constatou-se que este tem capacidade de gerar açúcar para produção de etanol e biomassa para a energia elétrica. Em Catanduva, São Paulo, a usina Cerradinho se destacou no cenário energético brasileiro quando através do cultivo em 1,2 mil hectares, produziu 1,4 milhão de litros de etanol originados do sorgo sacarino. Cabe ressaltar que apesar do otimismo, o resultado não foi tão eficiente quanto os resultados obtidos em laboratório, mas este fato pode ser atribuído às condições climáticas. Atualmente existem testes em mais de onze usinas brasileiras que somam aproximadamente 3,1 mil hectares (UDOP, 2012).

A principal vantagem do sorgo sacarino quando comparado à cana-de-açúcar é que o vegetal possui um ciclo de plantio mais curto, isto é, o sorgo tem um ciclo de 120 dias. A principal ideia é plantar o sorgo após a retirada da cana-de-açúcar e colhe-lo antes da cana-de-açúcar estar pronta para a moagem. Outras vantagens do sorgo sacarino com relação à cana-de-açúcar que podem ser apontadas são: utilização de menor quantidade de água por kg de biomassa seca; menor custo por hectare. Uma das desvantagens ocorre durante a colheita, pois não existem máquinas capazes de colher em um vegetal de mais de três metros de altura, sendo necessária uma colheita manual (REVISTA GLOBO RURAL RURAL, 2011).

Desde a década de 80 pesquisas são realizadas, na EMBRAPA, com variedades do grão do sorgo sacarino. Testes em laboratório mostram que se pode chegar à relação de quatro mil litros de etanol por hectare. Com isso, uma busca por novos híbridos torna-se fundamental. Atualmente cerca de vinte e cinco variedades estão passando por avaliações em todo Brasil. Espera-se que num prazo de um ou dois anos novos materiais estejam no mercado (REVISTA GLOBO RURAL, 2011).

A mandioca-doce, também conhecida como mandiocaba ou mandioca açucarada, passou a fazer parte das matérias-primas que podem ser convertidas em etanol. Antes utilizada

pelos indígenas na alimentação e produção de cachaça, foi redescoberta há quinze anos por pesquisadores da EMBRAPA.

Muito comum no norte do Brasil, a mandiocaba vem sendo estudada pelo pesquisador da EMBRAPA, Luiz Joaquim Castelo Branco Carvalho que apresentou em maio de 2011, estudo que revelou o valor do tubérculo para a produção de etanol. Diferentemente da mandioca tradicional, na mandiocaba, é possível encontrar cerca de 35% de glicose, 10% de sacarose e apenas 2% de amido na raiz. Já na cana-de-açúcar é encontrado apenas 12% de sacarose. Outra vantagem é que o processo de conversão em etanol, que leva quatorze horas quando se fala em cana-de-açúcar, se reduz para dez horas quando a mandiocaba é utilizada. Neste último processo, são dispensados a hidrólise e a adição de enzimas importadas. O custo energético é reduzido em cerca de 40% acarretando assim, uma redução de recursos financeiros. Pode-se chegar à relação de 14 mil litros de etanol por hectare. Uma tonelada de mandioca produz 211 litros de etanol, a mesma quantidade de cana-de-açúcar produz cerca de 85 litros do mesmo combustível (CALIXTO, [S.d.]).

Ao contrário da cana-de-açúcar a cultura de mandiocaba não necessita de queima. A desvantagem está no custo de produção já que o da cana-de-açúcar é cerca de 50% menor do que o da mandiocaba (EMBRAPA, 2008).

Há poucos anos atrás, seria quase improvável pensar no setor usineiro sem se pensar no uso do plantio e colheita manuais. Mas, essa realidade mudou bruscamente e, o homem está cedendo lugar às máquinas, principalmente no que se refere ao preparo do solo, tratos da cultura e colheita que foram as primeiras etapas que se tornaram mecanizadas. As principais vantagens da mecanização do plantio e colheita da cana-de-açúcar são:

- a) o ganho de eficiência e produtividade através de novas técnicas e equipamentos mais modernos;
- b) superposição de épocas de colheitas de diferentes culturas;
- c) redução de impactos ambientais causados pelas queimadas.

Embora, o processo de mecanização seja irreversível, cabe evidenciar as suas principais desvantagens:

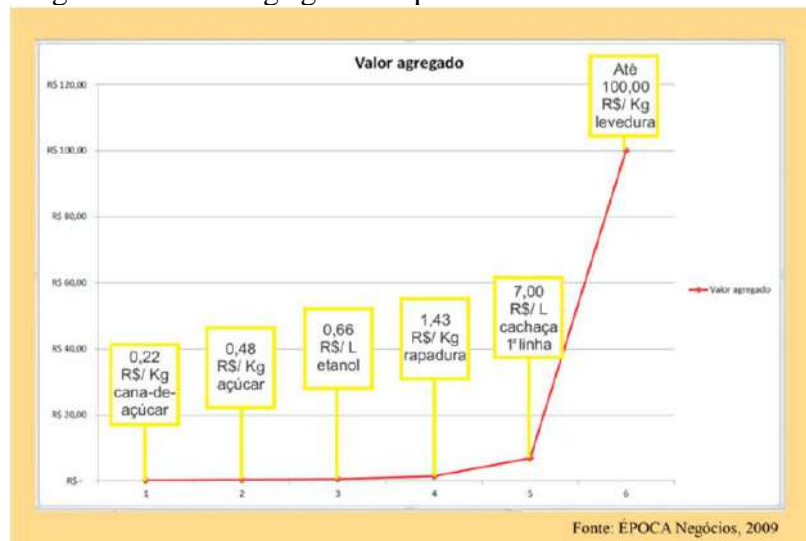
- a) o solo tem que ser plano, sem falhas;
- b) redimensionamento das áreas de plantio;
- c) espaçamento adequado entre as fileiras;
- d) plantio mais raso e, crescimento ereto da cana;
- e) compactação do solo;
- f) necessidade de aquisição de maquinário (OLICANA, 2008).

Como consequência direta das leis que proíbem a queima da palha da cana-de-açúcar, a agroindústria da cana-de-açúcar encontra-se num processo contínuo de implementação do plantio e da colheita mecanizada, embora, ainda seja possível encontrar áreas com plantio e colheita manual. Cabe ressaltar que a queima da cana é essencial para viabilizar o corte manual. Projeções indicam que até 2021 a queima será praticamente eliminada do processo produtivo brasileiro. Para contornar problemas como, por exemplo, o desemprego, iniciativas de capacitação profissional estão sendo desenvolvidas de modo a viabilizar a migração dos atuais cortadores e colhedores, através da requalificação dessa mão de obra para ocupação dos novos cargos gerados pelos impactos da mecanização (UNICA, 2012).

No sentido inverso do mercado da produção de etanol, a Zilor Energia e Alimentos, uma das maiores usinas do país, optou pela biotecnologia com a finalidade de produzir leveduras e alimentos com base na cana-de-açúcar. A implementação de tal decisão, ocorreu no final de 2003, com um investimento de R\$ 120 milhões que foram dispendidos na construção de um laboratório, de uma fábrica e, na contratação de pesquisadores dando origem à Biorigin. O principal destino de seus produtos é o mercado europeu, mais de 80%. Estima-se que em 2012 a Biorigin consiga um valor de mercado equivalente ao que a Zilor demorou mais de 70 anos com suas linhas de açúcar e etanol. As desvantagens de tal opção tecnológica são as inúmeras barreiras de entrada para novos produtores. A opção da produção de leveduras em detrimento à expansão da produção de açúcar e etanol se deveu ao maior valor agregado do produto final, conforme mostra a Figura 12, a seguir (ÉPOCA NEGÓCIOS, 2009).



Figura 12 – Valor agregado dos produtos do setor sucroalcooleiro



O grande desafio da implementação do uso do etanol em aeronaves de grande porte é a adaptação dos motores para a queima adequada do biocombustível. A indústria aeronáutica e as empresas de grande porte do setor, de maneira geral, não têm interesse em tais adaptações. Entretanto, com o objetivo de buscarem alternativas ao querosene de aviação oriundo do petróleo, testes têm sido realizados com biocombustíveis que são originados do bagaço da cana-de-açúcar e são convertidos em querosene de aviação, o chamado bioquerosene.

De maneira pioneira, a empresa brasileira Embraer incorporou novas tecnologias a um modelo de aeronave que desde seu lançamento já teve mais de 1200 unidades comercializadas, e detém mais de setenta e cinco por cento do mercado de aviação agrícola no Brasil. O Ipanema tornou-se a primeira aeronave produzida em série, no mundo, a sair de fábrica com certificação para usar etanol como combustível. As principais vantagens do uso do etanol em aeronaves são (EMBRAER, 2012):

- a) redução do impacto ambiental;
- b) diminuição dos custos de manutenção;
- c) melhoria do desempenho.

Com a finalidade de aumentar a produtividade, melhoramentos genéticos estão sendo realizados. No Rio Grande do Sul, através das USI Biorefinarias, um complexo de destilaria foi montado para produção de etanol a partir da mandioca-doce, em escala industrial, cerca de 400 L, por dia (EMBRAPA, 2008).

Atualmente, a USI Biorefinarias utiliza em sua planta diferentes matérias-primas (cana-de-açúcar, sorgo sacarino, batata-doce, mandioca e cereais), para a produção de bioetanol (95,1 °GL a 20 °C) que varia de 500 a 5.000 L/ dia. E, para cogeração de energia, é utilizado lenha, bagaço e casca de arroz. (USI BIOREFINARIAS, 2012). A Figura 14, a seguir, ilustra através de diagrama de blocos o processo produtivo em questão.

Figura 13 – Diagrama de blocos do processo produtivo da USI Biorefinarias



### V.1 Etanol de 2ª geração

O etanol de 2ª geração ou etanol lignocelulósico pode ser definido como o etanol que é obtido principalmente, a partir de resíduos agroindustriais, isto é, materiais compostos de celulose, lignocelulose e lignina. Esses materiais são abundantemente encontrados na natureza e, os de maior relevância são: bagaço da cana-de-açúcar, o sorgo, o capim, os resíduos de madeira, dentre outros.

Nas próximas duas décadas o mundo terá uma oportunidade única para o desenvolvimento de biocombustíveis de 2ª geração. Existirão benefícios diretos em termos de criação de mão de obra, da economia, da redução de GEE e segurança energética. O fornecimento regu-

lar de resíduo industrial pode servir de base para o desenvolvimento da indústria de etanol. Pois, este recurso pode ser obtido de maneira sustentável, sem alterar os atuais padrões de utilização agrícola do solo. Na produção suplementar de alimentos, este recurso teoricamente pode ser convertido em uma variedade de bioprodutos que se estendem desde combustíveis até produtos químicos.

A hidrólise e a fermentação de materiais lignocelulósicos para obtenção de bioetanol de 2<sup>a</sup> geração remetem ao final do século XIX. Entretanto, somente nas últimas duas décadas é que essa tecnologia recebeu maior interesse. São inúmeras as possibilidades de obtenção de materiais que apresentam elevado teor de materiais lignocelulósicos que vão desde resíduos de biomassa oriundos de atividades agrícolas até mesmo o lixo residencial (MACEDO *et al.*, 2008).

Com o objetivo de aumentar a produção de biocombustível, preservar as áreas ambientais e de plantações de alimentos, o etanol produzido a partir da celulose encontrada no bagaço e na palha da cana-de-açúcar aparece como alternativa. O bagaço residual da cana-de-açúcar, oriundo do processo produtivo de 1<sup>a</sup> geração é geralmente utilizado para cogeração. Considerando-se a energia que se obteria com a queima em caldeira, poder-se-ia obter cerca de 65% dessa energia através de processos de fabricação de etanol de 2<sup>a</sup> geração.

Pesquisas relacionadas ao etanol celulósico, no Brasil, serão financiadas pela Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) e o BNDES. O montante destinado a tais pesquisas é da ordem de R\$ 1,1 bilhão. O principal objetivo é que até 2014 as primeiras usinas do biocombustível, em fase de pesquisa, entrem em operação, validando desta forma a tecnologia e dando maior segurança nas decisões de futuros investidores. O Plano Conjunto de Apoio à Inovação Tecnológica Industrial dos Setores Sucroenergético e Sucroquímico (PAISS) aprovou planos de negócios de 13 empresas. O principal desafio tecnológico desses projetos é tornar a produção do etanol celulósico economicamente viável (VALOR ECONÔMICO, 2012).

Atualmente essa obtenção não é economicamente viável já que seu processo produtivo é mais caro que o do etanol de 1<sup>a</sup> geração. Alternativas têm sido buscadas continuamente a fim de se obter um processo mais barato. Essa realidade já está começando a mudar, pois segundo Sebastian Soderberg, chefe da unidade de negócios com celulose, da empresa dinamar-

quesa Novozymes, fabricante de enzimas industriais afirma que o custo de produção de etanol a partir do bagaço e da palha da cana-de-açúcar é de R\$ 1,25 por litro, no Brasil. Enquanto que o custo aproximado do etanol obtido a partir do milho é de US\$ 0,50 por litro, nos EUA. Estimativas indicam que o preço do etanol celulósico cairá ainda mais quando a produção em grande escala se tornar uma realidade (ZAFALON, 2012).

O uso dos resíduos, como fonte de energia, obtidos do processo produtivo do etanol de celulose aliado a biogás surge como uma alternativa. Uma parceria entre pesquisadores da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) e pesquisadores do *Institut National de la Recherche Agronomique* (INRA), da França, financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) deu origem ao projeto de pesquisa “Otimização de pré-tratamento de biomassa e hidrólise para maximizar a produção de biogás a partir de resíduos agroindustriais” (FAPESP, 2012). As principais vantagens do processo proposto são: aumento da produção de etanol sem a necessidade do aumento de área plantada; como o bagaço da cana-de-açúcar contém hemicelulose que é rica em hexoses e pentoses é possível obter biogás a partir das pentoses. Para tal, utiliza-se a digestão anaeróbia através de bactérias dando origem ao biogás (FAPESP, 2012).

Para a adequada separação da celulose da lignina, um pré-tratamento se faz necessário respondendo por uma das etapas mais caras de todo o processo. Para um aumento de eficiência, utiliza-se no pré-tratamento, peróxido de hidrogênio alcalino. As principais vantagens em relação a outros pré-tratamentos é que este além de não deixar resíduo na biomassa, utiliza menos tempo. Cabe ressaltar que atualmente outras pesquisas para aproveitamento de pentoses estão sendo realizadas (CAMPOS; SILVA; SILVA, 2011).

Após o tratamento, a lignina residual e o resíduo sólido podem ser utilizados como fonte de energia através de suas queimas. A celulose que é obtida é submetida à ação de enzimas que têm capacidade de quebrá-la em várias moléculas de glicose. A glicose obtida pode ser convertida em etanol através da fermentação.

Após inúmeras pesquisas com as empresas Codex e Iogen, ao longo de cerca de dois anos, a Raízen tornou publica a intenção de construção de unidade industrial de etanol celuló-

sico com capacidade instalada de cerca de trinta e sete milhões e oitocentos mil litros por ano (LEAHY; ED CROOKS, 2012).

Nos EUA, a *Environmental Protection Agency* (EPA), prevê produção de seis usinas de produção de etanol celulósico entrem em vigor ainda este ano, com capacidade instalada total de trinta e nove milhões e setecentos mil litros de etanol por ano (ETHANOL BRASIL, 2012).

## V.2 Impactos econômicos das inovações na cadeia do etanol

Um estudo da *Bloomberg New Energy Finance* aborda como a estabilização da cadeia de etanol de 2<sup>a</sup> geração pode contribuir com a construção de uma economia fundamentada na sustentabilidade em oito regiões selecionadas: Brasil, China, EUA, UE-27, Índia, México, Austrália e Argentina. Nesse estudo o termo “etanol de 2<sup>a</sup> geração” se aplica a etanol produzido a partir da tecnologia de hidrólise enzimática.

O estudo utiliza dois cenários para ilustrar o potencial da indústria de bioprodutos, descritos a seguir:

- a) cenário da demanda de combustível: projeção sobre o que ocorreria no caso de se repor 10% da demanda de gasolina com etanol de 2<sup>a</sup> geração. É importante notar que a projeção desses volumes representa uma adição ao abastecimento atual de etanol de 1<sup>a</sup> geração existente. O objetivo é ilustrar a penetração na indústria de maneira razoável e viável, e que não conte com mudanças significativas na frota automobilística;
- b) cenário de potencial de resíduo: projeção de quanta gasolina poderia ser reposta com etanol de 2<sup>a</sup> geração se 17,5% dos resíduos agrícolas fossem utilizados.

Os dois cenários têm vários pontos positivos com efeitos indiretos nas regiões selecionadas, citados a seguir:

- a) utilização de matéria-prima sustentável e renovável: nas oito regiões selecionadas, projetou-se que 780 milhões de toneladas secas, 17,5% do total do resíduo agrícola produzido, poderiam ser disponibilizadas atualmente na produção de etanol de

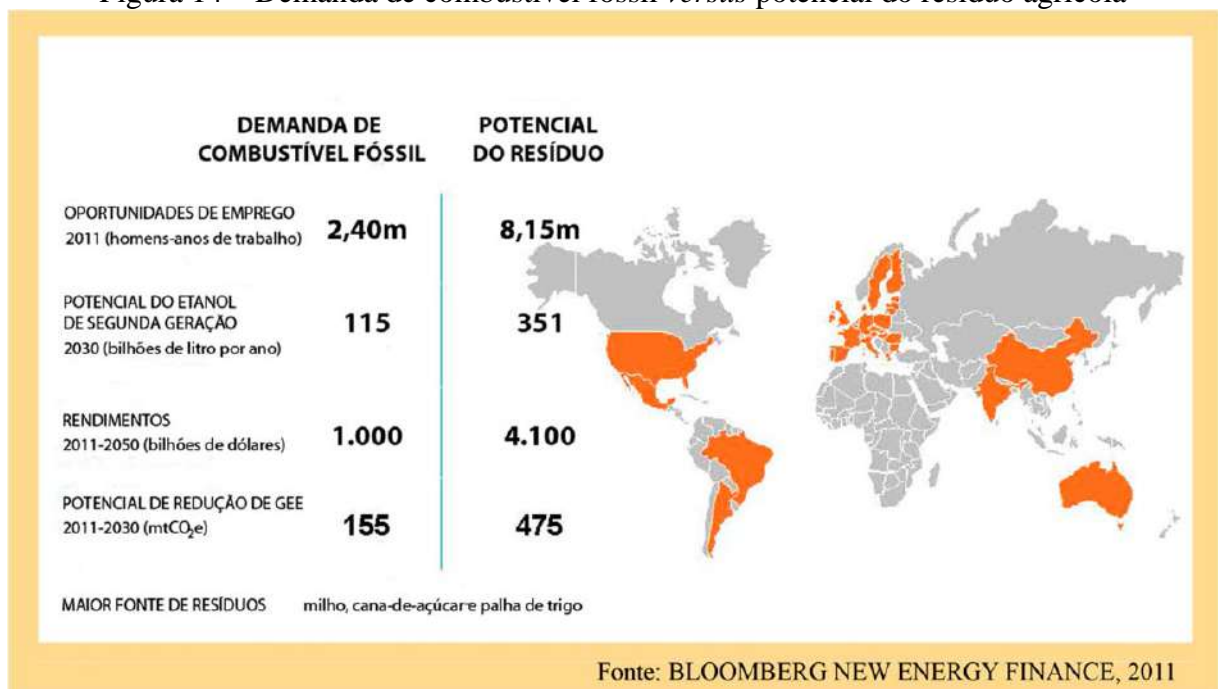
2ª geração, sem alterar os atuais padrões de utilização agrícola do solo. Esta disponibilidade atual se elevaria para 945 milhões de toneladas secas em 2030. A composição desse resíduo seria de trigo, cana-de-açúcar, milho, arroz e soja. Resíduos agrícolas poderiam ser colhidos com as técnicas existentes e crescer a cada ano mais e mais;

- b) surgimento de fazendeiros diversificados: a colheita de quantidades sustentáveis de resíduos agrícolas não interferiria na cadeia de alimentos, mas forneceria às economias rurais uma fonte de receita adicional que ajudaria a diversificar a renda dos agricultores;
- c) criação de oportunidades de emprego: no cenário de plena demanda, 2,40 milhões de homens/ ano seriam empregados nas próximas duas décadas. Se 17,5% dos resíduos disponíveis fossem convertidos em etanol de 2ª geração, então até 8,15 milhões de empregos/ ano poderiam ser criados de hoje até 2030. Os empregos surgiriam da necessidade de construção de biorrefinarias, operação dessas biorrefinarias e da logística de entrega dos resíduos agrícolas nessas plantas.
- d) reduções de importações de combustíveis: dentro das condições do cenário de demanda plena, essas oito regiões produziram um agregado de 115 bilhões de litros de etanol de 2ª geração a cada ano até 2030, utilizando apenas 5% do fornecimento do resíduo agrícola. Neste cenário de resíduo potencial, estas regiões poderiam produzir até 351 bilhões de litros por ano, suficiente para repor cerca de 50% da demanda de gasolina prevista para 2030. E, com isso proveriam passos importantes em direção à independência energética;
- e) geração de receitas adicionais: as oito regiões têm potencial para gerar receitas de 1,0 trilhão de dólares entre hoje e 2050, no cenário da demanda de combustível, resultante da produção de etanol de segunda geração quando assume-se o valor do barril de petróleo a 100 dólares. Receitas, a partir das condições do cenário de potencial de resíduo, subiriam para aproximadamente 4,1 trilhões de dólares, no mesmo período.
- f) redução de GEE: 155 milhões de toneladas de GEE não seriam emitidos entre hoje e 2030, no cenário da demanda de combustível, que equivale a não queima 850.000 vagões de locomotivas de carvão. O cenário de potencial de resíduo apresenta, aproximadamente, 25% a menos de emissão de GEE se comparado ao outro cenário;

- g) economia de base biológica: o desenvolvimento de uma indústria de bioprodutos em áreas rurais constituiria o primeiro passo para outra direção, contrária a dependência econômica baseada no petróleo. Isto redicionaria à uma nova realidade na qual um futuro mais diversificado é esperado, onde resíduos agrícolas renováveis seriam matéria-prima para a produção de combustíveis e químicos.

A Figura 14, a seguir, traça comparativos entre a demanda de combustível fóssil com o potencial do resíduo agrícola. Essa comparação leva em conta as oportunidades de emprego, o potencial do etanol de segunda geração, os rendimentos e o potencial de redução de GEE.

Figura 14 – Demanda de combustível fóssil *versus* potencial do resíduo agrícola



Entretanto, existem barreiras que impedem a indústria de utilizar os recursos da fonte agrícola residual. A *Bloomberg New Energy Finance* definiu algumas ações que poderiam ser tomadas por políticos e outras partes interessadas para enfrentar os riscos e disponibilizar este potencial produtivo. Das oito regiões, algumas já tomaram medidas para promover a indústria de etanol de segunda geração e, neste aspecto, os EUA se destaca.

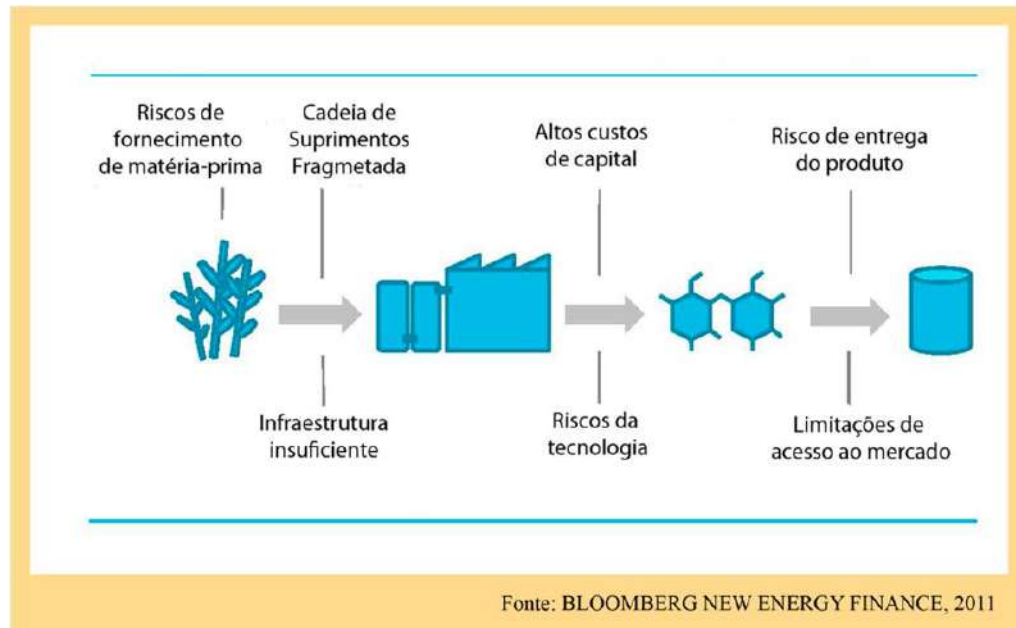
Os principais riscos ao longo da cadeia de produção de etanol de segunda geração com suas respectivas soluções estão evidenciadas a seguir:

- a) risco de fornecimento de matéria-prima: incentivos temporários para os agricultores para a coleta de resíduos agrícolas facilitaria o desenvolvimento de uma cadeia de valor da próxima safra de etanol;
- b) cadeia de suprimentos fragmentada: criação uma grande estrutura de fornecedores de resíduos agrícolas que poderiam gerar diferentes matérias-primas e reduziria alguns dos riscos de fornecimento e geraria maior confiança para os investidores;
- c) infraestrutura insuficiente: investimentos em rodovias rurais, facilitaria a eficiência do transporte dos resíduos agrícolas e redução de custos;
- d) altos custos de capital: o apoio do Governo sob a forma de garantias de empréstimos e subsídios em pesquisa e desenvolvimento é vital para redução dos custos de capital associados à construção da próxima geração de biorrefinarias;
- e) riscos da tecnologia: incentivos permanentes durante o tempo de vida da biorrefinaria, e benefícios aos investidores pioneiros para que estes se sintam mais confortáveis com os riscos do projeto;
- f) risco de entrega do produto: fornecimento de demanda estável para atrair capital para a agricultura e setores do etanol de segunda geração;
- g) limitações de acesso ao mercado: permissão para que tanto o etanol de primeira quanto o de segunda geração substituam pelo menos cerca de 10% do suprimento de gasolina fóssil, viabilizando o crescimento da indústria.

A Figura 15, a seguir, identifica os principais riscos ao longo da cadeia produtiva de bioprodutos, que se estendem desde o fornecimento de matérias-primas a riscos de entrega de produtos.

Figura 15 – Riscos ao longo da cadeia produtiva de bioprodutos





Este estudo da *Bloomberg New Energy Finance* teve como principal objetivo abordar o quanto de resíduos agrícolas estarão disponíveis desde os dias de hoje até 2030 e, como os bioprodutos podem ser utilizados dentro de certas condições. As principais considerações feitas pelo estudo são:

- a) 75% do total dos resíduos agrícolas retornariam ao campo para garantir a qualidade do solo; enquanto que 7,5% seriam destinados à produção de bioenergia e agricultura animal; os 17,5% restantes seriam destinados à conversão de bioprodutos sob as circunstâncias econômicas apropriadas. Aliado a isto, 30% do bagaço obtido da produção de açúcar seria direcionado para produção de etanol.
- b) padrões de uso agrícola seriam deliberadamente mantidos até 2030 para evitar qualquer mudança de uso da terra. As culturas energéticas seriam igualmente excluídas. Uma das principais intenções do estudo é mostrar que uma vez disponibilizado o recurso, pouca ou nenhuma mudança ecológica seria necessária;
- c) um litro de gasolina, desde o poço até o veículo gera cerca de 2,42 Kg/ CO<sub>2</sub>e;
- d) o etanol de segunda geração utilizando a tecnologia de hidrólise enzimática, reduziria os GEE em cerca de 80%.
- e) a demanda de combustível para transporte estaria aumentando, a demanda de gasolina nessas regiões estaria diminuindo;
- f) a parcela de mercado não cairia mais que 20% se comparado ao combustíveis com base em diesel em nenhuma região;

- g) os cenários assumiram que a indústria responderiam rapidamente à adequação de capacidade produtiva necessária à oportunidade de uma indústria de bioprodutos de segunda geração e qualquer atraso poderia adiar as receitas em anos futuros;
- h) o estudo é uma representação de como um bioproduto de segunda geração poderia evoluir nas próximas duas décadas, mas não é uma previsão de desenvolvimento da indústria.

## VI PANORAMA DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA E PROPRIEDADE INTELECTUAL

Nos últimos anos, o Brasil tem se destacado no cenário mundial sucroalcooleiro como um país de grande potencial na área da inovação. Segundo o relatório do *DWPI Classification System*, nos últimos dez anos, houve um aumento de sessenta e quatro por cento no número de patentes depositadas no país (CTBE, 2012).

Cabe ressaltar que, no Brasil, o prazo máximo para registro de uma patente é de oito anos enquanto que nos EUA, esse prazo é de apenas três anos. O principal fator para tal demora é que no INPI existem cerca de duzentos e trinta profissionais enquanto que nos EUA esse número atinge marca superior a seis mil. Atualmente o percentual de investimentos privados em pesquisa, desenvolvimento e inovação, no Brasil, é de cerca de 0,55% do PIB contra 1,87% nos EUA. Além disso, menos de vinte e sete por cento dos cientistas brasileiros trabalham em projetos ligados à empresas. Essa realidade tem mudado e, as universidades têm se tornado fontes de criação e incubadoras para projetos (KOHN, 2012).

Segundo relatório divulgado pela Organização Mundial da Propriedade Intelectual (OMPI), o Brasil perdeu onze posições no *ranking* dos países mais inovadores e, atualmente ocupa a quinquagésima oitava posição, embora esse ranking seja em termos relativos e, não absolutos. Sendo assim, não significa que o Brasil perdeu capacidade de inovação (G1, 2012).

A corrida por descobertas de fórmulas mais eficientes para que seja possível a substituição dos combustíveis tradicionais tem acarretado em disputas jurídicas por autorias de patentes. A inovação tecnológica é o principal caminho para a competitividade e crescimento da indústria sucroalcooleira.

### VI.1 Busca em base de dados de patentes e artigos

Com a finalidade de obtenção do panorama da produção científica e propriedade intelectual, foi realizado inicialmente levantamento em duas bases de dados de referência: USPTO (escritório de marcas e patentes do governo americano) e INPI. Diversos termos de busca foram utilizados no período que se estendeu de 2000 a 2012.

Termos gerais relacionados à inovação tecnológica foram escolhidos para uma maior abrangência dos resultados das buscas, realizadas para o campo título. Para a base de dados do USPTO, os seguintes termos foram utilizados: *ethanol*, *ethyl alcohol*, *biomass*, *sorghum*, *sugarcane*, *sugar cane*, *biorefinery*, *corn*, *agricultural and residue*, *lignin*, *cellulose*, e *lignocellulose*. Para a base do INPI, os seguintes termos foram utilizados: etanol, álcool etílico, biomassa, sorgo, cana-de-açúcar, cana de açúcar, biorefinaria, biorefinaria, milho, resíduo agroindustrial, resíduo agrícola, lignina, celulose, e lignocelulose. A Tabela 7, a seguir, contém os resultados das buscas realizadas nestas duas bases.

Tabela 7 – Termos utilizados na estratégia de busca | USPTO & INPI

Referência	Termo de Estratégia de Busca	Número de Publicações USPTO	Referência	Termo de Estratégia de Busca	Número de Publicações INPI
#1	Ethanol	0255	#1	Etanol	0226
#2	ethyl alcohol	0005	#2	Álcool Etilico	0018
#3	Biomass	0320	#3	Biomassa	0360
#4	Sorghum	0012	#4	Sorgo	0012
#5	Sugarcane	0025	#5	cana-de-açúcar	0139
#6	Sugar cane	0031	#6	cana de açúcar	0141
#7	biorefinery	0003	#7	biorefinaria	0002
#8	corn	1315	#8	biorefinaria	0002
#9	agricultural and residue	0018	#9	milho	0234
#10	lignin	0110	#10	resíduo agroindustrial	0001
#11	cellulose	0859	#11	residuo agrícola	0003
#12	lignocellulose	0031	#12	lignina	0055
			#13	celulose	0333
			#14	lignocelulose	0037
	Total	2984		Total	1563
	Total sem duplicadas	2943		Total sem duplicadas	1490

Fonte: USPTO, 2012

Fonte: INPI, 2012

Como era de se esperar, a base do USPTO apresentou um grande número de publicações científicas com a palavra *corn* em seus títulos, e um pequeno número de publicações com a palavra *sugarcane* ou *sugar cane*. E, na base do INPI, o contrário ocorreu.

Ao final das buscas convencionais, foi realizada uma busca que utilizou todos os termos, separados pelo operador booleano OR a fim de se descontar as publicações científicas duplicadas. Na base do USPTO, das 2984 publicações, 41 estavam duplicadas. Na base do INPI, das 1563 publicações, 73 estavam duplicadas.

A partir dos resultados apresentados anteriormente, foram selecionados alguns termos, e acrescentados outros para nova busca em outras bases de dados. Os termos selecionados foram: *biorefinery*, *agricultural and residue*, *cellulose*, e *etanol*. Os termos adicionados foram: *residual*, *cellulosic*, e *biofuel*. As novas bases utilizadas foram: *Web of Science* e *Derwent Innovations Index*. O período analisado foi o mesmo da busca anterior (de 2000 a 2012). Cabe ressaltar que a funcionalidade *lemmatization*<sup>28</sup> foi desabilitada. Os resultados encontram-se na Tabela 8, a seguir.

Tabela 8 – Termos utilizados na estratégia de busca | Web of Science & Derwent Index

Referência	Termo de Estratégia de Busca	Número de Publicações	
		Web of Science	Derwent
#1	biorefinery	0349	0020
#2	biorefinery and ethanol	0020	0005
#3	agricultural and residue	0069	0268
#4	residue and ethanol	0024	0244
#5	residual and ethanol	0020	0048
#6	cellulose and ethanol	0099	0353
#7	cellulosic and ethanol	0231	0080
#8	biofuel and ethanol	0055	0071
	Total	0867	1089

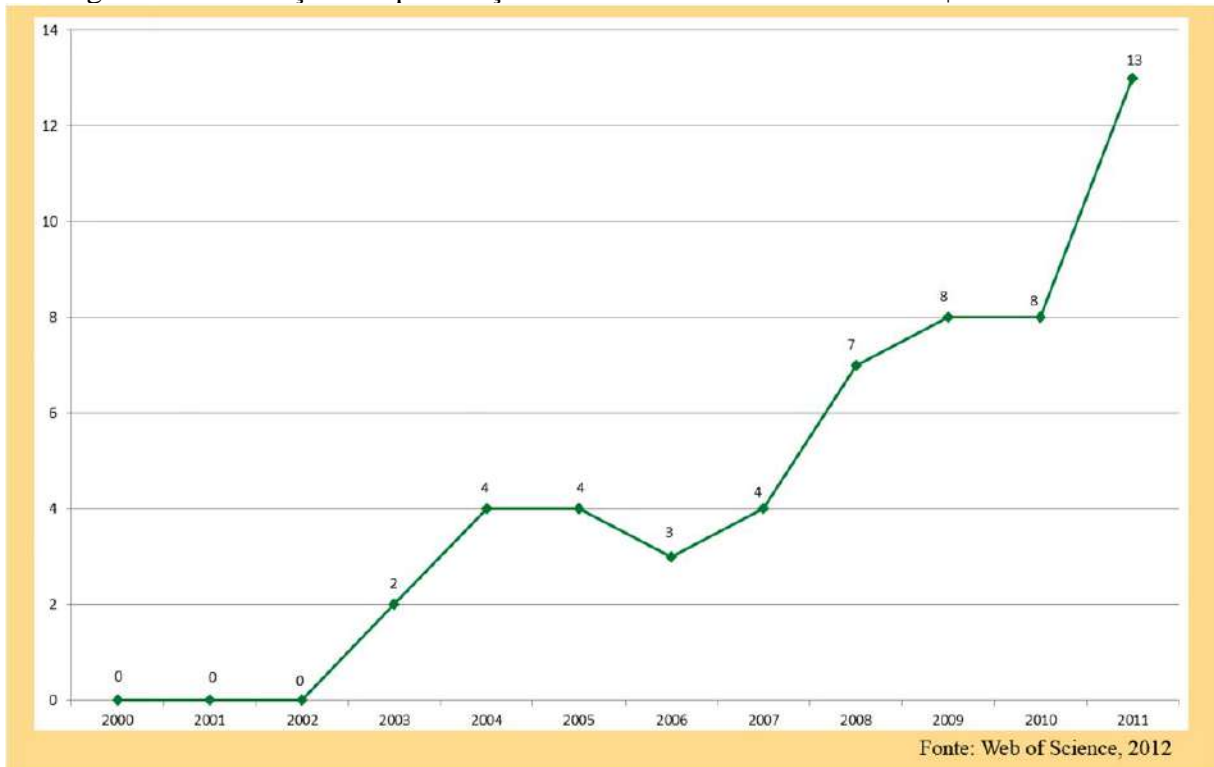
Web of Science e Derwent Innovations Index, 2012

A exemplo da Tabela 7, a Tabela 8 indica que o número de publicações científicas que contêm em seus títulos os termos *biorefinery* e *ethanol*, ainda é pequeno. Entretanto, apesar de incipiente, o termo biorrefinaria está em evidencia. Para o presente estudo, os termos selecionados para aprofundamento são: *biofuel* e *ethanol*. Tomando como base outras pesquisas realizadas, a seleção das duas últimas bases de dados teve como finalidade o levantamento de patentes e da produção científica.

A Figura 16, a seguir mostra a evolução do número de publicações científicas sobre biocombustíveis ligadas ao etanol no período que se estende de 2000 a 2012.

<sup>28</sup> *Lemmatization*: é o nome dado ao processo de agrupamento de diferentes formas de uma palavra ser flexionada.

Figura 16 – Evolução das publicações sobre biocombustíveis/ etanol | Web of Science



A partir das 55 publicações científicas, identificou-se 20 áreas de conhecimento. Dessas, as de maior evidência são: Química, “Combustíveis e Energia”, “Biotecnologia e Biologia Aplicada”, “Ciência, Tecnologia e Outros Temas” e Engenharia. Observa-se que uma mesma publicação pode conter mais de uma área de conhecimento. Os resultados encontram-se na Tabela 9, a seguir.

Tabela 9 – Áreas de conhecimento das publicações científicas | Web of Science

Área de Conhecimento	Frequência	% de 55
Química	22	40,00%
Biotecnologia e Microbiologia Aplicada	10	18,18%
Combustíveis e Energia	10	18,18%
Ciência, Tecnologia e Outros Temas	10	18,18%
Engenharia	9	16,36%
Eletroquímica	6	10,91%
Agricultura	5	9,09%
Biofísica	4	7,27%
Ecologia e Ciências Ambientais	3	5,45%
Ciência dos Materiais	3	5,45%
Física	3	5,45%
Biologia Molecular e Bioquímica	2	3,64%
Ciência e Tecnologia de Alimentos	2	3,64%
Hereditariedade Genética	2	3,64%
Economia Empresarial	1	1,82%
Educação e Pesquisa Educacional	1	1,82%
Ciência e Tecnologia Nuclear	1	1,82%
Ciências Vegetais	1	1,82%
Ciência de Polímeros	1	1,82%
Espectroscopia	1	1,82%

Fonte: Web of Science, 2012

As categorias do *Web of Science* presentes nas publicações também foram mapeadas e somaram um total de trinta e uma categorias. As de maior destaque são: Química Multidisciplinar, “Biotecnologia e Microbiologia Aplicada”, “Combustíveis e Energia”, “Nanotecnologia e Nanociência”, Química Analítica, Eletroquímica e Engenharia Química. A Tabela 10, a seguir apresenta as categorias em questão.



Tabela 10 – Categorias web of science das publicações científicas | Web of Science

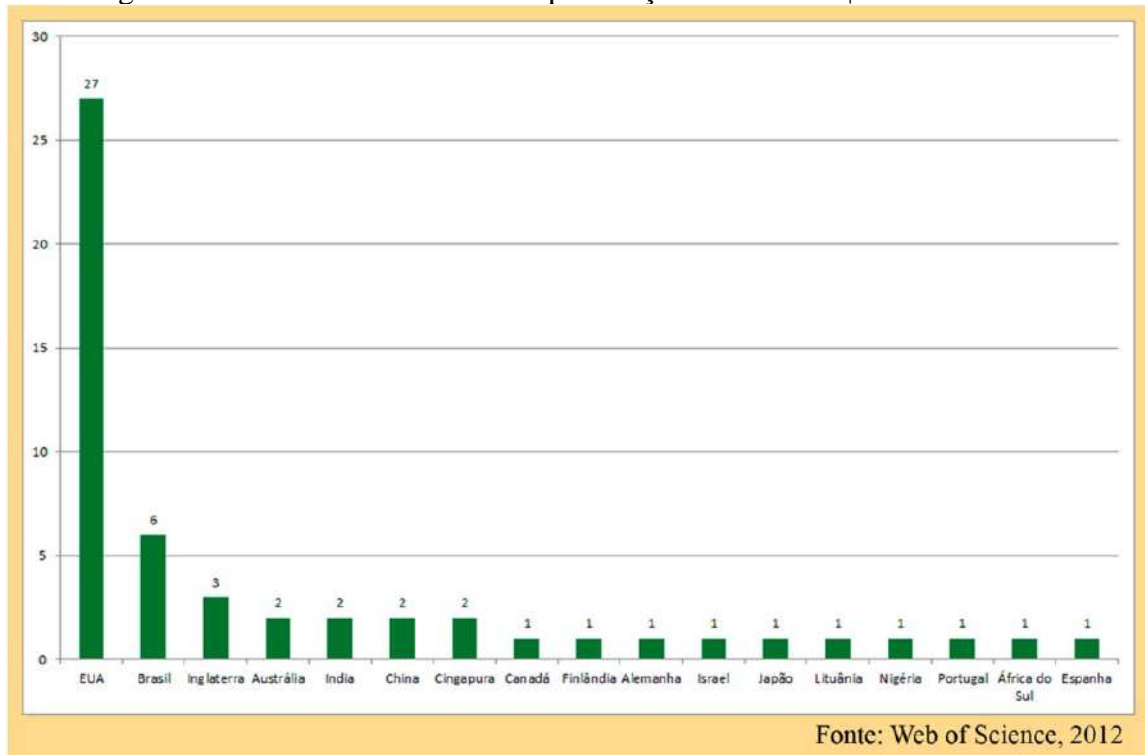
<b>Categorias Web of Science</b>	<b>Frequência</b>	<b>% de 55</b>
Química Multidisciplinar	15	27,27%
Biotecnologia e Microbiologia Aplicada	10	18,18%
Combustíveis e Energia	10	18,18%
Nanotecnologia e Nanociência	8	14,55%
Química Analítica	7	12,73%
Eletroquímica	6	10,91%
Engenharia Química	5	9,09%
Biofísica	4	7,27%
Engenharia Mecânica	3	5,45%
Ciências Ambientais	3	5,45%
Economia Política da Agrícola	2	3,64%
Métodos Bioquímicos de Pesquisa	2	3,64%
Engenharia Ambiental	2	3,64%
Ciência e Tecnologia de Alimentos	2	3,64%
Hereditariedade Genética	2	3,64%
Ciência dos Materiais - Multidisciplinar	2	3,64%
Física Aplicada	2	3,64%
Ciências Multidisciplinares	1	1,82%
Engenharia Agrícola	1	1,82%
Ciência da Agricultura Animal	1	1,82%
Agronomia	1	1,82%
Físico-Química	1	1,82%
Economia	1	1,82%
Disciplinas de Educação Científica	1	1,82%
Estudos Ambientais	1	1,82%
Ciência dos Materiais Celulósicos	1	1,82%
Tecnologia Nuclear	1	1,82%
Física da Matéria Condensada	1	1,82%
Física Multidisciplinar	1	1,82%
Ciências Vegetais	1	1,82%
Ciência de Polímeros	1	1,82%
Espectroscopia	1	1,82%

Fonte: Web of Science, 2012



Das cinquenta e cinco publicações, os Estados Unidos respondem por 49,9%, seguido pelo Brasil com 10,91%, Inglaterra com 5,45% e Austrália, Índia e China, cada um com 3,64%, conforme mostra a Figura 17, a seguir.

Figura 17 – Países dos editores das publicações científicas | Web of Science



Em relação às instituições envolvidas com as publicações científicas em questão, os Estados Unidos lideram com 39,4%, seguidos da Espanha com 13,6%, do Brasil com 12,1 e da Inglaterra com 7,6%. Estes quatro países representam 72,7% de todas as instituições presentes, conforme a Tabela 11, a seguir.

Tabela 11 – Instituições por país | Web of Science

Instituição	País	Incidência
United States Department of Agriculture (USDA), ARS	EUA	1
Biorad Labs	EUA	1
Cornell University	EUA	1
Georgia Institute of Technology	EUA	1
Iowa Cattlemen's Association	EUA	1
Joint BioEnergy Institute	EUA	1
Lawrence Livermore National Laboratory	EUA	1
Michigan State University	EUA	1
Mississippi State University	EUA	1
North Carolina State University	EUA	1
Perkinelmer Inc	EUA	1
San Jose City College	EUA	1
Sandia National Laboratories	EUA	1
University Maine	EUA	1
University Minnesota	EUA	1
University Nebraska	EUA	1
University of Toledo	EUA	1
US Forest Service	EUA	1
USA Energy Independence	EUA	1
Villanova University	EUA	1
Saint Peter's College	EUA	2
University of California, Berkeley	EUA	2
University St Thomas	EUA	2
Universidad de Córdoba	Espanha	1
Saint Louis University	Espanha	8
Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO)	Brasil	1
Universidade de São Paulo (USP)	Brasil	2
Universidade Estadual Paulista (UNESP)	Brasil	1
Universidade Federal de Pelotas (UFPEl)	Brasil	1
Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)	Brasil	2
Universidade Federal Fluminense (UFF)	Brasil	1
Agra Europe London	Inglaterra	1
Shell Global Solutions UK	Inglaterra	2
University Leeds	Inglaterra	2
Absa Bank Ltd	África do Sul	1
African Biofuels Association	África do Sul	1
Grain S Africa	África do Sul	1
CSIRO Ecosystem Sciences Energy Transformed Flagship	Australia	1
University of Sydney	Australia	1
Chinese Academy Of Sciences	China	1
University of Science and Technology of China	China	1
Nanyang Technological University	Singapura	1
National University of Singapore	Singapura	1
University Bielefeld	Alemanha	1
McGill University	Canada	1
Aalto University	Finlândia	1
Jawaharlal Nehru Centre for Advanced Scientific Research	India	1
Hebrew University Jerusalem	Israel	1
Tokyo University of Agriculture and Technology	Japão	1
Vilnius State University	Lituânia	1
Federal College of Agriculture	Nigéria	1
Instituto Politécnico de Coimbra, ESAC	Portugal	1

Fonte: Web of Science, 2012

A Tabela 12, a seguir, apresenta a análise de 71 patentes que foram publicadas no período de 2000 a 2012, seguindo a classificação por área de especialização. Treze áreas de conhecimento foram identificadas, e destas as mais significativas são: Química, Engenharia, “Energia e Combustíveis” e “Biotecnologia e Microbiologia Aplicada”.

Tabela 12 – Patentes no tema Biocombustível ligados ao Etanol | Área de Conhecimento

Área	Número de Publicações	% de 71
Química	66	92,96%
Engenharia	62	87,32%
Energia e Combustíveis	56	78,87%
Biotecnologia e Microbiologia Aplicada	53	74,65%
Instrumentos e Instrumentação	10	14,08%
Agricultura	9	12,68%
Ciência e Tecnologia de Alimentos	9	12,68%
Ciência dos Polímeros	8	11,27%
Farmacologia e Farmácia	5	7,04%
Ciência dos Materiais	3	4,23%
Transporte	2	2,82%
Ciência da Computação	1	1,41%
Recursos Hídricos	1	1,41%

Fonte: Derwent Innovations Index, 2012

A seguir, as mesmas 71 patentes foram analisadas com relação a seus depositantes. Os de maior destaque são: *Huang Huan* com 4,23%, *IFP Energies Nouvelles*, *Institute Français Du Petrole*, *Syngenta Participations AG* e *Tokhem Holding BV* cada um com 2,82%. A Tabela 13 apresenta os 5 principais depositantes e o percentual de patentes publicadas, num universo de setenta e uma patentes. Cabe ressaltar que os depositantes com menos de duas patentes publicadas não foram citados na tabela.

Tabela 13 – Patentes no tema Biocombustível ligados ao Etanol | Depositante

Depositante	Número de Patentes	%
Huang Huan	3	4,23%
IFP Energies Nouvelles	2	2,82%
Institute Français Du Petrole	2	2,82%
Syngenta Participations AG com	2	2,82%
Tokhem Holding BV	2	2,82%

Fonte: Derwent Innovations Index, 2012

A Tabela 14 apresenta o resultado das análises que foram realizadas nas setenta e uma patentes a fim de se destacar os Códigos da *International Patent Classification* (ICP) que apresentam maior frequência. Os códigos citados somam um total de dezessete, com destaque para os seguintes: C12P-007/02, C12P-007/06, C12P-007/10.

Tabela 14 – Patentes no tema Biocombustível ligados ao Etanol | Código da Classificação Internacional

<b>Classe ICP</b>	<b>Patentes</b>
C12P-007/02	31
C12P-007/06	26
C12P-007/10	15
C10L-001/10	9
C12P-001/00	7
C12P-007/64	7
C10L-001/00	6
C10L-001/02	6
C12M-001/00	6
C12N-001/21	6
C12P-007/16	6
C12P-019/00	6
C10L-001/18	5
C12N-001/20	5
C12N-009/42	5
C12N-015/63	5
C12P-007/08	5

Fonte: Derwent Innovations Index, 2012

## VII CONCLUSÕES

O número de pesquisas relacionadas aos biocombustíveis vem crescendo de maneira relevante e tomando gradativamente o lugar de tecnologias que há décadas já se encontravam estabelecidas no cenário mundial. Entretanto, ao contrário do que se buscava antigamente, a tecnologia além de ser rentável tem que ser limpa para que se tenha livre acesso às diferentes nações e políticas energéticas e de desenvolvimento.

O Brasil ocupa, indiscutivelmente, posição de destaque na produção mundial de etanol e, boa parte desse sucesso é diretamente atribuída à cana-de-açúcar. Entretanto, muito precisa ser pesquisado e implementado para que seja possível a produção de etanol de segunda geração, pois o potencial dessa rota é muito relevante e promissora seja pelo lado ambiental ou pelo lado econômico. O etanol não está sozinho na eleição do biocombustível mais indicado para substituição dos combustíveis fósseis e, seus concorrentes também estão em evidência, como, por exemplo, o biodiesel, o bioquerosene e outros.

Cabe destacar que o bioquerosene está se tornando concorrente direto do etanol no que diz respeito à matéria-prima, pois também é produzido da cana-de-açúcar e, estudos estão sendo direcionados para que seja o substituto do querosene de aviação oriundo do petróleo.

O cenário brasileiro está bem diferente do que se abordou e estudou ao longo das últimas três décadas. As barreiras protecionistas dos EUA caíram e ao contrário do que se imaginava, o Brasil não conseguiu índices de exportação satisfatórios. Além disso, as importações de etanol nunca atingiram valores tão relevantes. O motivo principal é a elevada demanda nos mercados internos e externos. No mercado interno podemos apontar a região sudeste como o principal consumidor, com cerca de mais de 60% das vendas de etanol.

Na última década houve entrada de grandes grupos estrangeiros no setor sucroalcooleiro. Entretanto, comportamentos inesperados no que se refere a investimentos ocorreram, como por exemplo, as de duas usinas de açúcar e etanol da Dedini Agro, que foram colocadas à venda apenas quatro anos após a sua compra, representando o primeiro registro de resgate de investimentos no setor sucroalcooleiro brasileiro. O fator mais relevante para investimen-

tos ainda é o aumento da capacidade e não a eficiência energética que exige aquisições de tecnologias mais eficientes.

A obtenção industrial de etanol ainda é realizada predominantemente através da fermentação. As matérias-primas mais utilizadas para a obtenção de etanol de primeira geração são: a cana-de-açúcar e o milho. Estudos têm apontado o sorgo sacarino como uma ótima opção para obtenção de etanol durante a entressafra da cana-de-açúcar já que seu ciclo é mais curto, cerca de três meses. Outra alternativa é a mandiocaba açucarada que possui mais açúcar do que a própria cana-de-açúcar. E, no que se refere à conversão em etanol, a hidrólise é dispensada.

No sentido inverso do mercado da produção de etanol, empresas como a Zilor Energia e Alimentos, optaram pela biotecnologia para a produção de leveduras e alimentos com base na cana-de-açúcar. Tal opção se justifica pelo maior valor agregado do produto final.

Com a finalidade de aumentar a produção de biocombustível, preservar as áreas ambientais e de plantações de alimentos, o etanol produzido a partir da celulose e hemicelulose encontrada no bagaço, na palha da cana-de-açúcar e nos resíduos agroindustriais está em evidência. Estudos apontam que o etanol de segunda geração pode contribuir, de maneira significativa, com a construção de uma economia fundamentada na sustentabilidade. Os principais pontos positivos no que se refere a este etanol estão descritos a seguir:

- a) utilização de matéria-prima sustentável e renovável;
- b) surgimento de fazendeiros diversificados;
- c) criação de oportunidades de emprego;
- d) redução das importações de combustíveis;
- e) geração de receitas adicionais;
- f) redução de GEE;
- g) economia de base biológica.

No que se refere ao panorama da produção científica e propriedade intelectual, nos últimos anos, o Brasil tem se destacado no cenário mundial, embora tenha perdido posições no ranking dos países inovadores, em 2012.

No período que se estende de 2000 a 2012, o número de publicações científicas sobre biocombustíveis e etanol é crescente e, cada vez mais expressivo. As mais variadas áreas de conhecimento foram identificadas e, as de maior relevância são: Química, “Combustíveis e Energia”, “Biotecnologia e Biologia Aplicada”, “Ciência, Tecnologia e Outros Temas” e Engenharia. Das diferentes engenharias, a engenharia química é a que tem maior destaque. Os três países que tem maior destaque neste cenário são: Estados Unidos, Brasil e Inglaterra.

Cabe ressaltar que muitos pesquisadores brasileiros optam por depositar publicações e patentes em outros países o que dificulta a atribuição do peso adequado aos mesmos. No que se refere às principais instituições envolvidas, os Estados Unidos, a Espanha, o Brasil e a Inglaterra se destacam.

Baseando-se em tudo o que foi citado observa-se que o etanol, independente da matéria-prima, da tecnologia ou da finalidade é de extrema importância no cenário da energia mundial, fazendo-se valer de qualquer pesquisa com a finalidade de inovação das tecnologias existentes.

## VIII SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A fim de dar continuidade à linha de pesquisa realizada nesta monografia, as seguintes sugestões são feitas para trabalhos futuros:

- a) panorama e prospecção tecnológica da indústria de resíduos agrícolas;
- b) panorama e prospecção tecnológica da indústria de etanol de segunda geração;
- c) panorama da produção científica e propriedade intelectual de resíduos agrícolas;
- d) panorama da produção científica e propriedade intelectual do etanol de segunda geração;
- e) estudo da viabilidade técnico-econômica para implantação de biorrefinarias no Brasil;
- f) inovação e obtenção de novos produtos a partir da cana-de-açúcar.



## IX REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGROENERGIA. **Governo reduz a mistura de etanol à gasolina.** Disponível em: <Portaria 678, assinada pelo ministro Mendes Ribeiro Filho >. Acesso em: 29 mai. 2012.

ALCARDE, A. R. **Outros produtos da cana.** Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01\\_108\\_2212\\_2006154841.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_108_2212_2006154841.html)>. Acesso em: 5 jun. 2012.

ANP. **Abastecimento em números.** Rio de Janeiro: [s.n.]. Disponível em: <[www.anp.gov.br/?dw=60452](http://www.anp.gov.br/?dw=60452)>. Acesso em: 18 jun. 2012.

ANP. Resolução ANP nº 8, de 6.3.2007 – DOU 8.3.2007. Disponível em: <[http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg/resolucoes\\_anp/2007/mar%C3%A7o/ranp\\_8\\_2007.xml?f=templates\\$fn=document-frame.htm\\$3.0\\$q=\\$x=\\$nc=2726](http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2007/mar%C3%A7o/ranp_8_2007.xml?f=templates$fn=document-frame.htm$3.0$q=$x=$nc=2726)>. Acesso em: 16 jun. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023:** informação e documentação: referências: elaboração. Rio de Janeiro, 2002.

\_\_\_\_\_. **NBR 6024:** informação e documentação: numeração progressiva das seções de um documento escrito: Apresentação. Rio de Janeiro, 2002.

\_\_\_\_\_. **NBR 6028:** informação e documentação: resumos: apresentação. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR 10520:** informação e documentação: citações em documentos: apresentação. Rio de Janeiro, 2002.

\_\_\_\_\_. **NBR 14724:** informação e documentação: trabalhos acadêmicos: apresentação. Rio de Janeiro, 2002.

BARROSO, W. M. **Regulação e Desenvolvimento da Indústria de Bicompostíveis no Brasil.** Rio de Janeiro: [s.n.]. Disponível em: <[http://prh.mecanica.ufrj.br/index\\_arquivos/palestras/20111007.pdf](http://prh.mecanica.ufrj.br/index_arquivos/palestras/20111007.pdf)>. Acesso em: 16 mai. 2011.

BELINI, Cledorvino. **A cana-de-açúcar e a economia de baixo carbono.** ETHANOL SUMMIT. Disponível em: <[http://www.ethanolsummit.com.br/apresentacoes/pdf/Cledor\\_vino\\_Belini\\_Anfavea\\_EtanolSummit.pdf](http://www.ethanolsummit.com.br/apresentacoes/pdf/Cledor_vino_Belini_Anfavea_EtanolSummit.pdf)>. Acesso em: 17 mai. 2012.

BIODIESELBR.COM **Bioetanol (etanol lignocelulose).** 2007. Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.biodieselbr.com/energia/alcool/bioetanol-etanol-lignocelulose.htm>>. Acesso em: 30 jan. 2012.

BIODIESELBR.COM. **Futuro para o mercado do álcool e açúcar.** Disponível em: <http://www.biodieselbr.com/energia/alcool/mercado-etanol.htm>>. Acesso em: 04 fev. 2012.

BIODIESELBR.COM. **ProÁlcool - História da indústria sucroalcooeira.** Disponível em: <http://www.biodieselbr.com/proalcool/historia/proalcool-industria-sucroalcooeira.htm>>. Acesso em: 29 maio. 2012.

BISTRICHI, C. A.; PAULINICH, A. E. O desenvolvimento do setor sucroalcooleiro na região noroeste paulista e o aumento da morbidade respiratória devido à queima da palha da cana. In: SIMPÓSIO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA DO ESTADO DE SÃO PAULO, 1., 2008, Rio Claro. **Anais...** São Paulo: UNESP, 2008. p. 1313.

BM&F. BOVESPA. **Perguntas Frequentes.** São Paulo, 2012. Disponível em: <http://www.bmf.com.br/bmfbovespa/pages/MBRE/faq.asp#8>> Acesso em: 10 jan. 2012.

BNDES. **Ampliação da Produção de Etanol e Co-geração de Energia Elétrica.** Brasília: [s.n.], 2003

BOYLE, Harry; LABASTIDA, Roberto Rodriguez. *Moving towards a next generation ethanol economy executive summary.* **Bloomberg New Energy Finance.** 12 jan. 2012.

CALIXTO, B. **Etanol de mandioca conserva a floresta.** Disponível em: [http://projetos.inpa.gov.br/ctpetro/pg\\_noticias.php?vID=119](http://projetos.inpa.gov.br/ctpetro/pg_noticias.php?vID=119)>. Acesso em: 25 jan. 2012.

CAMARGO, Heloisa. Sorgo Sacarino é alternativa para produção de etanol. **Revista Globo Rural,** São Paulo. Disponível em: <http://revistagloborural.globo.com/Revista/Common/0,,EMI231692-18281,00-SORGO+SACARINO+E+ALTERNATIVA+PARA+A+PRODUCAO+DE+ETANOL.html>>. Acesso em: 25 jan. 2012.

CÁRCERES, Florival. **História Geral.** 4ª Edição. São Paulo: Editora Moderna.

CARDOSO, F. H.; MALAN, P.; JORGE, J. **Lei No 10.336, de 19 de dezembro de 2001.** Brasília: Presidência da República. Disponível em: <http://www.receita.fazenda.gov.br/legislacao/Leis/2001/lei10336.htm>>. Acesso em: 12 abr. 2001.

CEFETSP. **Palestinos x Israelenses.** Disponível em: <http://www.cefetsp.br/edu/eso/palestinosisraelenses3.html>>. Acesso em: 29 maio. 2012.

CERQUEIRA, Daniel A. **Síntese e caracterização de misturas poliméricas contendo acetato de celulose: aproveitamento de resíduos da cana-de-açúcar.** Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2009.

CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar, primeiro levantamento, abril/2012.** Brasília: [s.n.]. Disponível em: [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12\\_04\\_10\\_09\\_19\\_04\\_boletim\\_de\\_cana.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_04_10_09_19_04_boletim_de_cana.pdf)>. Acesso em: 15 jun. 2012.

Crise do petróleo pode beneficiar Brasil, avaliam especialistas. **G1,** São Paulo, 27 abr. 2008. Disponível em: [http://g1.globo.com/Noticias/Economia\\_Negocios/0,,MUL425387-9356,00.html](http://g1.globo.com/Noticias/Economia_Negocios/0,,MUL425387-9356,00.html)>. Acesso em: 06 jan. 2012.

CTBE. **Patentes impulsionam o setor sucroalcooleiro.** Disponível em: <<http://www.bioetanol.org.br/noticias/detalhe.php?ID=NDgy>>. Acesso em: 29 jul. 2012.

CUNHA, Antônio G. da. **Dicionário Etimológico Nova Fronteira da Língua Portuguesa.** Rio de Janeiro: Editora Nova Fronteira, 1982.

DE CAMPOS, Aline. G.; DA SILVA, Maria M.; DA SILVA, Marlene. A. **Hidrólise de Bagaço de Cana-de-açúcar para obtenção de etanol.** [S.l.]: FATEC, 2011.

EICHENBERG, F. **Etanol: EUA põe ponto final a protecionismo a produtores americanos.** Disponível em: <<http://br.noticias.yahoo.com/etanol-eua-p%C3%B5e-ponto-final-protecionismo-produtores-americanos-204555462.html>>. Acesso em: 29 maio. 2012.

EICHENBERG, F.; RODRIGUES, L.; BATISTA, H. G. **“Greencard” para o etanol brasileiro.** Disponível em: <<http://oglobo.globo.com/economia/greencard-para-etanol-brasileiro-3506004>>. Acesso em: 1 jun. 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Mandioca-doce vai virar etanol em escala industrial, diz Embrapa.** Disponível em: <[http://www.cenargen.embrapa.br/cenargenda/falaram\\_0109\\_1/57.pdf](http://www.cenargen.embrapa.br/cenargenda/falaram_0109_1/57.pdf)>. Acesso em: 25 jan. 2012.

ETHANOL BRASIL. **Brasil pode ganhar primeira usina de etanol celulósico.** Disponível em: <[http://ethanolbrasil.blogspot.com.br/2012/05/brasil-pode-ganhar-primeira-usina-de.html?utm\\_source=feedburner&utm\\_medium=feed&utm\\_campaign=Feed:+EthanolBrasilBlog+\(Ethanol+Brasil+Blog\)&utm\\_content=Google+Reader](http://ethanolbrasil.blogspot.com.br/2012/05/brasil-pode-ganhar-primeira-usina-de.html?utm_source=feedburner&utm_medium=feed&utm_campaign=Feed:+EthanolBrasilBlog+(Ethanol+Brasil+Blog)&utm_content=Google+Reader)>. Acesso em: 30 jul. 2012.

FAPESP. **Etanol de segunda geração com biogás.** São Paulo, 02 fev. 2012. Disponível em: <<http://agencia.fapesp.br/15120>>. Acesso em: 26 fev. 2012.

FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda. **Novo Dicionário Eletrônico Aurélio versão 5.0.** 3. ed. ver. Atual. Curitiba: Positivo, 2004.

FILHO, W. G. V.; JUSTINO, M.; MUTTON, R.; MUTTON, M. A. **Aguardente. Tecnologia de Bebidas: matéria-prima, processamento, BFC/APPCC, legislação e mercado.** 1. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2005. p. 485 a 524.

FOLHA DE SÃO PAULO. **Alcoolquímica atrai empresas e inicia novo ciclo no setor sucroenergético.** Disponível em: <<http://www.udop.com.br/index.php?item=noticias&cod=1081497>>. Acesso em: 31 mai. 2012.

G1. **Brasil perde 11 posições em ranking mundial de países inovadores.** Disponível em: <<http://g1.globo.com/economia/noticia/2012/07/brasil-perde-11-posicoes-em-ranking-mundial-de-paises-inovadores.html>>. Acesso em: 3 ago. 2012.

G1. **Petrobras Biocombustíveis prevê investir US\$ 2,4 bilhões até 2013.** Disponível em: <[http://g1.globo.com/Noticias/Economia\\_Negocios/0,,MUL1027787-9356,00-PETROBRAS+BIOCOMBUSTIVEIS+PREVE+INVESTIR+US+BILHOES+ATE.html](http://g1.globo.com/Noticias/Economia_Negocios/0,,MUL1027787-9356,00-PETROBRAS+BIOCOMBUSTIVEIS+PREVE+INVESTIR+US+BILHOES+ATE.html)>. Acesso em: 29 mai. 2012.

GLOBO RURAL. **Sorgo sacarino pode reforçar produção de etanol no Brasil**. Disponível em: <<http://g1.globo.com/economia/agronegocios/noticia/2011/06/sorgo-sacarino-pode-reforçar-produção-de-etanol-no-brasil.html>>. Acesso em: 19 jun. 2012.

GREENPEACE. **O Protocolo de Kyoto**. São Paulo, [entre 1997 e 2012]. Disponível em: <[http://www.greenpeace.org.br/clima/pdf/protocolo\\_kyoto.pdf](http://www.greenpeace.org.br/clima/pdf/protocolo_kyoto.pdf)>. Acesso em: 09 jan. 2012.

HARE, F. K. **World Conference on the Changing Atmosphere: Implications for Security, held at the Toronto Convention Centre, Toronto, Ontario, Canada, during 27–30 June 1988**. Disponível em: <<http://journals.cambridge.org/action/displayAbstract?fromPage=online&aid=5957696>>. Acesso em: 29 mai. 2012.

HAWES, W. L. Pasteur: Tireless Solver of Problems. **Good health for South Australia**, v. 125, n. Health, p. 1-3, 14 jul. 1963.

HOUAISS, Antônio. **Koogan/ Houaiss, enciclopédia e dicionário ilustrado**. 4. Ed. Rio de Janeiro: Seifer, 1999. ISBN 85-86185-01-9.

HOUGHTON J. T.; FILHO, L. G. Meira; CALLANDER, B. A.; HARRIS, N.; KATTENBERG, A.; MASKELL, K.. **Climate Change 1995. The Science of Climate Change**. Cambridge University Press, New York, Melbourne: Cambridge University Press, 1996.

HOUGHTON J. T.; JENKINS, G. J.; EPHRAUMS, J. J. **Climate Change. The IPCC Scientific Assessment**. Cambridge, New York, Melbourne: Cambridge University Press, 1990.

INOVAÇÃO TECNOLÓGICA. **Controle estrangeiro do setor sucroalcooleiro deve se acentuar**. Disponível em: <<http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=controle-estrangeiro-setor-sucroalcooleiro&id=020175111226>>. Acesso em: 26 fev. 2012.

EMBRAER. **Ipanema 1.200 a Etanol Impulsiona Sustentabilidade do Agronegócio**. Disponível em: <<http://www.embraer.com/pt-BR/ImprensaEventos/Press-releases/noticias/Paginas/IPANEMA-1200-A-ETANOL-IMPULSIONA-SUSTENTABILIDADE-DO-AGRONEGOCIO.aspx>>. Acesso em: 29 jul. 2012.

JONG, E. D.; REE, R. V.; TUIL, I. R. V. **Biorefineries for the chemical industry – A Dutch point of view**. Petten: [s.n.]. Disponível em: <[http://www.biorefinery.nl/fileadmin/biorefinery/docs/biorefineries\\_for\\_the\\_chemical\\_industry\\_a\\_dutch\\_point\\_of\\_view.pdf](http://www.biorefinery.nl/fileadmin/biorefinery/docs/biorefineries_for_the_chemical_industry_a_dutch_point_of_view.pdf)>. , [S.d.]

JURAS, Lídia da A. G. M. Mudança do Clima. **Câmara dos Deputados**. Brasília, 2009. Disponível em: <[http://bd.camara.gov.br/bd/bitstream/handle/bdcamara/3963/mudanca\\_clima\\_juras.pdf?sequence=1](http://bd.camara.gov.br/bd/bitstream/handle/bdcamara/3963/mudanca_clima_juras.pdf?sequence=1)>. Acesso em: 10 jan. 2012.

KOHN, S. **Brasil leva até oito anos para registrar patentes**. Disponível em: <[http://olhardigital.uol.com.br/negocios/digital\\_news/noticias/os-brasileiros](http://olhardigital.uol.com.br/negocios/digital_news/noticias/os-brasileiros)>. Acesso em: 3 ago. 2012.

KOSARIC, N.; DUVNJAK, Z.; FARKAS, A. *et al.* Ethanol. **Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry**. 6th. ed. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2011. p. 333 a 403.

KOVARIK, Bill. *Henry Ford, Charles F. Kettering and the Fuel of the Future*. **Automotive History Review**, Spring, n. 32, p. 7-27, 1998. Disponível em: <<http://www.radford.edu/wkovarik/papers/fuel.html>>. Acesso em: 06 jan. 2012.

LAMONICA, H. M. **Produção de vapor e eletricidade – A evolução do setor sucroalcooleiro centro de tecnologia canavieira**. Pirassununga: [s.n.]. Disponível em: <<http://www.fzea.usp.br/green/downloads/5 - Helcio M. Lamonica.pdf>>. , 2007. Acesso em: 28 mai. 2012.

LEAHY, J.; ED CROOKS. **A sustainable sugar rush**. Disponível em: <<http://www.ft.com/intl/cms/s/0/08ae5706-9a00-11e1-acb-00144feabdc0.html#axzz2299iaUd9>>. Acesso em: 30 jul. 2012.

LOPES, J. J. C. **Destilação, retificação e desidratação**. . Araras: [s.n.]. Disponível em: <<http://www.etanol.ufscar.br/04-09-2008/1st-ethanol-week-destilacao-retificacao-e-desidracao.pdf>>. Acesso em: 14 jun. 2012.

MACEDO, I.C.; SEABRA, J.E.A.; SILVA, J.E.A.R, S. (2008). “Greenhouse gases emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil: The 2005/2006 averages and a prediction for 2020”. *Biomass and Bioenergy*, v. 32, p. 582-595.

MACIEL, M. A. DE O.; MORAES, M. V. P. DE; TÁPIAS, A. L.; NETO, R. T. **Decreto No 3.546, de 17 de julho de 2000**. . Brasília: [s.n.]. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/D3546.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/D3546.htm)>. Acesso em: 31 mai. 2012.

MAGRO, F. J.; TAKAO, G.; CAMARGO, P. E.; TAKAMATSU, S. Y. **Biometria em cana-de-açúcar**. Piracicaba: [s.n.]. Disponível em: <[http://www.lpv.esalq.usp.br/lpv0684/Biometria em cana-de-acucar exemplo de texto aluno.pdf](http://www.lpv.esalq.usp.br/lpv0684/Biometria%20em%20cana-de-acucar%20exemplo%20de%20texto%20aluno.pdf)>. , 2011. Acesso em: 28 mai. 2012.

MARSHALL, J. *Human activities generate more of the greenhouse gas in under three days than volcanoes do in a year*. Disponível em: <<http://news.discovery.com/earth/volcanoes-co2-people-emissions-climate-110627.html>>. Acesso em: 25 set. 2012.

MERCK KGaA. **100974 Etanol**. Darmstadt, Alemanha, 2012. Disponível em: <[http://www.merck-chemicals.com/brazil/etanol/MDA\\_CHEM100974/p\\_uid?WT\\_oss=100974&WT\\_oss\\_r=1](http://www.merck-chemicals.com/brazil/etanol/MDA_CHEM100974/p_uid?WT_oss=100974&WT_oss_r=1)>. Acesso em: 11 jan. 2012.

Mesmo com alta do petróleo, Petrobras não prevê aumento da gasolina. **G1**. 27 abr. 2008. Disponível em: <[http://g1.globo.com/Noticias/Economia\\_Negocios/0,,MUL421472-9356,00-MESMO+COM+ALTA+DO+PETROLEO+PETROBRAS+NAO+PREVE+AUMENTO+NA+GASOLINA.html](http://g1.globo.com/Noticias/Economia_Negocios/0,,MUL421472-9356,00-MESMO+COM+ALTA+DO+PETROLEO+PETROBRAS+NAO+PREVE+AUMENTO+NA+GASOLINA.html)>. Acesso em: 06 jan. 2012.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR. **Alcool combustível**. Brasília, 2012. Disponível em: <<http://www.mdic.gov.br/sitio/interna/interna.php?area=2&menu=999>>. Acesso em: 17 jan. 2012.

NASSER, G. A. **Suez Canal Company Nationalization Law**. . Suez: [s.n.]. Disponível em: <[http://www.suezcanal.gov.eg/Files/Suez Canal Company Nationalization Law.pdf](http://www.suezcanal.gov.eg/Files/Suez%20Canal%20Company%20Nationalization%20Law.pdf)>. Acesso em: 31 mai. 2012.

NATALI, ADRIANA. O português no mundo árabe. **Revista Língua Portuguesa**, São Paulo. Disponível em: <<http://revistalingua.uol.com.br/textos.asp?codigo=11421>>. Acesso em: 11 jan. 2012.

NOBRE, Carlos A.; ASSAD, Eduardo D. O Aquecimento Global e o Impacto na Amazônia e na Agricultura Brasileira. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**, São Paulo, 2005. Disponível em: <<http://mtc-m18.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/ePrint%4080/2005/09.12.12.51/doc/v1.pdf>> Acesso em: 10 jan. 2012.

OLICANA. **Colheita mecanizada da cana-de-açúcar**. Disponível em: <<http://www.olicana.com.br/noticias=ler.php?id=292>>. Acesso em: 30 jul. 2012.

OLIVEIRA, L. G. DE; MANTOVANI, S. M. Transformações biológicas: contribuições e perspectivas. **Química Nova vol.32 no.3**, 2009.

OPEC. **Member Countries**. Disponível em: <[http://www.opec.org/opec\\_web/en/about\\_us/25.htm](http://www.opec.org/opec_web/en/about_us/25.htm)>. Acesso em: 29 maio. 2012.

OPEC. **OPEC Statute 2008**. [S.l: s.n.]. Disponível em: <[http://www.opec.org/opec\\_web/static\\_files\\_project/media/downloads/publications/OS.pdf](http://www.opec.org/opec_web/static_files_project/media/downloads/publications/OS.pdf)>. Acesso em: 31 mai. 2012.

PARAZZI, C. **Matérias-primas da fermentação etanólica**. . São Carlos: [s.n.], [S.d.]

PEREIRA, R. EUA têm exportação recorde de etanol. **O Estado de São Paulo**, 2011. Disponível em: <<http://m.estadao.com.br/noticias/impreso,eua-tem-exportacao-recorde-de-etanol,770260.htm>>. Acesso em: 24 set. 2012.

PETERS-STANLEY, Molly; HAMILTON, Katherine; MARCELLO, Thomas; SJARDIN, Milo. *Back to the Future: State of the Voluntary Carbon Markets 2011*. **ECOSYSTEM MARKETPLACE; BLOOMBERG NEW ENERGY FINANCE**, Washington, D.C., 02 jun. 2011.

PETROBRAS. **Energia para bons negócios - Linha do Tempo**. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/minisite/memoria/comercializacao/index.html>>. Acesso em: 29 maio. 2012.

PONTES, N. **Fim da proteção ao etanol nos EUA não deve elevar exportação brasileira**. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/clipping/show.asp?cppCode=42EB9F93-7E00-4807-BA5F-C2B476A8BE6A>>. Acesso em: 29 maio. 2012.

PURCINO, A. Á. C. Sorgo sacarino na Embrapa: histórico, importância e usos. **Embrapa Agroenergia**, p. 52, ago 2011.

RAÍZEN. **Tecnologia na produção de etanol**. Disponível em: <<http://www.raizen.com/pt/segmento-de-negocios/etanol.aspx>>. Acesso em: 31 maio. 2012.

RECEITA FEDERAL. **Lei nº 10.336, de 19 de dezembro de 2001, de 19 de dezembro de 2001.** Disponível em: <<http://www.receita.fazenda.gov.br/legislacao/Leis/2001/lei10336.htm>>. Acesso em: 31 jan. 2012.

REUTERS. **Importação brasileira de etanol cairá 66% em 12/13.** Disponível em: <<http://br.reuters.com/article/businessNews/idBRSPE83B08J20120412>>. Acesso em: 16 mai. 2012.

RIO20.GOV.BR. **Sobre a Rio+20.** Disponível em: <[http://www.rio20.gov.br/sobre\\_a\\_rio\\_mais\\_20](http://www.rio20.gov.br/sobre_a_rio_mais_20)>. Acesso em: 16 jun. 2012.

ROTHER, Lary. *In Brazil, fuel of the future has already arrived.* **New York Times**, Nova York, 10 abr. 2006. Disponível em: <<http://www.nytimes.com/2006/04/10/world/americas/10iht-ethanol.html>>. Acesso em: 06 jan. 2012.

SALVADOR, F. **Governo vai socorrer usinas de álcool com R\$ 2,5 bilhões.** Disponível em: <<http://www.estadao.com.br/noticias/impresso,governo-vai-socorrer-usinas-de-alcool-com-r-25-bilhoes,334414,0.htm>>. Acesso em: 29 mai. 2009.

SCALETSKY, Eduardo Carnos; OLIVEIRA, Lúcia V. de Santa Cruz. **Iniciando na pesquisa: manual para elaboração da monografia e projetos de iniciação científica.** 2. ed. Seropédica: EDUR, 1999. ISBN 85-85720-12-3.

SEBRAE AGRONEGÓCIOS. **Competitividade sobretaxada - Etanol brasileiro é atingido por tributação elevada nos Estados Unidos.** n. 5, jun 2007.

SOLOMON, Susan; QIN, Dahe; MANNING, Martin; MARQUIS, Melinda; AVERYT, Kristen; TIGNOR, Melinda M. B.; MILLER Jr., Henry, L.; CHEN, Zhenlin. *Climate Change 2007. Synthesis Report.* Cambridge University Press: Cambridge, United Kingdom, New York, NY, 2007.

Sorgo sacarino pode reforçar produção de etanol no Brasil. **G1**, São Paulo, 19 jun. 2011. Disponível em: <<http://g1.globo.com/economia/agronegocios/noticia/2011/06/sorgo-sacarino-pode-reforcar-pro-ducao-de-etanol-no-brasil.html>>. Acesso em: 26 jan. 2012.

UDOP. **De olho no mercado dos EUA, governo não perde tempo e oferece incentivo para plantação de cana e estocagem de etanol.** Disponível em: <<http://www.udop.com.br/index.php?item=noticias&cod=1080812>>. Acesso em: 31 mai. 2012.

UDOP. **Medidas para o etanol são bem vindas, mas não deverão atrair novos investimentos.** Disponível em: <<http://www.udop.com.br/index.php/mapa/tv/player/mapa/download/legislacao/trabalhista/leis/index.php?item=noticias&cod=1081770>>. Acesso em: 31 mai. 2012.

UDOP. **Não, não temos mais etanol.** Disponível em: <<http://www.udop.com.br/index.php?item=noticias&cod=1080807>>. Acesso em: 31 mai. 2012.

UDOP. **Proálcool pode morrer sem incentivo do governo, diz Biagi.** Disponível em: <<http://www.udop.com.br/index.php?item=noticias&cod=1080842>>. Acesso em: 31 mai. 2012.

UDOP. **Proálcool, este programa ainda pode dar certo.** Disponível em: <<http://www.udop.com.br/index.php?item=noticias&cod=886>>. Acesso em: 29 mai. 2012.

UDOP. **SP tem etanol mais barato do País e combustível continua a ser vantajoso no estado.** Disponível em: <<http://www.udop.com.br/index.php?item=noticias&cod=1081386#nc>>. Acesso em: 24 fev. 2012.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. **Carbonômetro.** São Paulo, 2012. Disponível em: <<http://www.etanolverde.com.br>>. Acesso em: 16 mai. 2012.

UNICA. **O maior projeto de capacitação e requalificação de cortadores de cana já realizado pelo setor sucroenergético.** Disponível em: <<http://unica.com.br/Renovacao/default.asp>>. Acesso em: 29 jul. 2012.

UNICA. **Setor Sucroenergético - Consecana.** Disponível em: <<http://www.unica.com.br/content/show.asp?cntCode={6ED1BE65-C819-4721-B5E7-312EF1EA2555}>>. Acesso em: 29 mai. 2012.

UNITED NATIONS. **Kyoto Protocol.** Disponível em: <[http://unfccc.int/kyoto\\_protocol/items/2830.php](http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php)>. Acesso em: 09 jan. 2012.

USI BIOREFINARIAS. **Funcionamento.** Disponível em: <<http://usibiorefinarias.com/view/640/funcionamento/>>. Acesso em: 1 jun. 2012.

USP/IQ. **Joseph Lous Gay-Lussac.** Disponível em: <<http://allchemy.iq.usp.br/metabolizando/beta/01/gay.htm>>. Acesso em: 4 jun. 2012.

VALOR ECONÔMICO. **Importador de etanol tem prejuízo em 2012.** Disponível em: <<http://www.udop.com.br/index.php?item=noticias&cod=1081485>>. Acesso em: 31 mai. 2012.

VEJA. **Antártida – Menos poluente, etanol usado no local é mais inflamável que diesel.** São Paulo, 27 fev. 2012. Disponível em: <<http://veja.abril.com.br/blog/reinaldo/geral/antartida-menos-poluente-etanol-usado-no-local-e-mais-inflamavel-que-diesel>>. Acesso em: 29 fev. 2012.

VEJA.COM. **Guerra do Golfo (1991).** Disponível em: <[http://veja.abril.com.br/idade/exclusivo/iraque/hist\\_golfo.html](http://veja.abril.com.br/idade/exclusivo/iraque/hist_golfo.html)>. Acesso em: 29 mai. 2012.

WATSON, Robert T. *Climate Change 2001. Synthesis Report.* Cambridge University Press, New York, Melbourne: Cambridge University Press, 2001.

WEISZFLOG, Walter. **Michaelis Moderno Dicionário da Língua Portuguesa versão 1.1.0.** Melhoramentos: 2010. ISBN 978-85-06-02759-2.



XAVIER, A. P. C. *et al.* **Fontes Energéticas: Enfoque em Petróleo e Biocombustíveis**-Campina Grande, 2011.

YERGIN, D. **O petróleo : uma historia de ganancia, dinheiro e poder**. Scritta ed. São Paulo: Scritta, 1993. p. 932

ZAFALON, M. **Etanol de segunda geração já compete com o de milho**. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/colunas/maurozafalon/1097574-etanol-de-segunda-geracao-ja-compete-com-o-de-milho.shtml>>. Acesso em: 30 jul. 2012.

## X ANEXOS

<b>X.1 Anexo 01: Publicações científicas   <i>Web of Science: 2000 a 2012</i></b>		
<b>#</b>	<b>Title=(biofuel and ethanol)</b>	<b>Area</b>
1	Determination of mercury in ethanol biofuel by photochemical vapor generation	Analytical Chemistry
		Spectroscopy
2	Biofuel ethanol adulteration detection using an ultrasonic measurement method	Energy & Fuels
		Chemical Engineering
3	Preparation of an Electrode Modified with an Electropolymerized Film as a Mediator of NADH Oxidation and Its Application in an Ethanol/O <sub>2</sub> Biofuel Cell	Analytical Chemistry
		Electrochemistry
4	Fundamentals of semi-crystalline poly(vinylidene fluoride) membrane formation and its prospects for biofuel (ethanol and acetone) separation via pervaporation	Chemical Engineering
		Polymer Science
5	Tribometer Investigation of the Frictional Response of Piston Rings when Lubricated with the Separated Phases of Lubricant Contaminated with the Gasoline Engine Biofuel Ethanol and Water	Chemical Engineering
		Mechanical Engineering
6	Macroeconomic effects of the Ethanol Biofuel Sector in Canada	Agricultural Engineering
		Biotechnology & Applied Microbiology
		Energy & Fuels
7	Tribometer investigation of the frictional response of piston rings with lubricant contaminated with the gasoline engine biofuel ethanol and water	Mechanical Engineering
8	Biofuel excision and the viability of ethanol production in the Green Triangle, Australia	Energy & Fuels
		Environmental Sciences & Ecology
9	Bio-Rad Biofuel Enzyme Kit: Teaching enzyme kinetics using cellulosic ethanol production as a model system	Chemistry, Multidisciplinary
10	Fermentation and biofuel research of wild mustard ( <i>Brassica campestris</i> ): A native Californian flora as a potentially viable source of ethanol production	Chemistry, Multidisciplinary
11	Development of nanostructured bioanodes containing dendrimers and dehydrogenases enzymes for application in ethanol biofuel cells	Biophysics
		Biotechnology & Applied Microbiology
		Analytical Chemistry
		Electrochemistry
12	Development of novel bioanodes for ethanol biofuel cell using PAMAM dendrimers as matrix for enzyme immobilization	Nanoscience & Nanotechnology
		Biophysics
		Biotechnology & Applied Microbiology
		Analytical Chemistry
		Electrochemistry
13	Effects of Biofuel Mandates In A Context Of Ethanol Demand Constraints, Cellulosic Biofuel Costs, And Compliance Mechanisms: Discussion	Nanoscience & Nanotechnology
		Agricultural Economics & Policy
		Economics

14	Integrated production of nano-fibrillated cellulose and cellulosic biofuel (ethanol) by enzymatic fractionation of wood fibers	Chemistry, Multidisciplinary
15	Experimental study of combustion characteristics of nanoscale metal and metal oxide additives in biofuel (ethanol)	Nanoscience & Nanotechnology
		Materials Science
		Applied Physics
16	Global Potential of Rice Husk as a Renewable Feedstock for Ethanol Biofuel Production	Energy & Fuels
		Environmental Sciences
17	Photosynthetic factories for manufacturing biofuel ethanol	Multidisciplinary Sciences
18	A membraneless biofuel cell powered by ethanol and alcoholic beverage	Biophysics
		Biotechnology & Applied Microbiology
		Analytical Chemistry
		Electrochemistry
19	Investigation of ethanol productivity of cassava crop as a sustainable source of biofuel in tropical countries	Nanoscience & Nanotechnology
		Biotechnology & Applied Microbiology
20	Developing Biofuel in the Teaching Laboratory: Ethanol from Various Sources	Chemistry, Multidisciplinary
		Education, Scientific Disciplines
21	SO <sub>2</sub> -Ethanol-Water Fractionation Of Forest Biomass And Implications For Biofuel Production By Abe Fermentation	Materials Science
		Paper & Wood
22	Plant genetic engineering for biofuel production: towards affordable cellulosic ethanol (Retraction of vol 9, pg 433, 2008)	Genetics & Heredity
23	Biofuel Combustion Chemistry: From Ethanol to Biodiesel	Chemistry, Multidisciplinary
24	An Ethanol/O <sub>2</sub> Biofuel Cell Based on an Electropolymerized Bilirubin Oxidase/Pt Nanoparticle Bioelectrocatalytic O <sub>2</sub> -Reduction Cathode	Chemistry, Multidisciplinary
		Physical Chemistry
25	Efficacy of bioimmobilization of selected oenological <i>Saccharomyces cerevisiae</i> strains for ethanol biofuel production	Biochemical Research Methods
		Biotechnology & Applied Microbiology
26	Watermelon juice: a promising feedstock supplement, diluent, and nitrogen supplement for ethanol biofuel production	Biotechnology & Applied Microbiology
27	CHED 83-Making biofuel in the teaching lab: Ethanol from grass	Chemistry, Multidisciplinary
28	Biofuel contribution to mitigate fossil fuel CO <sub>2</sub> emissions: Comparing sugar cane ethanol in Brazil with corn ethanol and discussing land use for food production and deforestation	Energy & Fuels
29	Energy lifecycle assessment and environmental impacts of ethanol biofuel	Energy & Fuels
		Nuclear Science & Technology
30	A Review: Comprehensive Comparison of Corn-Based & Cellulosic-Based Ethanol as a Biofuel Source	Energy & Fuels
		Environmental Engineering

31	A Review: Comprehensive Comparison of Corn-Based & Cellulosic-Based Ethanol as a Biofuel Source	Energy & Fuels
		Science & Technology - Other Topics
32	Enzymatic biofuel cell based on anode and cathode powered by ethanol	Biophysics
		Biotechnology & Applied Microbiology
		Analytical Chemistry
		Electrochemistry
		Nanoscience & Nanotechnology
33	Could 'green gasoline' displace ethanol as the biofuel of choice?	Physics, Multidisciplinary
34	Biofuels groups protest against OPEC . July fall in crude oil drags down US ethanol and Asian biodiesel . EU ethanol price increases in August . Canada sets 5% biofuel in gasoline by 2010	Biotechnology & Applied Microbiology
		Energy & Fuels
35	Biofuel alternatives to ethanol: pumping the microbial well	Biotechnology & Applied Microbiology
36	Plant genetic engineering for biofuel production: towards affordable cellulosic ethanol (Retracted article. See vol 11, pg 308, 2010)	Genetics & Heredity
37	Atmospheric emission of reactive nitrogen during biofuel ethanol production	Environmental Engineering
		Environmental Sciences
38	The Impact of Biofuel Production on Food Security: A Briefing Paper with a Particular Emphasis on Maize-to-Ethanol Production	Agricultural Economics & Policy
39	Oil giant picks partners for biofuel projects - BP starts work on ethanol production plant and invests in expanding crop plantation	Mechanical Engineering
40	HPLC analysis for the monitoring of fermentation broth during ethanol production as a biofuel	Analytical Chemistry
41	Cellulosic ethanol - Biofuel researchers prepare to reap a new harvest	Multidisciplinary Sciences
42	Are ethanol and other biofuel technologies part of the answer for energy independence?	Food Science & Technology
43	Development of bilirubin oxidase cathodes for ethanol/oxygen biofuel cells	Chemistry, Multidisciplinary
44	Direct electron transfer at the anode of an ethanol/air biofuel cell	Chemistry, Multidisciplinary
45	Development of a membraneless ethanol/oxygen biofuel cell	Electrochemistry
46	Ethanol wins big energy policy - But critics continue to question the value of producing the corn-derived biofuel	Chemistry, Multidisciplinary
		Chemical Engineering
47	Microfluidic ethanol biofuel cell	Chemistry, Multidisciplinary
48	Improving the lifetime, simplicity, and power of an ethanol biofuel cell by employing ammonium treated Nafion membranes to immobilize PQQ-dependent alcohol dehydrogenase.	Chemistry, Multidisciplinary
49	Microchip-based ethanol/oxygen biofuel cell	Biochemical Research Methods
		Chemistry, Multidisciplinary
		Nanoscience & Nanotechnology

50	Development of a novel biofuel blend using ethanol-biodiesel-diesel microemulsions: EB-diesel	Energy & Fuels
		Chemical Engineering
51	Development of membraneless ethanol/oxygen biofuel cell	Chemistry, Multidisciplinary
52	Mitsui develops alloy to refine ethanol biofuel from sugar cane	Agronomy
		Food Science & Technology
53	Thermodynamics of the corn-ethanol biofuel cycle	Plant Sciences
54	Employing quaternary ammonium salt-extracted nafion and poly(methylene green) in ethanol/oxygen biofuel cells	Chemistry, Multidisciplinary
55	Panel discussion: Feeding corn by-products from biofuel production ethanol coproducts - The good, the bad, the ugly	Agriculture
		Dairy & Animal Science

<b>X.2 Anexo 02: Patentes   <i>Derwent Innovations Index: 2000 a 2012</i></b>		
<b>#</b>	<b>Title=(biofuel and ethanol)</b>	<b>Area</b>
1	Composition useful for cellulose hydrolysis for the production of biofuel (e.g. ethanol), comprises a material containing cellulose and lignin, an aqueous solution comprising a divalent metal, and a cellulase	Chemistry
		Engineering
		Energy & Fuels
		Biotechnology & Applied Microbiology
2	New genetically engineered algae useful for producing cellulose for producing film material, artificial skin, food additive and ethanol for biofuel	N.A
3	Production of biofuel e.g. alcohol including ethanol, involves co-culturing polysaccharide-producing photosynthetic microorganisms with polysaccharide-consuming, biofuel-producing, non-photosynthetic microorganisms	Chemistry
		Engineering
		Energy & Fuels
		Biotechnology & Applied Microbiology
		Polymer Science
4	Making biofuel (e.g. jet fuel blend stock) from plant matter, comprises e.g. adding first solvent set comprising ethanol to plant biomass, separating first solid biomass fraction from the resultant, and combining with second solvent set	Chemistry
		Engineering
		Energy & Fuels
		Food Science & Technology
5	Use of tunicate or extract obtained from tunicate for production of alcohol or biodiesel biofuel e.g. ethanol	Chemistry
		Engineering
		Energy & Fuels
6	Biofuel composition, useful e.g. in biofuel and as direct fuel, fuel additive, fuel supplement or fuel for generation of power or electricity, comprises glycerin, water and at least one alcohol (ethanol or a glycol e.g. propylene glycol)	Chemistry
		Engineering
		Energy & Fuels
7	New plant e.g. forage plant, bio fuel crop, or legume comprising a down-regulated specific paralemmin transcription factor, useful for producing a commercial product such as ethanol, biodiesel, animal feed or fermentable biofuel feedstock	Chemistry
		Biotechnology & Applied Microbiology
		Instruments & Instrumentation
		Agriculture
8	Method for treating waste materials obtained from sugarcane production and cultivation of microalgae for producing biofuel, biomethane, biogas, ethanol and biofertilizer, involves mixing chemicals and water or wastewater with sugarcane	Chemistry
		Biotechnology & Applied Microbiology
		Agriculture
		Pharmacology & Pharmacy
9	New biologically pure culture of <i>Clostridium coskatii</i> useful for producing ethanol and acetate used as biofuel	Chemistry
		Engineering
		Energy & Fuels
		Biotechnology & Applied Microbiology
10	Producing biofuel, preferably ethanol, involves treating raw materials using microorganism cell culture solution, fermenting solution, distilling fermented solution, and dehydrating distillate	Chemistry
		Engineering
		Energy & Fuels
		Biotechnology & Applied Microbiology

11	Making fatty acid alkyl esters for producing biofuel and ethanol involves reacting feedstock with alcohol and acid catalyst, where the feedstock comprises free fatty acids or glycerides; and cellulosic material or proteins	Chemistry
		Engineering
		Energy & Fuels
		Biotechnology & Applied Microbiology
12	Producing hydrogen and methane gas useful as biofuel, involves using byproduct of ethanol fermentation of marine algae	Chemistry
		Engineering
		Energy & Fuels
		Biotechnology & Applied Microbiology
13	New beta-glucosidase (Bgl1) variant, useful for saccharification of cellulosic substrate, and for producing glucose, preferably, for conversion of biomass substrate to fermentable sugar, and ultimately to ethanol or other biofuel	Chemistry
		Biotechnology & Applied Microbiology
		Food Science & Technology
14	Preparing biofuel i.e. ethanol involves utilizing biomass raw material and culturing microbial cell and saccharifying, fermenting, distilling and dehydrating cultured cell	Chemistry
		Engineering
		Energy & Fuels
		Biotechnology & Applied Microbiology
15	Preparing ethanol used as biofuel, involves culturing microorganism in cell culturing solution and then saccharifying, fermenting and distilling materials	Chemistry
		Engineering
		Energy & Fuels
		Biotechnology & Applied Microbiology
16	New isolated <i>Saccharomyces cerevisiae</i> strain, useful for producing ethanol, which is useful as a biofuel in corn ethanol industry, and distiller's residue	Chemistry
		Engineering
		Energy & Fuels
		Biotechnology & Applied Microbiology
17	Producing ethanol useful for biofuel, by introducing gene encoding protein and enzyme related to alginic acid metabolism and gene encoding enzyme related to ethanol production into microorganism and culturing microorganism	Chemistry
		Engineering
		Energy & Fuels
		Biotechnology & Applied Microbiology
		Polymer Science
18	Producing saccharide, ethanol and lactic acid used as biofuel, involves performing alkali treatment process using raw material e.g. herb, and subjecting obtained cellulose fraction to saccharification	Chemistry
		Engineering
		Energy & Fuels
		Biotechnology & Applied Microbiology
		Food Science & Technology
19	New recombinant stress-resistant bacterium having a modified genome containing an inactive lactate dehydrogenase gene, useful for producing a biofuel, particularly ethanol	Chemistry
		Engineering
		Energy & Fuels
		Biotechnology & Applied Microbiology
20	New microorganism belonging to genus <i>Raoultella</i> , useful for treating wastewater containing glycerol by producing ethanol and hydrogen, used as biofuel	Chemistry
		Engineering
		Energy & Fuels
		Biotechnology & Applied Microbiology

		Water Resources
21	Method of producing fermentation end-products, preferably biofuel product, more preferably ethanol, involves fermenting lignocellulosic biomass comprising hexose and pentose saccharides with <i>Clostridium phytofermentans</i>	Chemistry Engineering Energy & Fuels Biotechnology & Applied Microbiology
22	Providing extruded pulp useful for producing biofuel e.g. ethanol and biogas, involves providing plant material comprising plant cells, and vacuum extruding plant material to break open intact plant cells resulting in extruded pulp	Chemistry Engineering Energy & Fuels Biotechnology & Applied Microbiology Agriculture Materials Science
23	Production of biofuel e.g. ethanol and acetic acid from plant material, involves incubating mixture containing <i>Saccharophagus degradans</i> and pulp comprising lignocellulose, collecting solids and fermenting solids to obtain product	Chemistry Engineering Energy & Fuels Biotechnology & Applied Microbiology Polymer Science Pharmacology & Pharmacy
24	Producing a biofuel comprising ethanol, comprises reducing the particle size of a substrate comprising biomass e.g. water hyacinth and cumbungi, and contacting the substrate with a biofuel producing enzyme	Chemistry Engineering Energy & Fuels Biotechnology & Applied Microbiology
25	Biomass, useful as an animal feed and a biofuel, comprises carbohydrates, fiber, protein, fat, ash and water, where the biomass is produced by the addition of unfermented citrus waste to an ethanol whole stillage	Chemistry Engineering Energy & Fuels Biotechnology & Applied Microbiology Food Science & Technology
26	Producing ethanol from cotton textiles, useful e.g. as biofuel and fuel in a gasoline vehicle, comprises pre-treatment of cotton textiles, enzymatic hydrolysis, filtration and fermentation	Chemistry Engineering Energy & Fuels Biotechnology & Applied Microbiology
27	New <i>Escherichia coli</i> e.g. <i>Escherichia coli</i> JH007, <i>Escherichia coli</i> JH016 or <i>Escherichia coli</i> JH01 used for producing alcohol e.g. 1-butanol, isobutanol, 1-propanol, isopropanol or ethanol used for producing biofuel	Chemistry Biotechnology & Applied Microbiology Pharmacology & Pharmacy
28	New recombinant expression vector useful for transformation of yeast used for producing biofuel e.g. ethanol from galactose-containing carbon source, comprises isolated polynucleotide encoding yeast small nucleolar RNA 84 gene	Chemistry Engineering Energy & Fuels Biotechnology & Applied Microbiology
29	High energy biofuel composition comprising ethanol and butanol, produced by performing fermentation of sugar bearing media using <i>Clostridium sporogenes</i>	Chemistry Engineering Energy & Fuels Biotechnology & Applied Microbiology Polymer Science



30	Biogenic production of e.g. ethanol, useful as biofuel, comprises culturing an engineered cyanobacterium in culture medium in the presence of light and carbon dioxide	Chemistry
		Engineering
		Energy & Fuels
		Biotechnology & Applied Microbiology
		Polymer Science
31	Fuel composition to produce petroleum fuel blend or biofuel comprises isoprene; isoprene and ethanol; or isoprene and petroleum fuel selected from gasoline, diesel, methane, ethane, butane, pentane, hexane, and heptane	Chemistry
		Engineering
		Energy & Fuels
32	Increasing fuel economy of an internal combustion engine consuming a biofuel, comprises introducing a performance-enhancing denaturant component to a biofuel with ethanol, and introducing a hydrocarbon-based fuel to the fuel mixture	Chemistry
		Engineering
		Energy & Fuels
33	New foam control agent used in fermentation process, e.g. biofuel, e.g. ethanol production, or sugar cane based bioethanol production	Chemistry
		Engineering
		Energy & Fuels
		Biotechnology & Applied Microbiology
34	New isolated or purified polypeptide having improved beta glucosidase activity compared to wild BGL1 protein, useful for hydrolysis of cellobiose into glucose and for the production of biofuel e.g. ethanol, butanol or isopropanol	Chemistry
		Engineering
		Energy & Fuels
		Biotechnology & Applied Microbiology
35	Producing bioethanol for use as biofuel or gasoline additive involves using Agavaceas family plants as raw materials, which contain carbohydrates that are processed by fermentation, distillation and dehydration to obtain ethanol	Chemistry
		Engineering
		Energy & Fuels
		Biotechnology & Applied Microbiology
36	Producing biofuel e.g. ethanol, comprises immobilizing microbial population on substrate, placing substrate in container, introducing feedstock into container, supplying oxygen to container and microbial population and fermenting feedstock	Chemistry
		Engineering
		Energy & Fuels
		Biotechnology & Applied Microbiology
37	Producing biofuel or bioenergy product, e.g. ethanol or biodiesel from home or municipal organic solid waste, by hydrolyzing cellulosic materials and synthesizing biofuel or bioenergy products in bioreactors by microbial action	Chemistry
		Engineering
		Energy & Fuels
		Biotechnology & Applied Microbiology
		Instruments & Instrumentation
38	Making biofuel e.g. ethanol involves reducing first biomass feedstock and mixing to form mash and combine first and second feedstock, exposing mash to shock wave and microorganism causing fermentation and distilling to produce fuel	Chemistry
		Engineering
		Energy & Fuels
		Biotechnology & Applied Microbiology
39	Manufacture of ethanol biofuel involves extracting hydrocarbon-type organic compound solution from cellulose raw material of bamboo and decomposing strongly acidic solution of hydrocarbon organic compound	Chemistry
		Engineering
		Energy & Fuels

40	Preservation of solar energy in heat form used for providing energy for organic waste treatment and biofuel production including marsh gas and ethanol, comprises insulating heat and storing energy	Chemistry
		Engineering
		Energy & Fuels
		Biotechnology & Applied Microbiology
		Instruments & Instrumentation
41	Increasing utilization rate of perennial pasture and its weed for producing green reproducible biofuel ethanol, by selecting lignin and cellulose degrading bacteria, inoculating cultures on medium, sieving, comparing enzymes and culturing	Chemistry
		Engineering
		Energy & Fuels
		Biotechnology & Applied Microbiology
42	Novel switchgrass cultivar Cimarron useful in lignocellulosic feedstock for producing biofuel ethanol, and useful as fuel pellets, substitute for coal in power generation, boiler fuel and solid biofuel	Chemistry
		Engineering
		Energy & Fuels
		Biotechnology & Applied Microbiology
43	Xenobiotic substrate integrated converter system for converting xenobiotic substrate (e.g. furan) to biofuel product (e.g. ethanol), has bioreactor for synthesizing biofuels product from biomass and/or biogas by microbial action	Chemistry
		Engineering
		Energy & Fuels
		Biotechnology & Applied Microbiology
		Pharmacology & Pharmacy
44	Reducing lignin content in plant biomass for producing biofuel e.g. ethanol, comprises ectopically expressing a gene in cells of plants from which the plant biomass is derived	Chemistry
		Biotechnology & Applied Microbiology
		Agriculture
45	Method useful for liquefying starch for producing biofuel, e.g. ethanol, involves liquefying aqueous slurry of starch-containing plant material in presence of alpha-amylase enzymes exhibiting different starch hydrolysis pattern	Chemistry
		Engineering
		Energy & Fuels
		Biotechnology & Applied Microbiology
46	Novel protein isolated from transgenic monocot plants transformed with 6-phospho-beta-glucosidase gene encoding beta-glucosidase, useful for degrading lignocellulose into fermentable sugars, e.g. ethanol used as biofuel	Chemistry
		Engineering
		Energy & Fuels
		Biotechnology & Applied Microbiology
		Agriculture
47	Biofuel (additive) making system comprises unreacted oil or fat storing vessel(s), enclosed vessel and mixer, vessel for mixing oil or fat with ethanol and catalyst, pressurized vessel, expansion vessel, and vessel with heating unit	Chemistry
		Engineering
48	New biofuel comprises ethanol derived from a genetically modified crop, useful for providing increased net energy value (NEV) and decreased net greenhouse gas emission to reduce its environmental impact	Chemistry
		Biotechnology & Applied Microbiology
		Agriculture
49	Biofuel, useful in combustion engine and as an additive for conventional fuels e.g. diesel, comprises frac-	Chemistry
		Engineering

	tion of triglyceride, monoglyceride, diglyceride, alkyl ester of fatty acid and ethanol	Energy & Fuels Biotechnology & Applied Microbiology
50	Modular membrane bioreactor for converting syngas into liquid product e.g. biofuel such as ethanol, comprises membrane modules having hollow fibers, membrane vessel for retaining modules, and gas supply conduit connected to fibers	Chemistry Engineering Energy & Fuels Biotechnology & Applied Microbiology
51	New eukaryotic cell, preferably <i>Saccharomyces cerevisiae</i> with accession number CBS 122885 or CBS 123039, useful for producing butanol and ethanol useful as a chemical or as a biofuel	Chemistry Engineering Energy & Fuels Biotechnology & Applied Microbiology
52	Biofuel i.e. ethanol, supplying device for e.g. four-stroke carburetor engine, has three-way ball valve comprising three ways respectively connected to ethanol tank, engine and unleaded petrol tank, where valve is made of plastic material	Chemistry Engineering Instruments & Instrumentation Polymer Science Transportation
53	Preparation of biofuel alcohol with Jerusalem artichoke comprises preparing alcohol steam by air stripping or decompress drawing, heating ethanol steam, and letting ethanol steam get rid of moisture in alcohol steam	Chemistry Engineering Energy & Fuels Biotechnology & Applied Microbiology
54	Producing bio-ethanol useful as biofuel involves hydroponically growing crop, extracting sugar from biomass of crop, fermenting and distilling extracted sugar and reusing carbon dioxide and/or water produced in fermentation for growing crop	Chemistry Engineering Energy & Fuels Biotechnology & Applied Microbiology Instruments & Instrumentation Agriculture
55	Production of ethanol from solid citrus waste for use as biofuel, by cooling separated heated citrus waste to form cooled citrus waste, and simultaneously or sequentially hydrolyzing and fermenting cooled citrus waste to produce ethanol	Chemistry Engineering Energy & Fuels Biotechnology & Applied Microbiology Food Science & Technology Polymer Science
56	Biofuel useful as component of motor fuel comprises dihydroxy methyl furan or other products obtained by hydrogenation of hydroxymethyl furfural, and mixtures of these compounds with ethanol, biodiesel and hydrocarbons	Chemistry Engineering Energy & Fuels
57	Batch fermentation process managing method for biofuel e.g. fuel ethanol, production process, involves controlling fermentation process based on determined values for fermentation process variables to maximize yeast growth	Engineering Computer Science
58	New cyanobacterium comprising a portion of an exogenous cellulose operon sufficient to express bacterial cellulose, useful for producing cellulose for conversion into ethanol as biofuel	Chemistry Engineering Energy & Fuels Biotechnology & Applied Microbiology Food Science & Technology

		Pharmacology & Pharmacy
		Materials Science
59	Alcohol e.g. ethanol, based biofuel distributing installation for motor vehicle e.g. truck, has protection units to prevent entry of water in biofuel storage tank and biofuel distributing circuit to detect accidental presence of water	Engineering
		Instruments & Instrumentation
60	Producing biofuel comprises supplying waste methanol/ethanol coming from ethanol production plants, and unused vegetable oils (triglyceride)	Chemistry
61	Diesel vehicle detecting method for use when vehicle is present near petrol pump nozzle, involves stopping ethanol based biofuel distribution system equipped with petrol pump nozzle if nature of aspired vapor corresponds to that of air	Engineering
		Instruments & Instrumentation
		Transportation
62	Conversion of biomass containing, e.g. lignin, to produce ethanol or biofuel, involves converting wood biomass into fermentable sugars and removing residual lignin and extractives	Chemistry
		Engineering
		Energy & Fuels
		Biotechnology & Applied Microbiology
		Materials Science
63	New nucleic acid, useful in converting monolignols to allyl or propenyl phenols or in producing biofuel, preferably eugenol/chavicol or ethanol	Chemistry
		Biotechnology & Applied Microbiology
		Instruments & Instrumentation
		Agriculture
		Polymer Science
64	A method for industrial production of ethanol as a biofuel by fermenting glucose with an isolated strain of respiration-deficient yeasts from genus Kazachstania to produce ethanol and purifying the ethanol	Chemistry
		Engineering
		Energy & Fuels
		Biotechnology & Applied Microbiology
65	Producing biofuel components useful in biofuel e.g. ethanol involves applying first nutrient to water surface of ocean; harvesting first harvested portion of increased biomass; and processing first harvested portion into biofuel component	Chemistry
		Engineering
		Energy & Fuels
		Biotechnology & Applied Microbiology
		Food Science & Technology
66	Production system for biofuel including ethanol comprises enclosure containing plant advancer that moves plant from one position to another position, and harvester that removes plants from plant advancer	Chemistry
		Engineering
		Energy & Fuels
		Biotechnology & Applied Microbiology
67	Fluidized bed agricultural biofuel e.g. grain stillage syrup, energy i.e. heat, generating system for use in ethanol plant, has boiler extracting heat from combustion gases to produce steam and cooled combustion gases	Engineering
		Instruments & Instrumentation
68	Biofuel and the preparing method involves ethanol, isopropyl alcohol, methyl alcohol, naphtha, n-propanol, dimethylbenzene, neopentyl glycol, pyridine, acetone, methyl carbonate	Chemistry
		Engineering
		Energy & Fuels
69	Manufacture of ester composition comprising ethyl esters of linear monocarboxylic for use as biofuel in	Chemistry
		Engineering

	diesel engine, involves reacting vegetable or animal oil with methanol, and reacting resulting product with ethanol	Energy & Fuels
70	Method of preparing biofuel oil comprises adding methanol or ethanol and catalyst to daphniphyllum calycinum vegetable oil, carrying out ester exchange and obtaining biofuel oil which is the succedaneum of petrification liquid fuel	Chemistry Engineering Energy & Fuels
71	Producing ethanol useful as biofuel involves converting fibrous lignocellulosic raw material to solid and liquid fractions, hydrolyzing fibrous material with cellulase, followed by simultaneous fermentation and hydrolysis with cellulase	Chemistry Engineering Energy & Fuels Biotechnology & Applied Microbiology