

UNESP

Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá

**Guaratinguetá
2008**

GABRIELA AYRES NASCIMENTO

APROVEITAMENTO DE BAGAÇO EM USINAS DE ÁLCOOL E AÇÚCAR –
VENDA, QUEIMA OU HIDRÓLISE

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica na área de Transmissão e Conversão de Energia.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Roberto Carrocci

Co-Orientador: Prof. Dr. Luiz Fernando Costa Nascimento

Guaratinguetá

2008

DADOS CURRICULARES

GABRIELA AYRES NASCIMENTO

NASCIMENTO	01/05/1976 – SÃO PAULO – SP
FILIAÇÃO	Luiz Fernando Costa Nascimento
	Rosa Maria Ayres Nascimento
1996/2004	Curso de Graduação
	Engenharia Industrial Química – EEL – USP
2005/2008	Pós Graduação em Transmissão e Conversão de Energia, nível Mestrado, Unesp - Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar à Deus, por ter me dado coragem, força de vontade e estímulo para começar e terminar esse trabalho.

A minha família, por toda paciência, amor, carinho e força. A minha mãe Rosa por estar sempre ao meu lado, acreditando. Ao meu pai Luiz Fernando por toda orientação e ajuda, sempre me confortando.

Aos meus amigos, que agüentaram toda a tensão desses tempos. Principalmente a Priscila por toda ajuda, paciência e colaboração, desde a redação do texto até a apresentação. A Claudinha por todos os momentos de estímulo e dedicação.

A Unesp – Campus Guaratinguetá, pelo apoio acadêmico fornecido.

Ao meu Orientador Professor Doutor Luiz Roberto Carrocci por toda amizade, companheirismo, dedicação e paciência nesse tempo de trabalho.

A CAPES pelo apoio financeiro.

A todos os professores e funcionários do DEN – Departamento de Energia, principalmente ao Professor Doutor José Antonio Perrella Balestieri por toda ajuda e cooperação no desenvolvimento desse trabalho.

A todos que de maneira direta ou indireta ajudaram no desenvolvimento e término desse trabalho.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo avaliar as maneiras de uma melhor utilização do bagaço de Cana-de-Açúcar nas suas diferentes formas. Deve-se avaliar então o processo de produção de açúcar e álcool; o aumento da área de plantio de cana, assim como a quantidade produzida; além do destino do uso da cana e do bagaço. A variação do poder calorífero dos tipos de bagaço e seu valor comercial, varia de acordo com o seu tipo, cru, seco ou hidrolisado, item também discutido. O trabalho também apresenta um pouco da história da cana-de-açúcar, do açúcar, do álcool e do pró-álcool. A importância de se investir em novas tecnologias para se obter um grau de poluição menor e também um custo menor para as usinas sucroalcooleiras, é mostrado. Um maior aproveitamento do bagaço de cana nas usinas reduz os custos e aumenta o aproveitamento da matéria-prima em sua totalidade, considerando o seu valor comercial e sobre tudo seu valor energético. O bagaço em sua aplicação final, nos diferentes tipos, pode ser comparado economicamente e os resultados apresentam, numa primeira instância, algum balizamento para a destinação final desse resíduo da indústria sucroalcooleira, em função de suas características próprias.

Palavras-Chaves: resíduo sólido; bagaço; hidrólise; etanol de celulose.

ABSTRACT

The objective of this paper is to evaluate the methods for a better usage of sugar cane bagasse in its different forms. Therefore, the following aspects should be analyzed: the sugar and alcohol production process; the increase of cultivate area for sugar cane, as well as the amount produced; besides the destination of the use of cane and its bagasse. The variation of heating power of the kinds of bagasse and their commercial value, ranges according to its type, raw, dry or hydrolyzed, a topic also discussed here. The paper presents, too, a little of the history of sugar cane, sugar, alcohol and pro-alcohol. It's shown the importance of investing in new technologies in order to obtain a smaller degree of pollution and also reduced costs for the sugar-alcohol plant. A better use of sugar cane bagasse in the plants reduces the costs and provides total utilization of raw material, considering its commercial value and above all, its energy producing power. The bagasse in its final application, in different types, can be economically compared and the results show, at first, some allot for the final destination of this residue from the sugar-alcohol industry, in function of its own characteristics.

Key words: solid residue; bagasse; hydrolysis; cellulose ethanol.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Potencial de Geração de Energia Elétrica a partir de Resíduos Florestais	23
Figura 2 – Potencial de Geração de Excedente de Energia Elétrica no setor Sucroalcooleiro	24
Figura 3–Diagrama Esquemático dos Processos de Conversão Energética da Biomassa	26
Figura 4 – Diagrama do Fluxo de Processamento do Açúcar e do Álcool	37
Figura 5 – Nova Estrutura do Setor Elétrico Brasileiro	60
Figura 6 – Modelo Desverticalizado e Competitivo do Setor Elétrico Brasileiro	62
Figura 7 – Estrutura de Projeto	79
Figura 8 – Fluxograma de Produção – Açúcar, Álcool e Bioetanol excedente	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Cana-de-Açúcar Colhida	05
Tabela 2 – Consumo de Biomassa	19
Tabela 3 – Potencial e Perspectivas de Co-geração no Setor Sucroalcooleiro	25
Tabela 4 – Composição do Bagaço de Cana-de-Açúcar	30
Tabela 5 – Fluxo Médio de Consumo e Produção de Energia na Produção e Processamento da Cana-de-Açúcar para Etanol	32
Tabela 6 – Biomassa Energética	34
Tabela 7 – Composição Média da Cana-de-Açúcar	36
Tabela 8 – Capacidade de Geração Elétrica Instalada por Fonte e Sistema	56
Tabela 9 - Hidrólise Ácida e Enzimática de Bagaço de Cana para Produção de Etanol	86
Tabela 10 – Composição Química da Bagaço de Cana-de-Açúcar Cru	87
Tabela 11 - Composição do bagaço de cana-de-açúcar seco	89
Tabela 12 – Composição Química da Bagaço Hidrolisado sob diferentes tempos de Estocagem	91

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

HFCS	- High Fructose Corn Syrup
CNAL	- Conselho Nacional do Álcool
CENAL	- Comissão Executiva Nacional do Álcool
MEG	- Mistura de Etanol e Gasolina
CIMA	- Conselho Interministerial do Açúcar e do Álcool
ANFAVEA	- Associação Nacional de Fabricantes de Veículos Automotores
Única	- União da Indústria de Cana-de-Açúcar
Udop	- Usinas e Destilarias do Oeste Paulista
AIE/IAE	- Agência Internacional de Energia
DOE	- Departamento Americano de Energia
ANEEL	- Agência Nacional de Energia Elétrica
CENBIO	- Centro Nacional de Referência em Biomassa
BEN	- Balanço Energético Nacional
MME	- Ministério de Minas e Energia
Bé	- Graus Beaumé
Brix	- Porcentagem, por peso de Sólidos Solúveis
°GL	- Graus Gay-Lussac
DBO	- Demanda Biológica de Oxigênio
HTM	- High Test Melasse
INT	- Instituto Nacional de Tecnologia
DQO	- Demanda Química de Oxigênio
ELETROBRÁS	- Centrais Elétricas Brasileiras S.A.
SINTREL	- Sistema Nacional de Transmissão de Energia Elétrica
MAE	- Mercado Atacadista de Energia Elétrica
ONS	- Operador Nacional do Sistema Elétrico
ASMA	- Administrador do Mercado Atacadista de Energia
SEN	- Secretaria de Energia
PIE	- Produtor Independente de Energia Elétrica

PURPA	- Public Utilities Regulatory Policy Act
QF	- Qualifying Facilities
EWG	- Exempt Wholesale Generator
CPFL	- Companhia Paulista de Força e Luz
MtEP	- Milhões de Toneladas Equivalentes de Petróleo
Twh	- Tera Watt Hora (10^{12} wh)
Gwh	- Giga Watt Hora (10^9 wh)
Mwh	- Mega Watt Hora (10^6 wh)
Kwh	- Quilo Watt Hora (10^3 wh)
Gw	- Giga Watt
Mw	- Mega Watt
Kw	- Quilo Watt
TC	- Tonelada de Cana Processada
Kwh/tc	- Quilo Watt Hora por Tonelada de Cana Processada
MJ/tc	- Mega Joule por Tonelada de Cana Processada
bs	- Base Seca
t(bs)/ha	- Tonelada em Base Seca por Hectare
t(bs)/tc	- Tonelada em Base Seca por Tonelada de Cana Processada
Kgf/cm ²	- Quilograma Força por cm ²
m/s	- Velocidade – Metros por segundo
MPa	- Mega Pascal (9,869 atm)
atm	- Unidade de Pressão – Atmosférica
Nm ³	- Unidade de Pressão – Normal Metro Cúbico
KJ/Nm ³	- Quilo Joule por Normal Metro Cúbico
mg/l	- Miligrama por Litro
Kv	- Tensão Elétrica – Quilo Volt
BH	- Bagaço Hidrolisado
pH	- Potencial Hidrogeniônico
Procon	- Fundação de Proteção e Defesa do Consumidor
MPO	- Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão
BNDES	- Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social

LISTA DE SÍMBOLOS

PCI	Poder Calorífero Inferior	[kcal/kg]
h	Entalpia de Formação dos produtos e reagentes	[cal/mol]
CF	Custo Fixo	[R\$]
CV	Custo Variável	[R\$]
WTV	Trabalho da Turbina a vapor	[kJ]
WTG	Trabalho da Turbina a gás	[kJ]

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

LISTA DE SÍMBOLOS

Objetivo	01
1. Introdução	02
1.1 Cana-de-Açúcar	04
1.1.1 Origem	04
1.1 Açúcar	06
1.2.1 Origem	06
1.2 Álcool	09
1.3.1 Origem	09
1.3.2 Pró-álcool	10
1.3.2.1 Evolução do Programa Nacional do Álcool – Pro-álcool	10
1.3.2.2 Perspectivas para o Pró-Álcool	16
1.4 Biomassa	18
1.4.1 Disponibilidade de Recursos e Consumo de Biomassa	18
1.4.2 Tecnologias de Aproveitamento	26
1.4.3 Centrais Termoelétricas a Biomassa em Operação no Brasil	29
1.4.4 Bagaço de Cana-de-Açúcar	29
2. O Processamento Industrial da Cana-de-Açúcar no Brasil	32
2.1 A Indústria da Cana-de-Açúcar como Produtora de Energia	32
2.2 Os Processos Usados nas Usinas e Destilarias de Cana e Álcool	36
2.2.1 Matéria-Prima	36
2.2.2 O Transporte, Pesagem, Descarga e Armazenamento da Cana	37
2.2.3 A Extração do Caldo da Cana	38
2.2.4 O Preparo da Cana	39
2.2.5 Alimentação das Moendas	39
2.2.6 A Moagem da Cana	39

2.2.7 A Embebição	40
2.2.8 A Geração de Energia	41
2.3 A Produção de Açúcar	41
2.3.1 O Tratamento Preliminar do Caldo da Cana	41
2.3.2 A Pesagem do Caldo	42
2.3.3 O Tratamento Físico-Químico do Caldo	42
2.3.3.1 Sulfitação do Caldo	42
2.3.3.2 Tratamento com Cal	43
2.3.3.3 Aquecimento e Sedimentação	43
2.3.4 Filtragem	44
2.3.5 Evaporação	44
2.3.6 A Cristalização do Açúcar	44
2.3.7 A Centrifugação do Açúcar	45
2.3.8 A Secagem do Açúcar	45
2.4 A Produção de Álcool	45
2.4.1 O Tratamento do Caldo da Cana para Destilação	46
2.4.2 O Preparo do Mosto e da Levedura para o Processo de Fermentação	47
2.4.3 A Fermentação	47
2.4.4 A Centrifugação do Vinho	48
2.4.5 A Destilação	48
2.4.6 A Desidratação	48
2.4.7 Vinhoto	49
2.4.7.1 As Tecnologias de Aproveitamento do Vinhoto Empregadas no Brasil	50
2.4.7.1.1 A Fertirrigação usando o Vinhoto	53
2.4.7.1.2 A Biodigestão do Vinhoto	53
3. Setor Elétrico Brasileiro	54
3.1 As Características Técnicas do Setor Elétrico Brasileiro	55
3.2 A Reestruturação do Setor Elétrico Brasileiro	58
3.3 Aspectos Institucionais	59
4 Co-geração	66
4.1 História da Co-geração	68

4.2 Leis/Decretos Brasileiros de Co-geração	70
4.3 O Setor Sucroalcooleiro Brasileiro dentro do Contexto da Co-geração	72
4.4 O Emprego do Bagaço	74
4.5 Co-Geração nas Usinas	75
4.6 Considerações Gerais	78
5 Resultados – Comparações – Bagaço cru, bagaço seco e bagaço hidrolisado	82
5.1. Hidrólise	82
5.2. Bagaço cru e Bagaço seco	87
5.3 Bagaço hidrolisado	91
6 Discussão dos Resultados	92
7 Conclusão	94
7.1 Para Trabalhos Futuros	96
8 Referências Bibliográficas	97

OBJETIVO

O objetivo é a verificação da viabilidade técnica e econômica do uso do bagaço em diferentes destinos – entre eles a queima em caldeiras para geração de energia, venda, como adubo e ração animal, em fertilizantes, combustível para cerâmica e uso na hidrólise, visando o seu aproveitamento máximo para produção de álcool ou como fertilizante.

Será feita uma análise dos tipos de bagaço, cru, seco e hidrolisado, observando o seu poder calorífico, visando um melhor aproveitamento, uma redução de custos e um aumento na receita da usina.

1. INTRODUÇÃO

Em 1600 já existiam 200 engenhos que serviram também para formação de uma forte parcela da elite brasileira: os Senhores de Engenho. Eles cresceram fabricando açúcar e cachaça e só diversificaram suas atividades em 1931, quando o presidente Getúlio Vargas decretou o acréscimo à gasolina de 5% de álcool. Essa proporção variou muito ao longo dos anos, inclusive no início de 2006 quando o governo baixou de 25% para 20% a adição de álcool na gasolina devido ao aumento dos preços.

A indústria canavieira começou a crescer em São Paulo na segunda metade da década de 50, quando passou na frente do nordeste com usinas modernas e com melhores terras adaptadas ao cultivo da cana.

Com os incentivos fiscais e os investimentos privados na época do Pró-álcool o setor se transformou em uma agroindústria avançada, incorporando tecnologia no plantio e nas usinas. Mas sua imagem ficou abalada no final dos anos 80, quando o alto preço do açúcar no mercado externo fez os usineiros produzirem o adoçante em vez do álcool. Um dos atuais desafios do Brasil é aumentar a oferta de álcool combustível. (Revista Ciência e Tecnologia no Brasil – Fapesp, Abril de 2006, nº122).

O Brasil é hoje o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, uma indústria que gera uma receita anual de 8,7 bilhões de dólares. Apesar dos consideráveis avanços técnicos nos últimos 40 anos, ainda são necessários esforços consideráveis para reduzir os custos de produção.

Os principais resíduos da cana provenientes da produção de açúcar e álcool, a saber, o bagaço, a palha e o vinhoto, representam os maiores desafios da indústria.

O setor sucroalcooleiro é, por natureza, conservador e age com timidez na exploração de novas alternativas para o bagaço excedente. Por isso, o bagaço dificilmente é usado fora desse setor. Apenas uma pequena quantidade é usada pela indústria de suco de laranja, na produção de péletes e briquetes, e como ração animal após sofrer hidrólise.

A biomassa é uma fonte renovável de produção de energia em escala suficiente para desempenhar um papel expressivo no desenvolvimento de programas vitais de energias renováveis e na criação de uma sociedade ecologicamente mais consciente.

Embora seja uma fonte de energia primitiva, seu amplo potencial ainda precisa ser explorado. Depois de um longo período de negligência, o interesse pela biomassa como fonte de energia renasce e os novos avanços tecnológicos demonstram que ela pode tornar-se mais eficiente e competitiva. O Brasil é o pioneiro no ressurgimento de sistemas de energia da biomassa.

1.1. CANA-DE-AÇÚCAR

1.1.1 Origem

A cana-de-açúcar, procedendo da Nova Guiné, de ilha em ilha, através dos séculos, chegou à Índia uns dois mil anos antes da era cristã. Foram os gregos de Alexandre Magno que levaram a notícia da existência de uma planta que dava mel sem abelhas. Porém, aos árabes coube levar a cana-de-açúcar da Pérsia para as costas africanas do Mediterrâneo, sul da Sicília e sul da Espanha, donde os portugueses levaram-na para a ilha da Madeira. (www.ideiaonline.com.br).

A cana-de-açúcar foi introduzida no Brasil, logo após o descobrimento em Pernambuco e, em 1532, em São Paulo (Área de Operações Industriais 1 – A01- 1995), Martim Afonso de Souza, de parceria com o genovês Giuseppe Adorno, fundou em São Vicente o engenho dos Erasmos, nome de seu financiador alemão. Foi esse o primeiro engenho de açúcar no Brasil. Logo em seguida, Duarte Coelho fundou outro em Pernambuco que, devido à maior proximidade com a Europa e o clima mais favorável ao cultivo de cana-de-açúcar, suplantou São Vicente de muito. Mesmo assim a cana-de-açúcar continuou a ser cultivada por engenhocas de pinga e rapadura e a fazer parte das tradicionais lavouras da Capitania Bandeirante (www.ideiaonline.com.br).

Inicialmente, a cana destinava-se basicamente à produção de açúcar, e, como o açúcar, era um produto de grande aceitação na Europa e alcançava um grande valor. Seria uma forma de Portugal lucrar com o comércio de açúcar, além de começar o povoamento do Brasil. Para melhor organizar a colônia, o rei resolveu dividir o Brasil em Capitânicas Hereditárias. O território foi dividido em faixas de terras que foram doadas aos donatários. Estes podiam explorar os recursos da terra, porém ficavam encarregados de povoar, proteger e estabelecer o cultivo de cana-de-açúcar. No geral, o sistema de Capitânicas Hereditárias fracassou, em função da grande distância da metrópole, da falta de recursos e dos ataques indígenas e piratas. As Capitânicas de São Vicente e Pernambuco foram as únicas que apresentaram resultados satisfatórios, graças aos investimentos do rei e de empresários (www.suapesquisa.com/colonia/).

Foi com a vinda de Morgado de Mateus, 1765, que de novo a cultura da cana-de-açúcar foi incentivada, agora na região conhecida por quadrilátero do açúcar: Campinas, Itu, Capivari, Piracicaba. Mais tarde, já no século XIX, no estado de São Paulo, a cana foi superada pelo café. Somente na segunda metade do século XX começou a retomar o seu lugar preferencial na agricultura paulista (www.ideiaonline.com.br). Até a segunda guerra mundial, a agroindústria canavieira se concentrava na região Nordeste, quando foi paulatinamente sendo transferida para região Centro-Sul, em função de melhores condições sócio-econômicas e agrícolas. A partir de 1950, o país passou à liderança mundial de produção (Área de Operações Industriais 1 – A01 – 1995).

Após 1960, passou a ser cultura dominante de Ribeirão Preto e, com o advento do Pró-álcool, 1975, também desbancou Piracicaba de maior produtora de açúcar do país. Além do álcool, foi na região de Ribeirão Preto que se iniciou a co-geração de eletricidade. Hoje, outros produtos surgem na indústria sucroalcooleira, como ração para gado e peixe, fertirrigação, fermento para pão, levedura seca, ácido cítrico, plástico biodegradável e mais os provenientes do álcool químico, que vem substituir o uso do Petróleo.

Além do mais, a cana-de-açúcar é o vegetal que produz maior massa orgânica por hectare, muito mais que a Floresta Amazônica. Também a suplanta como sequestradora do carbono atmosférico. Planta conservacionista, evita a erosão provocada pela chuva, garantindo o futuro do solo e a sua fertilidade. A tão criticada queimada da cana, com a mecanização, caminha para o fim (www.ideiaonline.com.br).

A cana-de-açúcar é uma cultura perene, com ciclo de produção de 5 a 7 anos. Dela se extrai a sacarose, produto básico para produção de açúcar e álcool, que se encontra no sumo da planta madura. A composição média da cana colhida é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 – Cana-de-Açúcar colhida

Composição	Porcentagem (%)
Celulose	8 – 16
Sacarose	7 – 20
Água	70 – 75

Fonte: Área de Operações Industriais 1 – 1995.

A produção mundial de cana está concentrada nos países em desenvolvimento, especialmente América Latina e Oriente, com mais de 90% da produção, mas é também plantada em larga escala nos EUA, Austrália e Japão (Área de Operações Industriais 1 – A01 – 1995).

Essa expansão do mercado promoveu uma diversificação dos produtos provenientes da cana, entre eles o melaço, a rapadura e a aguardente, produtos muito comercializados com mercados externos. O emprego da cana-de-açúcar para fabricação em escala de etanol (álcool hidratado e álcool anidro) data do século XX, tendo recebido um grande incentivo pelo Brasil nas décadas de 70 e 80, com o programa denominado Pró-álcool (Avaliação dos Reflexos do Protocolo de Kyoto no Setor Sucroalcooleiro).

1.2 AÇÚCAR

1.2.1 Origem

Antes de existir o açúcar, tal como conhecemos hoje, as duas únicas fontes de sabor doce no mundo eram o mel e a cana.

Durante centenas de anos o açúcar foi considerado uma especiaria extremamente rara e valiosa. Apenas nos palácios reais e nas casas nobres era possível consumir açúcar. Vendido nos boticários (as farmácias de então), o açúcar atingia preços altíssimos, sendo apenas acessível aos mais poderosos.

Com o descobrimento da América, o açúcar produzido pela rápida introdução da cana-de-açúcar neste novo continente, ainda sob condições pouco desenvolvidas, passou a ser uma mercadoria acessível a todas as camadas sociais.

Apesar do desenvolvimento das técnicas para produção de açúcar mostrada pelos europeus no século XVI, foi somente no século XIX, com a introdução da máquina a vapor, da evaporação, dos cozedores a vácuo e das centrífugas, como reflexo dos avanços apresentados pela Revolução Industrial, que a produção comercial de açúcar experimentou notáveis desenvolvimentos tecnológicos (www.acucarguarani.com.br/consumidor/historia.php).

O açúcar é também produzido a partir da beterraba, que cresce em regiões temperadas. A cana cresce em regiões tropicais e subtropicais, sendo responsável por aproximadamente 60% do total da produção mundial e, virtualmente, por todo o comércio internacional de açúcar.

Existem, ainda, os chamados açúcares alternativos, amplamente consumidos nos países desenvolvidos: High Fructose Corn Syrup (HFCS), glicose, sacarina, aspartame, dextrose e outros. O HFCS, o mais consumido, é obtido a partir de carboidratos (milho, arroz, batata, mandioca, etc) e responde por 7,1 % do consumo de adoçantes no mundo.

O açúcar pode ser produzido a partir de processamento centrífugo ou não centrífugo. A maioria é produzida pelo processo centrífugo, obtendo a cristalização, um açúcar marrom, impuro conhecido como açúcar bruto. Esse açúcar pode ser consumido diariamente, mas a maior parte é processada, resultando num açúcar branco não refinado (demerara, cristal, etc.) e no açúcar refinado.

No Brasil, a região centro-sul domina a fabricação de açúcar cristal e refinado, enquanto o nordeste produz, em maior proporção, o tipo demerara que é destinado à exportação. Há que se ressaltar que os custos de produção de açúcar, no Brasil, estão entre os mais baixos do mundo, graças à evolução tecnológica ocorrida nas lavouras. A região centro-sul apresenta o menor custo e a região norte-nordeste o quarto maior.

Os maiores produtores mundiais de açúcar são UE (açúcar de beterraba), o Brasil, a Índia, os EUA e a China. A produção mundial apresenta-se, pela terceira safra consecutiva, inferior ao consumo, o que deverá provocar uma queda nos estoques globais e sustentar os preços altos.

O consumo nacional de açúcar totaliza 8 milhões de toneladas, que resulta num consumo per capita de 48 kg/hab/ano. Em termos de consumo doméstico, destaque-se que as preferências são diferentes entre as regiões. No centro-sul consome-se principalmente o açúcar refinado, enquanto no norte-nordeste a preferência é pelo cristal.

O mercado internacional de açúcar movimenta algo em torno de 30 milhões de ton/ano, o que representa 27% da produção mundial. Em países cuja produção é voltada principalmente para o mercado interno, há importantes subsídios. Para o Brasil, o mercado externo tem grande relevância, uma vez que 33% da sua produção é exportada. Os EUA, a extinta URSS e o Japão são os países que mais tem importado açúcar.

O Brasil exporta açúcar demerara, cristal e refinado. O açúcar demerara tem como mercado cativo os EUA e é exportado pelo nordeste, em função da maior proximidade dos portos da região em relação ao mercado importador e dos menores custos de embarque, por ser o açúcar enviado a granel. O açúcar cristal e o refinado são exportados principalmente pelo centro-sul.

Os principais mercados desses açúcares são África e, ultimamente, Ásia. O Brasil ganhou também, em 1994, o mercado da Rússia para o açúcar cristal, suprimindo as lacunas de Cuba, até então o principal fornecedor para o leste europeu. A infra-estrutura portuária atual impede um crescimento maior nas exportações e acaba por onerar o preço do produto.

Os preços do açúcar no mercado mundial seguiram um comportamento cíclico ao longo das últimas décadas de duração média entre 6 a 8 anos. De modo geral, os preços mostraram crescimento acentuado nos primeiros anos do ciclo, vindo a declinar rapidamente no final (Área de Operações Industriais 1 – A01 - 1995).

1.3. ÁLCOOL

1.3.1 Origem

A origem da palavra álcool deriva da língua árabe (*al*, o artigo “a” e *Kohol*, coisa sutil), empregada tanto para designar um líquido, como para um pó muito fino, usado na antigüidade pelas mulheres nas pálpebras, como ornamento. Embora seu processo de fabricação tenha sido divulgado pelos árabes na Europa, existem dúvidas se foram eles que descobriram a destilação.

Segundo o escritor Alexander King, a “fermentação de açúcares para a produção de álcool foi uma das primeiras invenções do homem, simultânea à moldagem das primeiras ferramentas”.

Vários povos antigos, como os chineses, pareciam conhecer a técnica, pois costumavam “ferver” certas infusões de plantas para delas extrair essências. Naquele país foram achadas fórmulas, que datam de 1.000 a.C., relatando a destilação de “espíritos fortes”, a partir da fermentação do arroz.

Durante séculos, essa técnica, considerada arte sagrada, foi privilégio dos alquimistas. Eles foram os primeiros químicos do mundo. Apesar de dominarem a técnica da destilação, os alquimistas não entendiam bem como ocorria o processo. Por volta de 1110, sabe-se que o álcool etílico puro era fabricado em Salerno, na Itália e, aos poucos, o processo desenvolveu-se com o emprego de desidratantes, como o carbonato de potássio.

O álcool é um produto nobre utilizado desde os tempos mais remotos no preparo de medicamentos, perfumes e bebidas, mas seu uso foi se ampliando para diversas finalidades industriais e fonte energética.

Com o surgimento do petróleo se rompem as tentativas de utilização do álcool como combustível, e até os anos 70 a gasolina reinou nos tanques dos veículos de todo o mundo, pois os árabes impuseram boicotes ao fornecimento do produto causando problemas aos países que haviam baseado seu desenvolvimento no petróleo e seus derivados.

O Brasil foi um dos únicos países que conseguiu atravessar a crise energética de forma inovadora, criando o primeiro programa de substituição da gasolina com utilização de um combustível limpo, renovável, nacional, e assim o aproveitamento da energia gerada a partir da fotossíntese tornou-se possível por causa da ampla oferta de cana-de-açúcar existente no País.

Graças à implementação do Programa Nacional do Álcool – Pro-álcool – foi possível desenvolver várias regiões do Brasil, interiorizando e descentralizando o progresso restrito principalmente aos grandes centros urbanos (www.biodieselbr.com/proalcool/pro-alcool.htm).

1.3.2 Pró-Álcool - Programa Brasileiro de Álcool

O PROÁLCOOL foi um programa bem-sucedido de substituição em larga escala dos derivados de petróleo. Foi desenvolvido para evitar o aumento da dependência externa de divisas quando dos choques de preço de petróleo. De 1975 a 2000, foram produzidos cerca de 5,6 milhões de veículos a álcool hidratado. Acrescido a isso, o Programa substituiu por uma fração de álcool anidro (entre 1,1% a 25%) um volume de gasolina pura consumida por uma frota superior a 10 milhões de veículos a gasolina, evitando, assim, nesse período, emissões de gás carbônico da ordem de 110 milhões de toneladas de carbono (contido no CO₂), a importação de aproximadamente 550 milhões de barris de petróleo e, ainda, proporcionando uma economia de divisas da ordem de 11,5 bilhões de dólares.

1.3.2.1 Evolução do Programa Nacional do Álcool – Pro-álcool

O Programa Nacional do Álcool ou *Pro-álcool* foi criado em 14 de novembro de 1975 pelo decreto nº 76.593, com o objetivo de estimular a produção do álcool, visando o atendimento das necessidades do mercado interno e externo e da política de combustíveis automotivos. De acordo com o decreto, a produção do álcool oriundo da cana-de-açúcar, da mandioca ou de qualquer outro insumo deveria ser incentivada por meio da expansão da oferta de matérias-primas, com especial ênfase no aumento da produção agrícola, da modernização e ampliação das destilarias existentes e da

instalação de novas unidades produtoras, anexas a usinas ou autônomas, e de unidades armazenadoras.

A cana-de-açúcar tem o mais alto retorno para os agricultores por hectare plantado. O custo de produção do açúcar no país é baixo, podendo dessa maneira competir no mercado internacional. Tal mercado é, entretanto, volátil e apresenta grandes oscilações de preços.

A produção mundial de açúcar em 2000 foi de 131 milhões de toneladas, sendo de cerca de 13% a participação do Brasil. As etapas na produção do açúcar e do álcool diferem apenas a partir da obtenção do suco, que poderá ser fermentado para a produção de álcool ou tratado para o açúcar. Caso a produção de açúcar se torne menos atrativa devido às reduções de preços internacionais, o que freqüentemente ocorre, poderá ser mais vantajosa a mudança na produção para álcool.

A decisão de produção de etanol a partir de cana-de-açúcar, além do preço do açúcar, é política e econômica, envolvendo investimentos adicionais. Tal decisão foi tomada em 1975, quando o governo federal decidiu encorajar a produção do álcool em substituição à gasolina pura, com o objetivo de reduzir as importações de petróleo, então com um grande peso na balança comercial externa. Nessa época, o preço do açúcar no mercado internacional vinha decaindo rapidamente, o que tornou conveniente a mudança de produção de açúcar para álcool.

No programa Brasileiro do Álcool, Pro-álcool, destacam-se cinco fases distintas:

1^a. 1975 a 1979 - Fase Inicial.

O esforço foi dirigido sobretudo para a produção de álcool anidro para a mistura com gasolina. Nessa fase, o esforço principal coube às destilarias anexas. A produção alcooleira cresceu de 600 milhões de l/ano (1975-76) para 3,4 bilhões de l/ano (1979-80). Os primeiros carros movidos exclusivamente a álcool surgiram em 1978.

2^a. 1980 a 1986 - Fase de Afirmação.

O segundo choque do petróleo (1979-80) triplicou o preço do barril de petróleo e as compras desse produto passaram a representar 46% da pauta de importações brasileiras em 1980. O governo, então, resolve adotar medidas para plena implementação do Pro-álcool. São criados organismos como o Conselho Nacional do Álcool - CNAL e a Comissão Executiva Nacional do Álcool - CENAL para agilizar o programa. A produção alcooleira atingiu um pico de 12,3 bilhões de litros em 1986-87, superando em 15% a meta inicial do governo de 10,7 bilhões de l/ano para o fim do período. A proporção de carros a álcool no total de automóveis de ciclo Otto (passageiros e de uso misto) produzidos no país aumentou de 0,46% em 1979 para 26,8% em 1980, atingindo um teto de 76,1% em 1986.

3^a. 1986 a 1995 - Fase de Estagnação.

A partir de 1986, o cenário internacional do mercado petrolífero é alterado. Os preços do barril de óleo bruto caíram de um patamar de US\$ 30 a 40 para um nível de US\$ 12 a 20. Esse novo período, denominado “contrachoque do petróleo”, colocou em xeque os programas de substituição de hidrocarbonetos fósseis e de uso eficiente da energia em todo o mundo. Na política energética brasileira, seus efeitos foram sentidos a partir de 1988, coincidindo com um período de escassez de recursos públicos para subsidiar os programas de estímulo aos energéticos alternativos, resultando num sensível decréscimo no volume de investimentos nos projetos de produção interna de energia.

A oferta de álcool não pôde acompanhar o crescimento descompassado da demanda, com as vendas de carro a álcool atingindo níveis superiores a 95,8% das vendas totais de veículos de ciclo Otto para o mercado interno em 1985.

Os baixos preços pagos aos produtores de álcool a partir da abrupta queda dos preços internacionais do petróleo (que se iniciou ao final de 1985) impediram a elevação da produção interna do produto. Por outro lado, a demanda pelo etanol, por parte dos consumidores, continuou sendo estimulada por meio da manutenção de preço relativamente atrativo ao da gasolina e da manutenção de menores impostos nos veículos

a álcool comparados aos à gasolina. Essa combinação de desestímulo à produção de álcool e de estímulo à sua demanda, pelos fatores de mercado e intervenção governamental assinalados, gerou a crise de abastecimento da entressafra 1989-90. Vale ressaltar que, no período anterior à crise de abastecimento houve desestímulo tanto à produção de álcool, conforme citado, quanto à produção e exportação de açúcar, que àquela época tinham seus preços fixados pelo governo.

A produção de álcool manteve-se em níveis praticamente constantes, atingindo 11,8 bilhões de litros na safra 1985-86; 10,5 bilhões em 1986-87; 11,5 bilhões em 1987-88; 11,7 bilhões em 1988-89 e 11,9 bilhões em 1989-90. As produções brasileiras de açúcar no período foram de 7,8 milhões de toneladas na safra 1985-86; 8,2 milhões em 1986-87; 7,9 milhões em 1987-88; 8,1 milhões em 1988-89 e 7,3 milhões de toneladas em 1989-90. As exportações de açúcar, por sua vez, reduziram-se nesse período, passando de 1,9 milhões de toneladas na safra 1985-86 para 1,1 milhões de toneladas na safra 1989-90.

Apesar de seu caráter efêmero, a crise de abastecimento de álcool do fim dos anos 1980 afetou a credibilidade do Pró-álcool, que, juntamente com a redução de estímulos ao seu uso, provocou, nos anos seguintes, um significativo decréscimo da demanda e, conseqüentemente, das vendas de automóveis movidos por esse combustível.

Devem-se acrescentar ainda outros motivos determinantes que, associados, também contribuíram para a redução da produção dos veículos a álcool. No final da década de 1980 e início da década de 1990, o cenário internacional dos preços do petróleo sofreu fortes alterações, tendo o preço do barril diminuído sensivelmente. Tal realidade, que se manteve praticamente como a tônica dos dez anos seguintes, somou-se à tendência, cada vez mais forte, da indústria automobilística de optar pela fabricação de modelos e motores padronizados mundialmente (na versão à gasolina). No início da década de 1990, houve também a liberação, no Brasil, das importações de veículos automotivos (produzidos, na sua origem exclusivamente na versão gasolina e diesel) e, ainda, a introdução da política de incentivos para o “carro popular” – de até 1000 cilindradas – desenvolvido para ser movido à gasolina.

A crise de abastecimento de álcool somente foi superada com a introdução no mercado do que se convencionou chamar de mistura MEG, que substituía, com igual

desempenho, o álcool hidratado. Essa mistura (60% de etanol hidratado, 34% de metanol e 6% de gasolina) obrigaria o país a realizar importações de etanol e metanol (que no período entre 1989-95 superou a 1 bilhão de litros) para garantir o abastecimento do mercado ao longo da década de 1990. A mistura atendeu as necessidades do mercado e não foram constatados problemas sérios de contaminação e de saúde pública.

4^a. 1995 a 2000 - Fase de Redefinição.

Os mercados de álcool combustível, tanto anidro quanto hidratado, encontram-se liberados em todas as suas fases de produção, distribuição e revenda, sendo os seus preços determinados pelas condições de oferta e procura. De cerca de 1,1 milhões de toneladas de açúcar que o país exportava em 1990 passou-se à exportação de até 10 milhões de toneladas por ano (dominando o mercado internacional e barateando o preço do produto). Questionou-se como o Brasil, sem a presença da gestão governamental no setor, encontrará mecanismos de regulação para os seus produtos (altamente competitivos): açúcar para o mercado interno, açúcar para o mercado externo, etanol para o mercado interno e etanol para o mercado externo. Dadas as externalidades positivas do álcool e com o intuito de direcionar políticas para o setor sucroalcooleiro, foi criado, por meio do decreto de 21 de agosto de 1997, o Conselho Interministerial do Açúcar e do Álcool - CIMA.

Segundo os dados da Associação Nacional de Fabricantes de Veículos Automotores – ANFAVEA, de 1998 a 2000, a produção de veículos a álcool manteve-se em níveis de cerca de 1%. A constituição da chamada “frota verde”, ou seja, o estímulo e a determinação do uso do álcool hidratado em determinadas classes de veículos leves, como os carros oficiais e táxis, tem provocado um debate entre especialistas da área econômica, contrários aos incentivos, e os especialistas da área ambiental, favoráveis aos incentivos ao etanol. Em 28 de maio de 1998, a medida provisória nº 1.662 dispôs que o Poder Executivo elevará o percentual de adição de álcool etílico anidro combustível à gasolina obrigatório em 22% em todo o território nacional até o limite de 24%.

Para a implementação do Pro-álcool, foi estabelecido, em um primeiro instante, um processo de transferência de recursos arrecadados a partir de parcelas dos preços da

gasolina, diesel e lubrificantes para compensar os custos de produção do álcool, de modo a viabilizá-lo como combustível. Assim, foi estabelecida uma relação de paridade de preços entre o álcool e o açúcar para o produtor e incentivos de financiamento para as fases agrícola e industrial de produção do combustível. Com o advento do veículo a álcool hidratado, a partir de 1979, adotaram-se políticas de preços relativos entre o álcool hidratado combustível e a gasolina, nos postos de revenda, de forma a estimular o uso do combustível renovável.

5^a. Fase Atual

Trinta anos depois do início do Pró-álcool, o Brasil vive agora uma nova expansão dos canaviais com o objetivo de oferecer, em grande escala, o combustível alternativo. O plantio avança além das áreas tradicionais, do interior paulista e do Nordeste, e espalha-se pelos cerrados. A nova escalada não é um movimento comandado pelo governo, como a ocorrida no final da década de 70, quando o Brasil encontrou no álcool a solução para enfrentar o aumento abrupto dos preços do petróleo que importava. A corrida para ampliar unidades e construir novas usinas é movida por decisões da iniciativa privada, convicta de que o álcool terá, a partir de agora, um papel cada vez mais importante como combustível, no Brasil e no mundo.

A tecnologia dos motores flex fuel veio dar novo fôlego ao consumo interno de álcool. O carro que pode ser movido à gasolina, álcool ou uma mistura dos dois combustíveis foi introduzido no País em março de 2003 e conquistou rapidamente o consumidor. Hoje a opção já é oferecida para quase todos os modelos das indústrias e, os automóveis bicombustíveis ultrapassaram pela primeira vez os movidos à gasolina na corrida do mercado interno. Diante do nível elevado das cotações de petróleo no mercado internacional, a expectativa da indústria é que essa participação se amplie ainda mais. A relação atual de preços faz com que o usuário dos modelos bicombustíveis dê preferência ao álcool.

A velocidade de aceitação pelos consumidores dos carros bicombustíveis, ou flex fuel, foi muito mais rápida do que a indústria automobilística esperava. As vendas desses veículos já superaram as dos automóveis movidos à gasolina. Os bicombustíveis

representaram 49,5% do total de automóveis e comerciais leves vendidos no mês, enquanto a participação dos movidos a gasolina ficou em 43,3%, segundo a Anfavea – Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. A preferência do mercado levou a Câmara Setorial de Açúcar e do Álcool, órgão ligado ao governo, a rever suas projeções e indicar que a participação da nova tecnologia deverá atingir 75% dos carros vendidos em 2006.

1.3.2.2 Perspectivas para o Pró-Álcool

Como na época das crises do petróleo dos anos 70, o mundo está empenhado em encontrar uma solução duradoura para seu problema energético. A preocupação ambiental se somou à redução dos estoques e à alta dos preços dos combustíveis fósseis para valorizar as fontes renováveis e menos poluentes de energia.

O setor energético no Brasil vem sofrendo diversas mudanças, como a tentativa de se retomar projetos que levem em conta o meio ambiente e o mercado de trabalho. Tendo-se como referência a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, o governo brasileiro tem mostrado interesse em manter e reativar o Pro-álcool, dado que o álcool combustível exerce um importante papel na estratégia energética para um desenvolvimento sustentado.

O surgimento, em todo o mundo, de novos tipos de veículos e tecnologias de motores (como é o caso dos motores de células a combustível e dos veículos “flex fuel”) tem provocado mudanças importantes na tradicional postura da indústria automobilística e de outros agentes atuantes no mercado.

As perspectivas de elevação do consumo do álcool se somam a um momento favorável para o aumento das exportações do açúcar, e o resultado é o início de uma onda de crescimento sem precedentes para o setor sucroalcooleiro.

Um estudo da Única aponta que o setor terá que atender até 2010 uma demanda adicional de 10 bilhões de litros de álcool, além de 7 milhões de toneladas de açúcar. A produção desta safra, iniciada em abril, deve ser de 17 bilhões de litros de álcool e 26 milhões de toneladas de açúcar. Para incrementar a produção, será preciso levar mais 180 milhões de toneladas de cana para a moagem, com uma expansão dos canaviais

estimada em 2,5 milhões de hectares até 2010. Esses investimentos deverão criar 360 mil novos empregos diretos e 900 mil indiretos.

Cerca de 40 novas usinas estão em projeto ou em fase de implantação, com um total de investimentos calculado em 3 bilhões de dólares. A maior parte delas concentra-se no oeste do Estado de São Paulo, ocupando espaço aberto pelo deslocamento da pecuária. Há 21 novas usinas em instalação na região, informa Luiz Guilherme Zancaner, presidente da Udop – Usinas e Destilarias do Oeste Paulista, associação fundada em 1985 para agrupar as destilarias ali implantadas no embalo do Pro-álcool. O oeste de São Paulo, segundo Zancaner, oferece custos menores de arrendamento em relação às regiões tradicionais do Estado e condições naturais de clima, solo e topografia adequadas para os canaviais. “Temos a vantagem de uma cana mais rica em açúcar que a da região de Ribeirão Preto, por causa do clima menos úmido”, diz ele (www.biodieselbr.com/proalcool).

1.4 BIOMASSA

Do ponto de vista energético, para fim de outorga de empreendimentos do setor elétrico, biomassa é todo recurso renovável oriundo de matéria orgânica (de origem animal ou vegetal) que pode ser utilizada na produção de energia. Assim como a energia hidráulica e outras fontes renováveis, a biomassa é uma forma indireta de energia solar. A energia solar é convertida em energia química, através da fotossíntese, base dos processos biológicos de todos os seres vivos.

Uma das principais vantagens da biomassa é que, embora de eficiência reduzida, seu aproveitamento pode ser feito diretamente, por intermédio da combustão em fornos, caldeiras etc. Para aumentar a eficiência do processo e reduzir impactos socio-ambientais, tem-se desenvolvido e aperfeiçoado tecnologias de conversão mais eficientes, como a gaseificação e a pirólise, também sendo comum a co-geração em sistemas que utilizam a biomassa como fonte energética. Pode-se observar a participação da biomassa em 30% dos empreendimentos de co-geração em operação no País.

A médio e longo prazo, a exaustão de fontes não-renováveis e as pressões ambientalistas poderão acarretar maior aproveitamento energético da biomassa. Atualmente, a biomassa vem sendo cada vez mais utilizada na geração de eletricidade, principalmente em sistemas de co-geração e no suprimento de eletricidade para demandas isoladas da rede elétrica.

1.4.1 Disponibilidade de Recursos e Consumo da Biomassa

Embora grande parte da biomassa seja de difícil contabilização, devido ao uso não-comercial, estima-se que, atualmente, ela possa representar até cerca de 14% de todo o consumo mundial de energia primária. Em alguns países em desenvolvimento, essa parcela pode aumentar para 34%, chegando a 60% na África (Tabela 2).

Tabela 2 Consumo de biomassa (MtEP)

País ou Região	Biomassa [1]	Outros	Total [2]	[1/2] %
Mundial	930	5.713	6.643	14
China	206	649	855	24
Leste Asiático	106	316	422	25
Sul da Ásia	235	188	423	56
América Latina	73	342	415	18
África	205	136	341	60
Países em desenvolvimento	825	1.632	2.457	34
Países da OCDE	81	3.044	3.125	3

Fonte: AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA – AIE. Nuclear power: sustainability, climate change and competition. Paris: IEA/OECD, 1998.

Atualmente, várias tecnologias de aproveitamento estão em fase de desenvolvimento e aplicação. Mesmo assim, estimativas da Agência Internacional de Energia (AIE) indicam que, futuramente, a biomassa ocupará uma menor proporção na matriz energética mundial – cerca de 11% em 2020 (AIE, 1998). Outros estudos indicam que, ao contrário da visão geral que se tem, o uso da biomassa deverá se manter estável ou até mesmo aumentar, por duas razões, a saber: i) crescimento populacional; ii) urbanização e melhoria nos padrões de vida. Um aumento nos padrões de vida faz com que pessoas de áreas rurais e urbanas de países em desenvolvimento passem a usar mais carvão vegetal e lenha, em lugar de resíduos (pequenos galhos de árvore, restos de materiais de construção etc.).

A precariedade e a falta de informações oficiais sobre o uso da biomassa para fins energéticos devem-se principalmente aos seguintes fatores: i) trata-se de um energético tradicionalmente utilizado em países pobres e setores menos desenvolvidos; ii) trata-se de uma fonte energética dispersa, cujo uso, via de regra, é ineficiente; iii) o uso da biomassa para fins energéticos é indevidamente associado a problemas de desflorestamento e desertificação.

Entretanto, essa imagem da biomassa está mudando, graças aos seguintes fatores: i) esforços recentes de mensuração mais acurada do seu uso e potencial, por meio de novos

estudos, demonstrações e plantas-piloto; ii) uso crescente da biomassa como um vetor energético moderno (graças ao desenvolvimento de tecnologias eficientes de conversão), principalmente em países industrializados; iii) reconhecimento das vantagens ambientais do uso racional da biomassa, principalmente no controle das emissões de CO₂ e enxofre.

No que concerne especificamente ao peso relativo da biomassa na geração mundial de eletricidade, embora difícil de avaliar, projeções da Agência Internacional de Energia (1998) indicam que ela deverá passar de 10 TWh em 1995 para 27 TWh em 2020 (AEI, 1998). Estudos indicam que, nos Estados Unidos, a capacidade instalada do parque gerador de energia oriunda de biomassa, no final dos anos 70, era de apenas 200 MW, subindo para 8,4 GW no início dos anos 1990. A maioria corresponde a plantas de co-geração, com utilização de resíduos agrícolas e florestais. Embora com eficiência termodinâmica relativamente baixa (18% a 26%), essas plantas têm sido economicamente competitivas.

Os custos foram avaliados em cerca de US\$ 1.400,00 por kW instalado e entre US\$ 65,00 e US\$ 80,00 por kWh gerado. As metas do Departamento Americano de Energia (DOE) são de 18 GW de capacidade instalada em 2010 e, para 2030, 100 GW. Espera-se que o desenvolvimento de novas tecnologias, como o acoplamento de sistemas de gaseificação e a integração da pirólise às turbinas a gás, aumentem substancialmente a eficiência termodinâmica das plantas e reduzam os custos de capital e geração. Em termos de eficiência, estima-se que os índices serão de 35% a 40%. Quanto aos custos, o kW instalado deverá ficar na faixa de US\$ 770,00 a US\$ 900,00 e o MWh gerado, entre US\$ 40,00 e US\$ 50,00.

No Brasil, a imensa superfície do território nacional, quase toda localizada em regiões tropicais e chuvosas, oferece excelentes condições para a produção e o uso energético da biomassa em larga escala. Além da produção de álcool, queima em fornos, caldeiras e outros usos não-comerciais, a biomassa apresenta grande potencial no setor de geração de energia elétrica.

No caso específico do Estado de São Paulo, é intensa a produção de biomassa energética por meio da cana-de-açúcar, sendo comparável à produção de energia hidráulica. O Estado é importador de eletricidade (40% do que consome) e exportador de álcool para o resto do País. Verifica-se, portanto, que, apesar da produção de biomassa

ser mundialmente considerada uma atividade extremamente demandante de terras, mesmo numa região com alta densidade demográfica é possível encontrar áreas para essa atividade. A maior parte da energia dessa biomassa é utilizada na produção do etanol – combustível líquido.

A produção de madeira, em forma de lenha, carvão vegetal ou toras, também gera uma grande quantidade de resíduos, que podem igualmente ser aproveitadas na geração de energia elétrica. Como ilustrado na Figura 1, os Estados brasileiros com maior potencial de aproveitamento de resíduos da madeira, oriunda de silvicultura, para a geração de energia elétrica, são Paraná e São Paulo. O tipo de produção de madeira, atividade extrativista ou reflorestamento, influi na distribuição espacial dos resíduos gerados. Nos casos de extração seletiva e beneficiamento descentralizado, o aproveitamento de resíduos pode se tornar economicamente inviável.

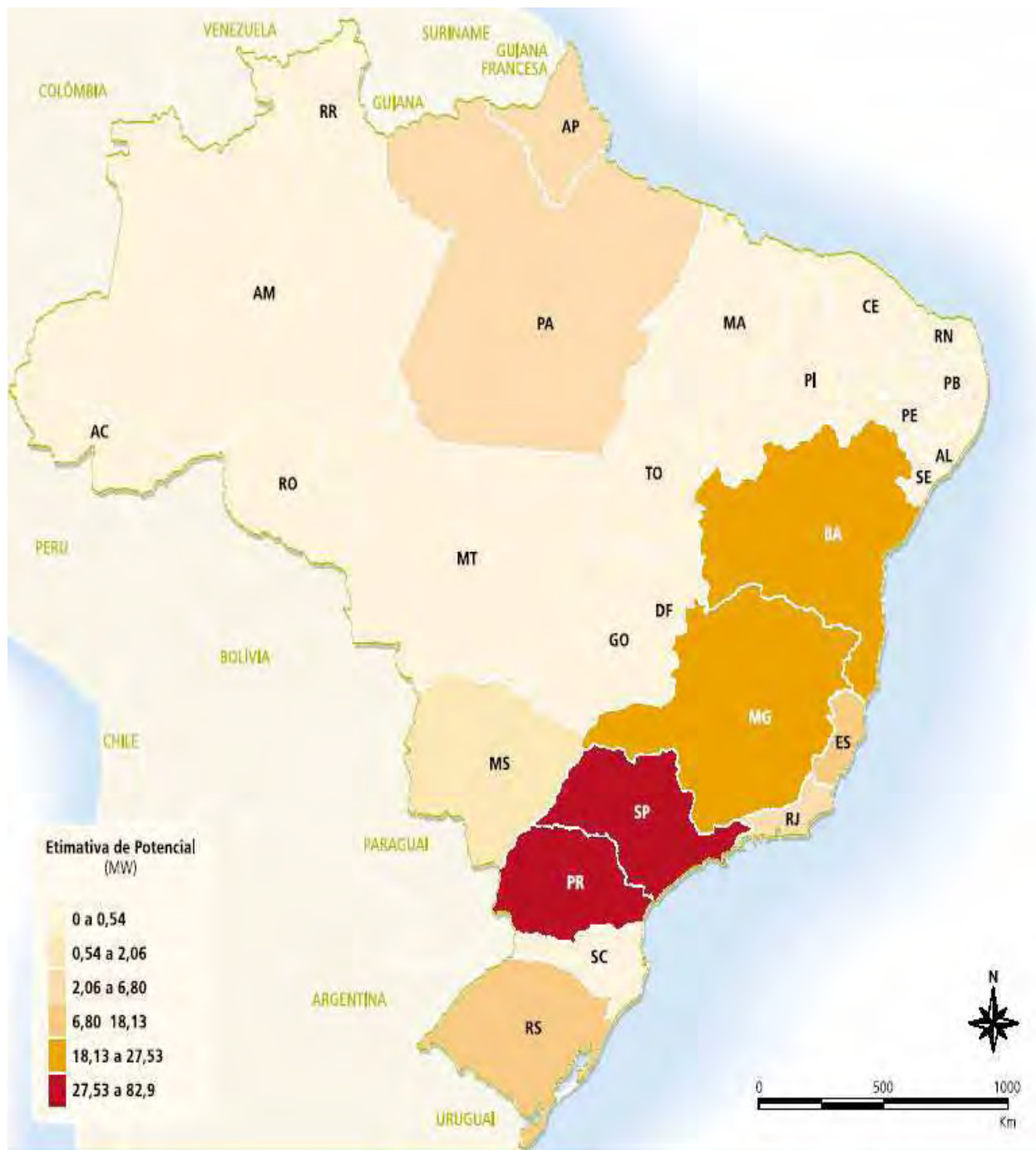
Atualmente, o recurso de maior potencial para geração de energia elétrica no País é o bagaço de cana-de-açúcar. A alta produtividade alcançada pela lavoura canavieira, acrescida de ganhos sucessivos nos processos de transformação da biomassa sucroalcooleira, têm disponibilizado enorme quantidade de matéria orgânica sob a forma de bagaço nas usinas e destilarias de cana-de-açúcar, interligadas aos principais sistemas elétricos, que atendem a grandes centros de consumo dos Estados das regiões Sul e Sudeste. Além disso, o período de colheita da cana-de-açúcar coincide com o de estiagem das principais bacias hidrográficas do parque hidrelétrico brasileiro, tornando a opção ainda mais vantajosa. O setor sucroalcooleiro gera uma grande quantidade de resíduos, que pode ser aproveitada na geração de eletricidade, principalmente em sistemas de co-geração. Ao contrário da produção de madeira, o cultivo e o beneficiamento da cana são realizados em grandes e contínuas extensões, e o aproveitamento de resíduos (bagaço, palha, etc.) é facilitado pela centralização dos processos de produção. A Figura 2 mostra o potencial de aproveitamento desses resíduos para geração excedente de energia elétrica, segundo cada Estado da Federação.

Na produção de etanol, cerca de 28% da cana é transformada em bagaço. Em termos energéticos, o bagaço equivale a 49,5%, o etanol a 43,2% e o vinhoto a 7,3%. Em média, cada tonelada de cana processada requer cerca de 12 kWh de energia elétrica, o que pode ser gerado pelos próprios resíduos da cana (palha, bagaço, vinhoto etc.). Os

custos de geração já são competitivos com os do sistema convencional de suprimento, o que possibilita a auto-suficiência do setor em termos de suprimento energético, por meio da co-geração.

Trabalho elaborado pelo Centro Nacional de Referência em Biomassa, com a colaboração de outras instituições e o apoio financeiro da ANEEL, indica um potencial técnico de co-geração de excedentes de energia elétrica de 3.851 MW no setor sucroalcooleiro do Brasil (CENBIO, 2002). Contudo, o referido trabalho também constata que apenas 133 MW estavam sendo comercializados em setembro de 2001, o que corresponde a cerca de 11% do potencial técnico dessas usinas e a somente 3,4% do referido potencial brasileiro. Não obstante, os dados também revelam que há perspectivas de 1.578 MW em novos projetos (348 MW em curto prazo, 772 MW em médio prazo e 458 MW em longo prazo), o que corresponde a 28% do potencial técnico indicado pelo levantamento. A Tabela 3 apresenta uma síntese desses resultados por unidade da federação.

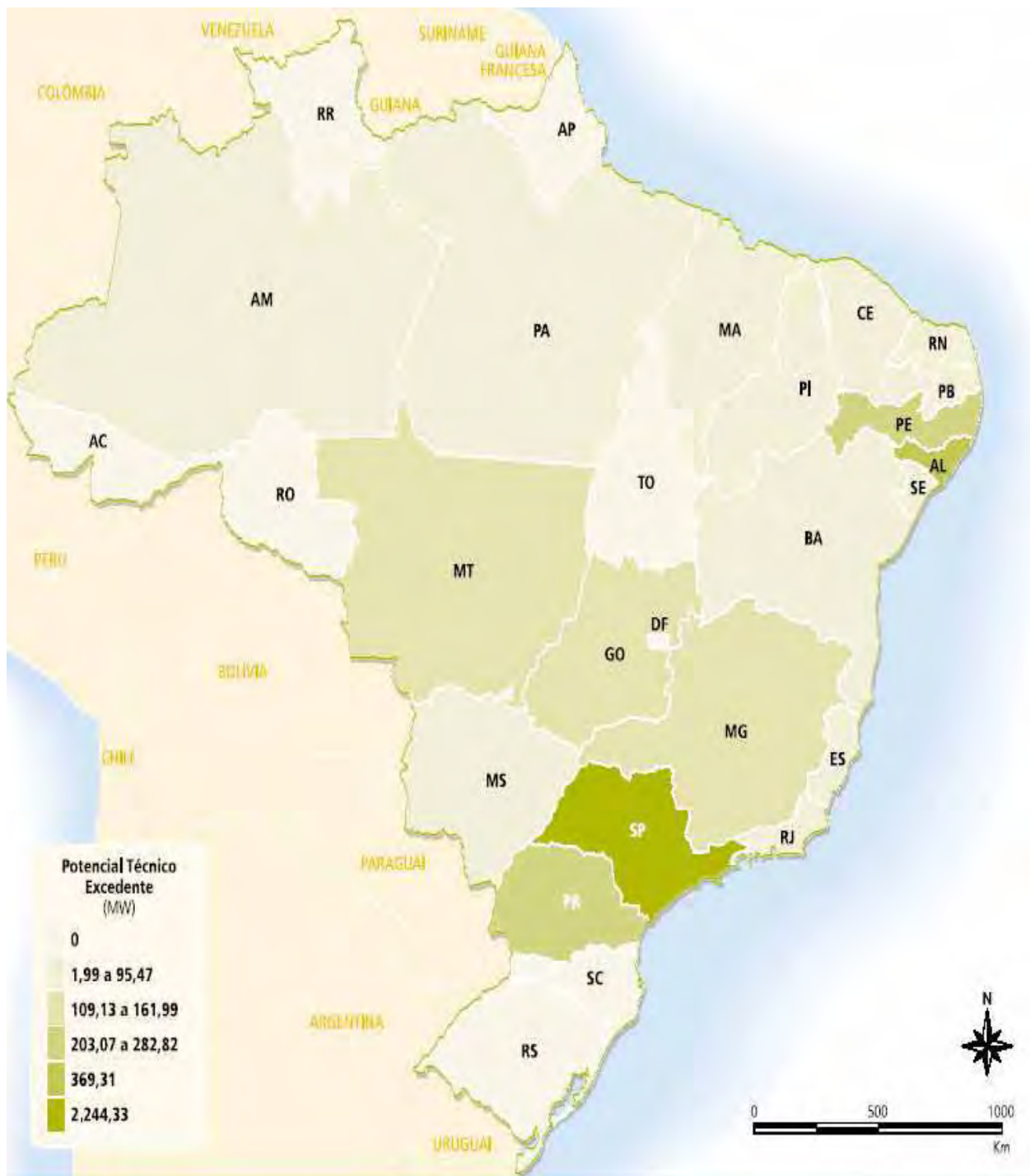
Potencial de geração de energia elétrica a partir de resíduos florestais (silvicultura)



Fonte: CENTRO NACIONAL DE REFERÊNCIA EM BIOMASSA – CENBIO. Panorama do potencial de biomassa no Brasil. Brasília; Dupligráfica, 2003. 80 p. (adaptado)

FIGURA 1

Potencial de geração de excedente de energia elétrica no setor sucroalcooleiro



Fonte: CENTRO NACIONAL DE REFERÊNCIA EM BIOMASSA – CENBIO. Panorama do potencial de biomassa no Brasil. Brasília; Dupligráfica, 2003. 80 p. (adaptado)

FIGURA 2

Tabela 3 Potencial e perspectivas de co-geração no setor sucroalcooleiro.*

Unidade da Federação	Potência Instalada (MW)	Excedente Comercializado (MW)	Potencial técnico de Co-geração (MW)	Perspectivas de Geração de Excedente (MW)	
				2003 – 2004	A partir de 2005
São Paulo	851	110	2.244	368	140
Alagoas	173	0	369	38	35
Pernambuco	102	0	203	10	44
Paraná	95	6	283	133	102
Mato Grosso	61	5	125	11	28
Goiás	50	5	109	107	21
Minas Gerais	50	0	162	41	2
Mato Grosso do Sul	37	0	95	18	33
Rio de Janeiro	30	0	60	19	15
Paraíba	26	0	52	10	0
Rio Grande do Norte	16	0	29	3	0
Espírito Santo	13	0	39	10	0
Bahia	13	0	33	2	9
Sergipe	7	0	21	3	17
Piauí	6	7	3	0	0
Maranhão	5	0	12	0	15
Pará	3	0	7	0	0
Amazonas	1	0	3	0	0
Ceará	1	0	2	0	0
Total	1.540	133	3.851	773	461

Fonte: CENTRO NACIONAL DE REFERÊNCIA EM BIOMASSA - CENBIO. Levantamento do Potencial Real de excedentes de co-geração no setor sucroalcooleiro - Relatório técnico. ANEEL: 2002.

(*) Considerando-se o uso de tecnologias eficientes, comercialmente disponíveis no Brasil. Ressalte-se que esses dados se referem a apenas 51% das usinas sucroalcooleiras do país que operavam em 2001, uma vez que as demais não responderam ao questionário utilizado no levantamento dos dados.

1.4.2 Tecnologias de Aproveitamento

O aproveitamento da biomassa pode ser feito por meio da combustão direta (com ou sem processos físicos de secagem, classificação, compressão, corte/quebra etc.), de processos termoquímicos (gaseificação, pirólise, liquefação e transesterificação) ou de processos biológicos (digestão anaeróbia e fermentação). A Figura 3 apresenta os principais processos de conversão da biomassa em energéticos.

As principais tecnologias de aproveitamento energético da biomassa são descritas a seguir:

Diagrama esquemático dos processos de conversão energética da biomassa

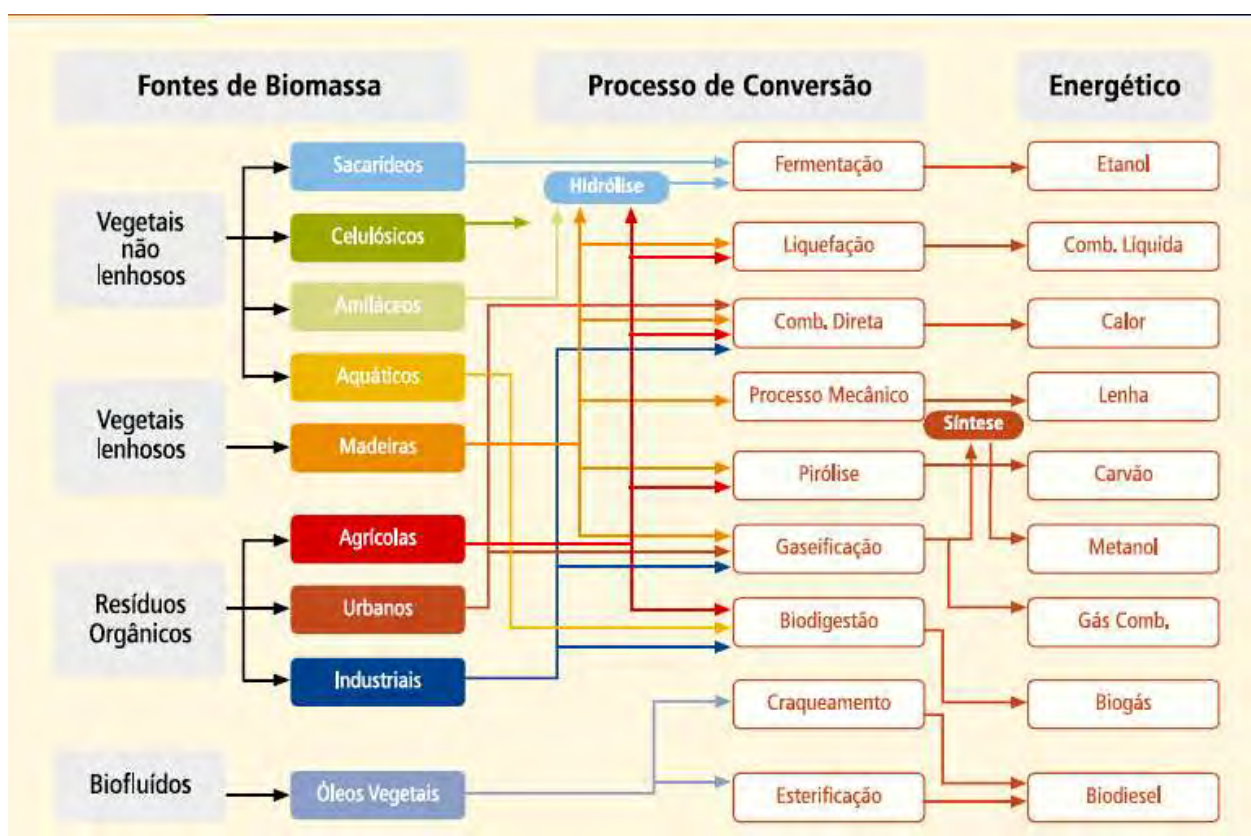


Figura 3

Fonte: BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL - BEN. Brasília: MME, 1982. (adaptado)

Combustão direta: combustão é a transformação da energia química dos combustíveis em calor, por meio das reações dos elementos constituintes com o oxigênio

fornecido. Para fins energéticos, a combustão direta ocorre essencialmente em fogões (cocção de alimentos), fornos (metalurgia, por exemplo) e caldeiras (geração de vapor, por exemplo).

Gaseificação: como o próprio termo indica, gaseificação é um processo de conversão de combustíveis sólidos em gasosos, por meio de reações termoquímicas, envolvendo vapor quente e ar, ou oxigênio, em quantidades inferiores à estequiométrica (mínimo teórico para a combustão). Há vários tipos de gaseificadores, com grandes diferenças de temperatura e/ou pressão. Os mais comuns são os reatores de leito fixo e de leito fluidizado. O gás resultante é uma mistura de monóxido de carbono, hidrogênio, metano, dióxido de carbono e nitrogênio, cujas proporções variam de acordo com as condições do processo, particularmente se é ar ou oxigênio que está sendo usado na oxidação.

A gaseificação de biomassa, no entanto, não é um processo recente. Atualmente, esse renovado interesse deve-se principalmente à limpeza e versatilidade do combustível gerado, quando comparado aos combustíveis sólidos. A limpeza se refere à remoção de componentes químicos nefastos ao meio ambiente e à saúde humana, entre os quais o enxofre. A versatilidade se refere à possibilidade de usos alternativos, como em motores de combustão interna e turbinas a gás. Um exemplo é a geração de eletricidade em comunidades isoladas das redes de energia elétrica, por intermédio da queima direta do gás em motores de combustão interna. Outra vantagem da gaseificação é que, sob condições adequadas, produz gás sintético, que pode ser usado na síntese de qualquer hidrocarboneto.

Pirólise: a pirólise ou carbonização é o mais simples e mais antigo processo de conversão de um combustível (normalmente lenha) em outro de melhor qualidade e conteúdo energético (carvão, essencialmente). O processo consiste em aquecer o material original (normalmente entre 300°C e 500°C), na “quase-ausência” de ar, até que o material volátil seja retirado. O principal produto final (carvão) tem uma densidade energética duas vezes maior que aquela do material de origem e queima em temperaturas muito mais elevadas. Além de gás combustível, a pirólise produz alcatrão e ácido pirolenhoso.

A relação entre a quantidade de lenha (material de origem) e a de carvão (principal combustível gerado) varia muito, de acordo com as características do processo e o teor de umidade do material de origem. Em geral, são necessárias de quatro a dez toneladas de lenha para a produção de uma tonelada de carvão. Se o material volátil não for coletado, o custo relativo do carvão produzido fica em torno de dois terços daquele do material de origem (considerando o conteúdo energético).

Nos processos mais sofisticados, costuma-se controlar a temperatura e coletar o material volátil, visando melhorar a qualidade do combustível gerado e o aproveitamento dos resíduos. Nesse caso, a proporção de carvão pode chegar a 30% do material de origem. Embora necessite de tratamento prévio (redução da acidez), o líquido produzido pode ser usado como óleo combustível.

Nos processos de pirólise rápida, sob temperaturas entre 800°C e 900°C, cerca de 60% do material se transforma num gás rico em hidrogênio e monóxido de carbono (apenas 10% de carvão sólido), o que a torna uma tecnologia competitiva com a gaseificação. Todavia, a pirólise convencional (300°C a 500°C) ainda é a tecnologia mais atrativa, devido ao problema do tratamento dos resíduos, que são maiores nos processos com temperatura mais elevada. A pirólise pode ser empregada também no aproveitamento de resíduos vegetais, como subprodutos de processos agroindustriais. Nesse caso, é necessário que se faça à compactação dos resíduos, cuja matéria-prima é transformada em briquetes. Com a pirólise, os briquetes adquirem maiores teores de carbono e poder calorífico, podendo ser usados com maior eficiência na geração de calor e potência. Ensaios têm sido realizados no Laboratório de Combustíveis Alternativos da Universidade Estadual de Campinas.

Digestão anaeróbia: a digestão anaeróbia, assim como a pirólise, ocorre na ausência de ar, mas, nesse caso, o processo consiste na decomposição do material pela ação de bactérias (microrganismos acidogênicos e metanogênicos). Trata-se de um processo simples, que ocorre naturalmente com quase todos os compostos orgânicos.

O tratamento e o aproveitamento energético de dejetos orgânicos (esterco animal, resíduos industriais etc.) podem ser feitos pela digestão anaeróbia em biodigestores, onde o processo é favorecido pela umidade e aquecimento. O aquecimento é provocado pela própria ação das bactérias, mas, em regiões ou épocas de frio, pode ser necessário

calor adicional, visto que a temperatura deve ser de pelo menos 35°C. Em termos energéticos, o produto final é o biogás, composto essencialmente por metano (50% a 75%) e dióxido de carbono. Seu conteúdo energético gira em torno de 5.500 kcal por metro cúbico. O efluente gerado pelo processo pode ser usado como fertilizante.

Fermentação: fermentação é um processo biológico anaeróbico em que os açúcares de plantas como a batata, o milho, a beterraba e, principalmente, a cana-de-açúcar são convertidos em álcool, por meio da ação de microrganismos (usualmente leveduras). Em termos energéticos, o produto final, o álcool, é composto por etanol e, em menor proporção, metanol, e pode ser usado como combustível (puro ou adicionado à gasolina – cerca de 20%) em motores de combustão interna.

Transesterificação: transesterificação é um processo químico que consiste na reação de óleos vegetais com um produto intermediário ativo (metóxido ou etóxido), oriundo da reação entre álcoois (metanol ou etanol) e uma base (hidróxido de sódio ou de potássio). Os produtos dessa reação química são a glicerina e uma mistura de ésteres etílicos ou metílicos (biodiesel). O biodiesel tem características físico-químicas muito semelhantes às do óleo diesel e, portanto, pode ser usado em motores de combustão interna, de uso veicular ou estacionário.

1.4.3 Centrais Termoelétricas a Biomassa em Operação no Brasil

Em setembro de 2003, havia registro de 217 termelétricas a biomassa em operação no Brasil, perfazendo uma capacidade instalada de 2.696 MW. Como ilustra a Figura 2, a grande maioria dessas usinas está localizada no Estado de São Paulo, onde se concentra grande parte do setor sucroalcooleiro do país. (Centro Nacional de Referência em Biomassa – 2003)

1.4.4 Bagaço de Cana-de-Açúcar

O bagaço de cana é o material fibroso obtido depois da extração do caldo num ou mais ternos de moendas. Ao sair da moenda, o bagaço possui cerca de 30% do peso da

cana, tem um teor aproximado de 50% de umidade. O bagaço é o resíduo sólido mais abundante do Setor Sucroalcooleiro.

Sua composição química varia devido a vários fatores como variedade da cana, tipos de solo, técnicas de colheita e de manuseio. A sua composição média é dada na tabela 4.

Tabela 4 - Composição do Bagaço de Cana de Açúcar

Composição Química Média	
Carbono	39,7 – 49,0%
Hidrogênio	5,5 – 7,4%
Oxigênio	40,0 – 46,0%
Nitrogênio e Cinzas	0,0 – 0,3%
Propriedades Físico-Químicas	
Umidade	50%
Fibra	46%
Brix	2%
Impurezas Minerais	2%
Composição Média da Fibra do Bagaço	
Celulose	26,6 – 54,3%
Hemicelulose	14,3 – 24,4%
Lignina	22,7 – 29,7%

Fonte: Revista Eletrônica de Materiais e Processos

De 1988 a 1994, a produção de bagaço de cana no Brasil estagnou, devido à menor produção de cana-de-açúcar. Porém, nos anos subseqüentes, observou-se uma significativa recuperação, ocorrendo uma nova queda em 2000, seguida de crescimento nos dois anos seguintes. O bagaço é consumido como combustível nas destilarias de álcool, bem como, de forma crescente, em alguns seguimentos da indústria de alimentos e bebidas e, em uma escala bem, menor, também na indústria de papel e celulose. Uma parte, também crescente, do bagaço é transformada em energia elétrica nas destilarias de álcool, para consumo interno (autoprodução) e venda do excedente para as empresas concessionárias de eletricidade locais.

Em 2002, 5,8% do bagaço da cana-de-açúcar disponível para ser consumido como combustível foi convertido em eletricidade, em sistemas de co-geração nas usinas de açúcar e álcool; o restante foi usado para gerar vapor de processos nas destilarias de álcool, nas usinas de açúcar e em outros segmentos da indústria de alimentos e bebidas, neste último caso principalmente pelos produtores de sucos de frutas próximos às regiões de cultivo de cana-de-açúcar. Existem algumas empresas no Brasil especializadas em beneficiar e comercializar o bagaço da cana, cuja produção cresceu 39,2% entre 1987 e 2002 (Ministério de Minas e Energia).

A descoberta de melhores formas de uso dos produtos derivados do açúcar e do álcool, como bagaço de cana e o vinhoto, é certamente um excelente caminho para se melhorar o desempenho econômico dessas plantas. Walter et al. (1994) realizaram uma avaliação técnica e econômica minuciosa de tecnologias eficientes, que poderiam ser utilizadas para queimar ou gaseificar o bagaço de cana em plantas de co-geração. Essa avaliação indicou que poderia ser gerada uma quantidade significativa de eletricidade excedente (cerca de 6000 MW), que poderia ser vendida à rede pública de fornecimento. Atualmente, uma usina típica de açúcar e álcool no Brasil gera, em uma unidade de co-geração de baixa eficiência, cerca de 14 kWh por tonelada de cana processada (tc), que poderiam ser ampliados para 120 a 250 kWh/tc com ciclos de turbina a vapor convencionais, mas de alta eficiência, e para 500 kWh/tc com sistema integrado – gaseificador de biomassa e turbina a gás com injeção de vapor. Este último sistema ainda precisa ser testado comercialmente.

2. O PROCESSAMENTO INDUSTRIAL DA CANA-DE-AÇÚCAR NO BRASIL

2.1. A INDÚSTRIA DA CANA-DE-AÇÚCAR COMO PRODUTORA DE ENERGIA

A produção de cana-de-açúcar no Brasil foi de 224 milhões de toneladas em 1989, 241 milhões de 1994 e 387 milhões de toneladas em 2003. A porcentagem de cana-de-açúcar usada para produção de álcool foi de aproximadamente 65% em 1989 e cerca de 50% em 1998. Embora a proporção álcool/açúcar esteja diminuindo, pelo menos 50% da indústria é uma indústria de “energia”. A natureza renovável do combustível produzido pode ser observada na tabela 5.

Tabela 5 – Fluxo médio de consumo e produção de energia na produção e processamento da cana para etanol, 1996, São Paulo*.

	Uso de energia Fóssil (MJ/t cana)	Produção de Energia (MJ/t cana)
Produção e transporte de Cana (Agricultura)	190	-
Processamento de Cana (Indústria)	46	-
Etanol Produzido	-	1.996
Bagaço Excedente	-	175
Total (Fluxos Externos)	236	2.171

Fonte: Macedo (1998)

*Somente produção de etanol, sem açúcar.

O balanço médio de energia (*razão produção de energia / uso de combustível fóssil*) calculado com os dados mostrados na tabela 6 é de 9,2, um valor excepcional até mesmo para os sistemas baseados em biomassa. Os valores apresentados na tabela 6 foram obtidos a partir da situação atual das usinas de cana-de-açúcar no Brasil, com

baixa eficiência (para energia elétrica) dos sistemas de co-geração a vapor baseados em bagaço; cerca de 95% das usinas são auto-suficientes em eletricidade e atendem toda a sua demanda de energia térmica.

Em 1998, a contribuição da indústria canavieira ao sistema de energia brasileiro foi o fornecimento de aproximadamente de 200 mil barris (equivalentes de petróleo) por dia de álcool – para uma produção doméstica de cerca de 1 milhão de barris de petróleo por dia – e a co-geração energia elétrica, mecânica e térmica, por meio do uso do bagaço. O bagaço corresponde a 0,14 toneladas (base seca) por tonelada de cana, resultando em uma produção anual de 40 milhões de toneladas (matéria seca). Quase toda energia contida no bagaço é consumida internamente nas usinas. As estimativas indicam um uso de 3.600 GWh como energia elétrica e 4.500 GWh para o trabalho mecânico, nos acionamentos, a cada safra, além da energia térmica para processos.

A produção brasileira de cana-de-açúcar representa cerca de 25% da produção mundial, resultando em 13,5% da produção mundial de açúcar e 55% da produção de álcool. O plantio de cana no Brasil estende-se por 5,5 milhões de hectares, distribuídos em várias regiões (1,5% das terras “cultiváveis”). O número de unidades industriais é de aproximadamente 350 e são todas de propriedades privadas. A indústria de álcool fornece combustível para o maior programa de conversão de biomassa em combustível líquido do mundo; cerca de 3,8 milhões de carros consomem 100% de álcool e em todos os carros restantes, com motores a gasolina são misturados 24% de álcool à gasolina.

A tendência atual é de redução no consumo de álcool hidratado, enquanto o consumo de álcool anidro (misturas com gasolina) cresce, juntamente com a possibilidade de mistura com o óleo diesel. De modo geral, a produção deve-se estabilizar nos próximos anos. As recentes leis que proíbem as queimadas nas grandes áreas de plantio de cana no estado de São Paulo levam a uma maior disponibilidade de biomassa nos próximos 12 anos e também estão sendo investigadas novas tecnologias para o desenvolvimento de sistemas de conversão energética mais eficientes.

Estima-se que pelo menos 50% da cana, nas principais áreas produtoras, será colhida sem a prática das queimadas nos próximos 12 anos. A quantidade de biomassa disponível para geração de energia está sendo avaliada, levando-se em consideração as seguintes variáveis:

- 1) A quantidade média de palha da cana (os ponteiros e as folhas);
- 2) As principais tendências nas práticas agrônômicas para colheita da cana crua com recuperação da palha;
- 3) As propriedades do solo com a palha deixada nos campos;
- 4) As vantagens do uso da palha no solo para eliminar as aplicações de herbicidas;
- 5) Os custos de recuperação da palha para combustível;
- 6) Sua utilização como combustível de caldeiras e para gaseificação;
- 7) Os impactos ambientais da recuperação e utilização da palha.

Os resultados obtidos até agora são apresentados na tabela 6. Eles foram obtidos considerando uma disponibilidade média de palha de 10 t(bs)/ha e considerando que a quantidade de resíduos (palha e ponteira) pode variar de acordo com a variedade e outras condições locais, e a colheita da cana crua é possível em apenas 55% do total da área plantada, onde as colheitadeiras podem operar e recuperar 50% ou 100% da palha disponível, dependendo das considerações agrônômicas.

Tabela 6 - Biomassa Energética: Estimativas de disponibilidade de bagaço e palha.

Recuperação de Palha (%)	Palha Recuperada (t(bs)/t cana)	Total de Bagaço (t(bs)/t cana)	Total de Biomassa disponível (t(bs)/t cana)	Equivalente em Óleo Combustível (kg/t cana)
100	0,075	0,14	0,215	77
50	0,0375	0,14	0,177	61

Fonte: Copersucar (1998)

A equivalência inclui as perdas no processamento de combustível, perdas no armazenamento e níveis esperados de eficiência na combustão.

Para uma produção anual de 317 milhões de toneladas de cana, com a recuperação de somente 50% da palha em 50% da área plantada, a nova quantidade anual de biomassa disponível seria de 11,9 milhões de toneladas (base seca). Tem sido proposto que essa biomassa seja usada principalmente no setor energético. Podem ser empregadas tecnologias convencionais, como, por exemplo, as caldeiras a vapor tradicionais e para a combustão da biomassa. Outras duas tecnologias, ambas em desenvolvimento, são de grande interesse: gaseificação e geração de eletricidade com turbinas a gás e hidrólise

seguida de fermentação para produção de álcool. Essas tecnologias estão sendo desenvolvidas em plantas – piloto.

As perspectivas, até mesmo com relação às tecnologias convencionais, são muito interessantes. O desenvolvimento do mercado de energia e co-geração no Brasil é lento e será importante tão logo comece um novo período de crescimento da economia.

A indústria da co-geração cresceu significativamente, tendo hoje flexibilidade e capacidade de produzir quantidades variadas de álcool ou açúcar. Ganhos sinérgicos de processos foram obtidos com relação à fermentação do mosto e produção de um açúcar sem refino de alta qualidade, quando o etanol é produzido simultaneamente.

No Brasil a maioria das unidades industrial não refina o açúcar, atividade desempenhada, em muitos casos, em refinarias específicas.

2.2. OS PROCESSOS USADOS NAS USINAS E DESTILARIAS DE CANA E ÁLCOOL

2.2.1 Matéria-Prima

No Brasil todo açúcar é produzido a partir da cana-de-açúcar e, atualmente, cerca de 50% da cana cultivada é usada na produção de álcool combustível (etanol). A sacarose é produzida e armazenada na cana, de onde é extraída e purificada.

É muito importante que haja um planejamento apropriado da interface entre a produção agrícola (taxas de cortes e a seleção de espécies adequadas) e a indústria (processamento rápido e eficiente) para evitar a deterioração e as perdas. A composição média da cana-de-açúcar para o processamento, quando entra na indústria é mostrada na tabela 7.

Tabela 7 – Composição média da cana-de-açúcar:

Composição	Quantidade (%)
Fibras	12
Sólidos solúveis	18
Água	70

Fonte: www.hengel.com.br

O diagrama do fluxo de processamento é apresentado na figura 4 ele indica todos os estágios básicos do processamento da cana. O processamento da cana-de-açúcar no Brasil não é diferente, em sua essência, daqueles efetuados em outros países, como exceção do processamento paralelo do álcool.

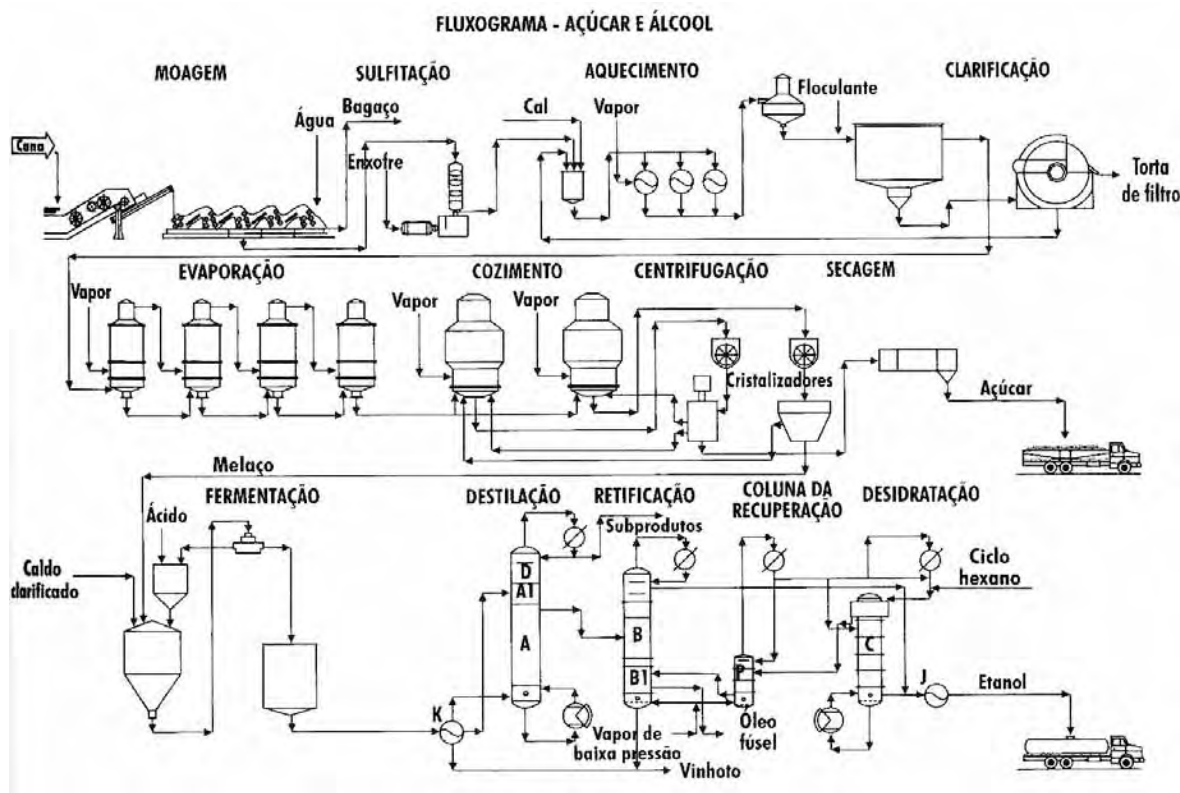


Figura 4 – Diagrama do Fluxo de Processamento do Açúcar e do Álcool.

2.2.2 O transporte, Pesagem, Descarga e Armazenamento da Cana.

O transporte da cana no Brasil geralmente é rodoviário, feito por caminhões com reboque. A cana cortada manualmente é carregada inteira, enquanto a cana colhida mecanicamente é picada e carregada em pedaços de 20 a 25 cm de comprimento.

As cargas são pesadas na usina. Alguns carregamentos são selecionados e reservados como amostras para que se determine mais tarde, em laboratório, o teor de sacarose da matéria-prima. Essa variação permite o controle agrícola, o pagamento do transporte, o controle da moagem, o cálculo do rendimento industrial e a determinação dos valores para o pagamento da cana.

A cana pode ser descarregada para um armazenamento temporário ou diretamente nas moendas para ser processadas. No primeiro caso, o descarregamento é feito por meio de pontes rolantes, equipadas com garras hidráulicas ou guindastes, em um pátio ou em um espaço coberto.

A cana armazenada no pátio geralmente é descarregada em mesas de alimentação (um alimentador de cana inclinado para o transporte, com um nivelador e correas transportadoras), por máquinas carregadoras equipadas com plataformas. No caso de eventuais falhas no sistema de transporte e interrupções durante o turno noturno, uma determinada quantidade de cana é mantida armazenada nos pátios ou nos galpões.

A cana armazenada deveria ser substituída em intervalos freqüentes. A cana picada, não deve ser armazenada, é descarregada diretamente para o processo de moagem. A descarga pode ser feita por meio de esteiras rolantes, guindastes e, no caso da cana picada, através da descarga lateral das carrocerias dos caminhões.

2.2.3 A Extração do Caldo da Cana

A mesa alimentadora recebe a cana armazenada nos galpões ou diretamente descarregadas dos caminhões e a transfere para o conjunto de moagem (todo o complexo de moagem, formado pelo desfibrador, picador e todas as moendas, seus mecanismos de afinamento e seu sistema de engrenagens redutoras). As mesas podem ter uma inclinação convencional de 5° a 7°, ou até 45°; esta última usa uma velocidade de operação mais alta e permite uma alimentação mais uniforme para as esteiras usadas para transportar a cana.

A lavagem da cana, feita nas mesas de alimentação, tem por objetivo remover o material estranho à cana, como terra, pedras, pedregulhos e areia, melhorar a qualidade do caldo e prolongar a vida útil do equipamento, reduzindo o seu desgaste. Há uma forte tendência a eliminar o sistema de limpeza da cana com água. A água, que foi um recurso natural abundante, tem se tornado um fator de grande preocupação em algumas regiões do estado de São Paulo. Por esse motivo, limitações no seu uso tem sido o alvo de discussões entre políticos e associações representativas de diferentes setores da sociedade. Na bacia do rio Piracicaba, por exemplo, onde estão localizadas muitas usinas de açúcar e álcool, o fornecimento de água vem se tornando um sério problema, levantando discussões sobre as diferentes formas para o uso da água. A alternativa é a introdução de sistemas de limpeza a seco, que, além de eliminar o uso da água, permite a

remoção das impurezas da cana, como, por exemplo, terra. O uso desse método ampliou-se significativamente com a adoção dos sistemas de colheita de cana crua.

2.2.4 O Preparo da Cana

A cana é preparada para que sua densidade aumente e, conseqüentemente, sua capacidade de ser moída, e também para forçar ao máximo a abertura de suas células, com o propósito de liberar o caldo e obter um maior rendimento na extração. O sistema usado no preparo da cana é formado por um ou dois conjuntos de facas; o primeiro prepara a cana para ser enviada ao desfibrador. Este é formado por um tambor com um eixo concêntrico, no qual conjuntos de martelos oscilam. À medida que gira, ele força a cana a passar por pequenas aberturas de 1 cm de espessura através de uma placa desfibradora. A velocidade tangencial do desfibrador, é de 60 a 90 m/s, permite um índice de preparação de 80 – 92%. Esse índice mede a relação entre o açúcar nas células abertas pelo desfibrador e o açúcar no colmo da cana.

2.2.5 Alimentação das Moendas

Depois do preparo, uma chapa de ferro separadora, usando um campo eletromagnético, remove cerca de 90% das impurezas da cana (pedaços de material ferroso) para proteger o conjunto de moagem. Em seguida, o conjunto de moendas é alimentado, forçando a cana para dentro da calha de alimentação. Dentro dela, a cana preparada forma uma coluna com alta densidade, que melhora a alimentação e a capacidade de moagem. O nível de cana dentro da calha é usado para controlar a velocidade das esteiras e, conseqüentemente, a alimentação da moenda.

2.2.6 A moagem da Cana

A cana é formada basicamente de caldo e fibra. Uma vez que o açúcar está dissolvido no caldo, o objetivo do processo de moagem é extrair a maior quantidade possível de açúcar da cana. Em escala industrial são empregados dois processos básicos

de extração: a Moagem e a Difusão. No Brasil, a grande maioria das usinas opera com moendas. A moagem é estritamente um processo volumétrico e consiste em extrair o caldo da cana. Essa extração é feita com a compressão da cana entre dois rolos compressores, submetidos a uma determinada pressão e rotação. O volume removido corresponde ao caldo extraído. O objetivo secundário, porém muito importante, do processo de moagem é a produção do bagaço em condições de umidade que permitam a sua combustão nas caldeiras.

Cada grupo de rolos compressores constitui uma unidade de moagem. O número de unidades empregados no processo de moagem varia de 4 a 7, e cada uma delas é formada por 3 rolos principais: o “rolo frontal”, o “rolo superior” e o “rolo traseiro”. Muitas vezes, as moendas apresentam um 4º rolo, denominado “rolo de pressão” que melhora a eficiência na alimentação e na extração. A carga aplicada à cobertura de bagaço é transmitida por um sistema hidráulico que atua no rolo superior.

2.2.7 A Embebição

A cana, que passa sucessivamente pelas várias unidades de moagem, tem o seu caldo removido gradualmente. O processo de adição de água ao bagaço é chamado de Embebição e é empregado para diluir o caldo renascente no bagaço, aumentando a extração da sacarose. Existem vários esquemas possíveis para efetuar a embebição. O mais usado é a embebição composta, que consiste na adição de água entre as duas últimas unidades de moagem e faz com que o caldo extraído na última unidade retorne para a unidade anterior e assim sucessivamente até atingir a segunda unidade de moagem. Geralmente, os caldos produzidos nas duas últimas unidades são misturados e constituem o “caldo misto”. Com esse sistema, é possível obter um rendimento na extração de 92 a 97% e um teor de umidade final do bagaço de aproximadamente 50% (base úmida).

2.2.8 A Geração de Energia

Depois da extração do caldo, o bagaço da cana de açúcar tem a composição mostrada na tabela 4.

Entre 240 e 280 kg de bagaço são obtidos por tonelada de cana e o açúcar remanescente nele representa uma das perdas do processo. O bagaço é usado como combustível nas caldeiras e garante a auto suficiência da indústria açucareira em eletricidade em energia térmica e, em alguns casos, a eletricidade excedente.

O vapor gerado nas caldeiras, sob uma pressão média de 18 a 21 kgf/cm² (1,76 a 2,06 MPa), é usado para impulsionar as turbinas a vapor, onde a energia térmica é transformada em energia mecânica. Algumas turbinas são responsáveis pelo acionamento das facas, desfibradores, moendas e turbo-bombas, enquanto outras acionam os geradores elétricos. O vapor sob baixa pressão das turbinas (1,3 a 1,7 kgf/cm²) é uma fonte de energia térmica durante a produção de açúcar e álcool.

2.3 A PRODUÇÃO DE AÇÚCAR

2.3.1 O Tratamento Preliminar do Caldo da Cana

O caldo de cana obtido no processo de extração apresenta vários tipos de impurezas. O tratamento preliminar do caldo visa eliminar a maior quantidade possível de impurezas insolúveis (areia, barro, bagacilho, etc.), cuja quantidade varia em torno de 1%. As peneiras fixas e móveis são equipamentos básicos empregados nesse tratamento. Com aberturas de 0,5 a 2 mm posicionadas bem próximas às moendas, as peneiras fixas eliminam o material grosso em suspensão (bagacilho). O material retido, formado principalmente por caldo de cana e bagacilho, retorna à primeira e à segunda unidade de moagem. A filtragem do caldo também é efetuada por várias peneiras móveis e aberturas (de 0,2 a 0,7 mm), com uma eficiência entre 60% e 80%. O material peneirado volta à moenda.

2.3.2 A Pesagem do Caldo

Após o tratamento preliminar, a massa do caldo é quantificada por meio de dispositivos de medição de vazão, permitindo melhor controle do processo químico.

2.3.3 O Tratamento Físico-Químico do Caldo

Antes do tratamento, o caldo da cana ainda conserva uma pequena quantidade de impurezas, que podem ser solúveis, coloidais ou insolúveis. É aplicado um tratamento físico-químico que consiste na coagulação, floculação e precipitação das impurezas, que devem, então, ser eliminadas por meio da sedimentação. É necessário também corrigir o valor do pH para evitar a inversão e a decomposição da sacarose durante a produção de açúcar. Assim, o caldo tratado pode, em seguida, ser enviado para a produção de açúcar e álcool.

2.3.3.1 Sulfitação do Caldo

A sulfitação consiste na absorção de SO_2 pelo caldo, que reduz seu valor original de pH para um valor entre 4,0 e 4,4. A sulfitação geralmente é realizada em uma coluna de absorção, que, devido à alta solubilidade do SO_2 na água, atinge níveis de absorção de até 99,5%. O SO_2 gasoso é produzido nas usinas de açúcar por meio da combustão do enxofre na presença de ar, em fornos especiais. Os objetivos a serem atingidos com o processo de sulfitação do caldo da cana são os seguintes:

- ✓ Inibir reações que poderiam dar cor ao caldo;
- ✓ Causar a coagulação dos sólidos solúveis;
- ✓ Formar um precipitado de CaSO_3 ;
- ✓ Reduzir a viscosidade do caldo, facilitando as operações de evaporação e cristalização.

O consumo médio de enxofre é de cerca de 3 g por quilo de açúcar.

2.3.3.2 Tratamento com Cal

Neste processo, é adicionada cal hidratada ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ao caldo de cana tratado para aumentar o seu pH entre 6,8 e 7,2. O tratamento com cal pode ser realizado em lotes ou continuamente. A cal é produzida nas usinas de açúcar e álcool por meio da “queima” do calcário (CaCO_3). O calcário libera CO_2 quando é aquecido em um forno. O CaO queimado apresenta algumas impurezas, que são partículas não queimadas e partículas parcialmente queimadas, e um pouco de sílica e magnésio.

Esse tratamento elimina colorantes no caldo, neutraliza os ácidos orgânicos e forma sulfato e fosfato de cálcio, que, à medida que se sedimentam, levam com eles as impurezas presentes no líquido. O consumo de cal varia de 100 a 500 g/TC, dependendo da intensidade com que o tratamento é efetuado.

2.3.3.3 Aquecimento e Sedimentação

O cálcio é aquecido até aproximadamente 105°C para acelerar a coagulação e floculação dos colóides de proteína não açucarados e para emulsificar as gorduras, resinas e ceras, além de promover a remoção dos gases.

A sedimentação das impurezas é continuamente processada em um clarificador, um grande tanque cilíndrico vertical no qual o caldo é deixado para decantação por algum tempo. O caldo decantado é enviado para o setor de evaporação da usina para que seja concentrado. As impurezas sedimentadas, com uma alta concentração de sólidos de aproximadamente 10° Bé (a escala de graus Baumé é utilizada nas usinas de açúcar e refere-se à composição percentual das soluções de açúcar), formam o lodo, que é removido do fundo do clarificador e enviado para filtragem, recuperando o açúcar presente em sua composição. A adição de polímeros (cerca de 2g/tonelada de cana) acelera a velocidade da decantação e melhora a qualidade do caldo.

O tempo de residência do caldo no clarificador, dependendo do equipamento empregado, varia de 45 minutos a 4 horas e a quantidade de lodo removida do caldo varia de 15 a 20% do peso do caldo que entra no clarificador.

2.3.4 Filtragem

Antes de ser enviado aos filtros a vácuo giratórios, adiciona-se ao lodo removido do clarificador aproximadamente 5 kg de bagacilho/TC, ao que facilita o processo de filtragem. O caldo filtrado retorna ao processo. A torta de filtro é usada como fertilizante nas plantações de cana. A perda de açúcar na torta de filtro não deve ser maior do que 1%.

2.3.5 Evaporação

A primeira fase do processo de concentração do caldo é realizada em evaporadores contínuos. Estes são sistemas de múltiplos efeitos para economizar energia. O caldo apresenta, inicialmente, uma concentração de 14° a 16° Brix, atingindo, no final do processo, uma concentração de 50° a 58° Brix, quando então, é denominado de xarope.

2.3.6 A Cristalização do Açúcar

Depois que deixa os evaporadores, o xarope é enviado para outra fase do processo de concentração, em que ocorre a formação de cristais como resultado da precipitação da sacarose dissolvida na água. Existem dois processos de cristalização: a cristalização durante o cozimento e a cristalização por resfriamento.

O processo a quente emprega tanques a vácuo que funcionam individualmente, em bateladas ou de forma contínua. A evaporação da água dá origem a uma mistura que contém 50% de cristais envolvidos no melaço (uma solução de açúcar com impurezas remanescentes) e recebe o nome de massa cozida (uma mistura de cristais e melaço formada antes da separação em uma centrifugadora). A concentração da massa cozida é de aproximadamente 91° a 93° Brix (porcentagem por peso de sólidos solúveis, como determinado pelo refratômetro) e a temperatura, na descarga, é de 65° a 75°C. Dependendo da demanda, é possível trabalhar com sistemas de uma, duas ou três massas cozidas.

No processo de cristalização por resfriamento, a massa cozida é descartada dos tanques a vácuo nos cristalizadores, onde ocorre um resfriamento lento, geralmente impulsionado por água ou ar.

2.3.7 A Centrifugação do Açúcar

A massa cozida resfriada é enviada ao setor da centrifugação e despejada na centrífuga. Dentro dela, o melaço é separado dos cristais de sacarose. O processo é concluído com a lavagem dos cristais de açúcar em água ou vapor, ainda dentro da centrífuga. O melaço removido é coletado em um tanque e levado de volta aos tanques a vácuo para remoção do açúcar dissolvido, ainda contido no melaço, até que seja atingido o grau mais elevado de esgotamento. O material remanescente também é chamado de melaço final, que é utilizado na produção de etanol. O açúcar despejado das centrífugas apresenta um alto teor de umidade (0,5% a 2%) e também uma alta temperatura (65° a 85°C), devido à lavagem no vapor.

2.3.8 A Secagem do Açúcar

Os processos de resfriamento e a secagem do açúcar são realizados em uma secadora, um cilindro metálico, através do qual passa, contracorrente, uma corrente de ar impelida por um ventilador. Depois que deixa a secadora, com uma temperatura entre 35° a 40°C e um teor de umidade de 0,03% a 0,04%, o açúcar é enviado para as etapas de empacotamento, pesagem e armazenamento. A eficiência industrial total na produção de açúcar e etanol é, em média, de 88%.

2.4 A PRODUÇÃO DE ÁLCOOL

O álcool é obtido por meio da fermentação do caldo de cana-de-açúcar ou da mistura de melaço e caldo de cana. É produzido, portanto, por meio de um processo

bioquímico. Antes de ser fermentado, o caldo de cana passa por um tratamento de purificação.

2.4.1 O tratamento do Caldo da Cana para Destilação

Depois de passar pelo primeiro tratamento, o caldo passa pela pasteurização: aquecimento e resfriamento rápidos. O tratamento mais completo do caldo inclui a adição de cal, aquecimento e decantação. O procedimento é semelhante aquele empregado na produção de açúcar. O resfriamento do caldo geralmente é realizado em duas etapas:

1. O caldo quente passa por um trocador de calor do tipo regenerativo, em contracorrente com o caldo frio misturado. O caldo quente é resfriado nesse equipamento e atinge uma temperatura de aproximadamente 60°C;
2. Um resfriamento final para uma temperatura de cerca de 30°C é realizado em trocadores de calor do tipo placa, quando a água, o fluido resfriador, passa contracorrente ao fluxo do caldo.

Livre de impurezas (areia, bagacilho, etc) e esterilizado, o caldo está pronto para ser mandado para a destilaria.

2.4.2 O Preparo do Mosto e da Levedura para o Processo de Fermentação

O mosto é a mistura de melão e caldo de cana com uma concentração de sólidos de 17° a 22° Brix. Se necessário, pode-se usar água para ajustar a escala de concentração Brix para facilitar a fermentação.

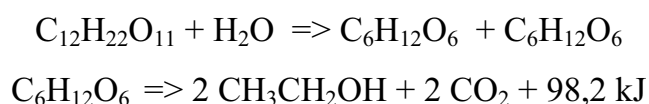
O método de fermentação usado mais comumente nas destilarias brasileiras é o Melle-Boinot, cuja principal característica é a recuperação da levedura por meio da centrifugação do “vinho”.

A levedura recuperada, antes de retornar ao processo de fermentação, recebe um tratamento rigoroso, que consiste em diluição na água e a adição de ácido sulfúrico até

que o seu pH atinja o valor de 2,5 ou menor (2,0), no caso de ocorrer infecção bacteriana. Essa suspensão de levedura diluída e acidificada, denominada “inoculo de levedura”, é misturada por um período que vai de 1 a 3 horas, indispensável antes de ser despejada nos tanques de fermentação.

2.4.3 A Fermentação

É nesta etapa que o açúcar é transformado em álcool. As reações ocorrem em tanques onde o mosto, inserido por um período de 3 a 6 horas, e a levedura acidificada são misturados numa proporção de 2 para 1, respectivamente. O açúcar (sacarose) é transformado em álcool, de acordo com a seguinte reação simplificada de Gay Lussac:



Durante a reação, ocorre uma intensa liberação de CO₂. A solução é aquecida e são formados alguns produtos secundários, como álcoois superiores, éteres, glicerol, aldeídos, etc. O tempo de fermentação varia de 4 a 12 horas. Ao final desse período, praticamente todo o açúcar terá sido consumido.

Quando o processo de fermentação termina, o teor médio de álcool nos tanques de fermentação varia de 7% a 10% em volume e a mistura é denominada “vinho fermentado”. Devido à grande quantidade de calor liberada durante o processo e à necessidade de manter a temperatura relativa baixa (34°C), o vinho deve ser resfriado com água. Esse resfriamento pode ser realizado dentro dos tanques de fermentação, por meio de serpentinas, ou externamente, com trocadores de calor.

O processo de fermentação pode ser realizado em bateladas ou continuamente, em tanques de fermentação abertos ou fechados. Nos tanques fechados, o álcool evaporado é recuperado por meio de sua absorção em água.

2.4.4 A Centrifugação do Vinho

Após a fermentação, o vinho é continuamente enviado às centrífugas, para que a levedura seja recuperada. A levedura concentrada recuperada é enviada novamente aos tanques para tratamento. A fase menos densa na centrifugação, o vinho sem a levedura, é enviado às colunas de destilação.

2.4.5 A Destilação

Depois de passar pelo processo de fermentação, o vinho apresenta em sua composição de 7° a 10° GL (% em volume) de álcool, além de outros componentes líquidos, sólidos e gasosos. Entre os componentes líquidos, além do álcool, estão também a água (de 89% a 93%), glicerina, álcoois superiores, furfural, aldeídos acéticos, ácido succínio e ácidos acéticos. Os principais componentes sólidos são o bagacilho, a levedura e bactérias, açúcares não-fermentáveis, sais minerais e materiais albuminóides. CO₂ e SO₂ são os principais componentes gasosos.

O álcool presente no vinho é recuperado por meio da destilação, utilizando os diferentes pontos de ebulição de várias substâncias voláteis contidas no vinho, separando-as por meio do aquecimento. A operação é realizada com ajuda de sete colunas, distribuídas em quatro estágios: a própria destilação, retificação, desidratação e a recuperação de ciclo-hexano.

2.4.6 A Desidratação

O álcool hidratado, produto final do processo de destilação, é uma mistura de álcool e água com teor alcoólico de aproximadamente de 96°GL. A simples destilação não é capaz de aumentar esse teor.

O álcool hidratado pode ser comercializado na forma como é produzido a partir da destilação simples ou pode passar pelo processo de desidratação, que utiliza um produto adicional (hoje, é empregado o ciclo-hexano) para formar uma mistura azeotrópica

terciária de água e álcool. Essa adição resulta, após outra destilação, em etanol com teor de 99,7°GL.

2.4.7 Vinhoto

Um importante produto derivado da produção de álcool é o vinhoto. Também conhecido como vinhaça. Ele é composto basicamente por todas as substâncias introduzidas na produção e transformação da cana-de-açúcar, com exceção de açúcar e álcool. Seu índice de produção é de aproximadamente 10 a 15 vezes o do álcool e apresenta uma DBO (demanda biológica de oxigênio) significativa, considerada uma ameaça ambiental no início do pro-álcool por causa do seu grande potencial de poluição.

2.4.7.1 As tecnologias de Aproveitamento do Vinhoto empregadas no Brasil

O vinhoto é produzido a partir do caldo da cana e/ou da fermentação do melaço. Quimicamente, a composição do vinhoto varia de acordo com o tipo de solo, a espécie da cana, o método de colheita e o processo industrial usado na produção do etanol. A cor, o conteúdo sólido total e a acidez são parâmetros que podem variar de acordo com o tipo de vinhoto e o processo empregado.

Geralmente, o vinhoto apresenta uma cor marrom clara e um baixo conteúdo total de sólidos (de 2% a 4%) quando é obtido do caldo da cana, e uma cor avermelhada escura, com um conteúdo de sólidos total que varia de 5% a 10%, quando é produzido a partir do melaço da cana. As substâncias nocivas presentes no vinhoto geram uma DBO muito alta, que varia de 30.000 a 40.000 mg/l, e um pH baixo, entre 4 e 5, por causa dos ácidos orgânicos corrosivos presentes em sua composição. Por essa razão, o vinhoto tem que ser acondicionado em contêineres mais resistentes, de aço inoxidável ou fibra de vidro. O vinhoto contém açúcares não convertidos, carboidratos não fermentados, fermento inativo e uma variedade de compostos inorgânicos que contribuem para a DBO.

O descarte do vinhoto nos cursos d'água não é método recomendável devido a sua alta DBO, que pode causar sérios danos à vida aquática, principalmente quando o volume muito grande é despejado, o que era um caso freqüente na maioria das destilarias de álcool. Essa prática, empregada quando a produção era bem menor, teve que ser substituída por outros métodos. As melhores tecnologias de aproveitamento do vinhoto podem ser agrupadas da seguinte forma:

1. *Fertirrigação* (irrigação com fertilizantes): Esse é o método mais comum de recolhimento empregado no Brasil. O custo inicial é baixo e aproveita o potencial de fertilização do vinhoto.
2. *Biodigestão*: A biodigestão do vinhoto tem a vantagem do recolhimento nas próprias instalações das destilarias, ao mesmo tempo em que se produz um bom fertilizante e se recupera energia por meio da geração de biogás. Esse método de recolhimento é muito interessante do ponto de vista da substituição de energia, porque a indústria da cana-de-açúcar produz uma grande quantidade de vinhoto e ainda depende do óleo diesel para o transporte da cana. O óleo diesel pode ser substituído por biogás nos caminhões com motores a diesel.
3. *Ração Animal*: Esse método é usado por algumas destilarias nos EUA, como, por exemplo, a Shepherd Oil Distillery em Mermentau, na Louisiana; a prática empregada é a mesma de algumas destilarias que produzem bebidas em que é obtido um vinhoto com alto grau de proteína. O vinhoto obtido a partir do melaço ou da fermentação *high test molasses* (HTM) é diretamente usado como ração para animais, geralmente para o gado de corte. Embora aparentemente se tenha obtido bons resultados, não há conhecimento de estudos realizados sobre nutrição de animais e outros efeitos. Foram realizadas algumas pesquisas do uso do vinhoto seco como ração para animais.
4. *Produção de Fungos*: Pesquisadores do Instituto Nacional de Tecnologia (INT) realizaram pesquisas sobre a produção de fungos a partir do vinhoto. Embora a tecnologia ainda não tenha sido totalmente desenvolvida em laboratórios, ela é uma alternativa promissora na busca de produtos de grande valor.
5. *Material de Construção*: Estudos realizados pelos pesquisadores Rolim e Freire (1996) sobre a fabricação de tijolos indicaram que, para algumas aplicações, o

vinhoto pode ser um material de construção muito útil. Entretanto é necessário que se estude melhor essa aplicação do vinhoto, uma vez que ele é um material altamente higroscópico e o seu uso inadequado na fabricação de tijolos pode fazer com que eles colapsem, quando expostos à chuva ou umidade.

6. *Incineração*: Nilsson (1981), Spruytenburg (1982) e Cortez e Brossard (1997) realizaram experimentos com a incineração do vinhoto puro e sua emulsão em óleos pesados. Embora a tecnologia de incineração de vinhoto tenha sido apresentada como comercialmente viável no início dos anos 80 por algumas empresas como a Alfa Laval e a HCG, na prática, ela não correspondeu às expectativas.

Existem outros métodos alternativos de recolhimento do vinhoto que ainda não foram testados em grande escala, como, por exemplo, a ultrafiltração e/ou osmose reversa, a centrifugação e a produção de proteína de célula única. É possível reduzir a grande quantidade de vinhoto produzida, reciclando por meio do processo de fermentação. O vinhoto pode ser parcialmente usado para diluir o caldo da cana-de-açúcar ou melaço na fase de fermentação. É necessário ajustar o Brix do caldo da cana ou melaço, para que o fermento cresça adequadamente, um processo que normalmente requer a diluição na água. A empresa Alfa Laval desenvolveu um processo denominado Biostil, em que o vinhoto é usado para diluir o melaço antes da fase de fermentação. Este sistema de *feedback* economiza energia e água e produz um efluente com um conteúdo mais alto de sólidos de aproximadamente 16%.

Também foram feitas pesquisas para desenvolver variedades de fermento mais resistentes, que podem também resultar na redução na produção de vinhoto, simplificando o problema do seu recolhimento. Dos métodos de recolhimento do vinhoto descritos acima, somente dois são praticados pela indústria do açúcar e do álcool no Brasil: a *Fertirrigação* e a *Biodigestão*.

2.4.7.1.1 A fertirrigação usando vinhoto

No setor agrícola, a introdução da fertirrigação talvez seja o maior avanço tecnológico dos últimos 25 anos. Atualmente, no Brasil, a maior parte do vinhoto é aplicada ao solo com fertilizante por causa do seu alto teor de potássio. Por essa razão, é

necessário conhecer bem a composição do solo para garantir que a quantidade aplicada atenda às suas necessidades específicas.

O problema do recolhimento agrava-se com o alto custo do transporte associado à grande quantidade de vinhoto produzida. Quando o vinhoto tem de ser transportado por longas distâncias e o preço do transporte se torna proibitivo, o volume excedente do vinhoto é despejado em tanques. O método consiste em bombear o vinhoto ou transportá-lo em caminhões até as plantações de cana-de-açúcar nas quais ele é aplicado por meio de canais abertos ou sistemas convencionais de irrigação. A aplicação de vinhoto pode aumentar a produtividade de cana-de-açúcar entre 5% e 10%.

2.4.7.1.2 A biodigestão do vinhoto

O recolhimento do vinhoto por meio da biodigestão é praticado por poucas destilarias no Brasil. Os dois melhores exemplos são as destilarias São Martinho e São João, ambas localizadas no estado de São Paulo. Na destilaria São Martinho, o vinhoto é tratado através de um processo termofílico contínuo em um reator UASB sob uma temperatura de 55°C. O vinhoto entra no processo a uma temperatura de 85°C da destilação do álcool. O reator de biodigestão tem uma capacidade de 5.000 m³ e o tempo de residência é de um dia. Cerca de 50% do biogás produzido é usado em um secador de fermento com capacidade de 40 toneladas e o restante é queimado nas caldeiras de bagaço.

A composição do biogás é de 60% de metano e 40% de dióxido de carbono, com poder calorífico de 20.500 kJ/Nm³. O efluente resultante do processo é usado como fertilizante.

Na usina São João o reator contínuo de larga escala, instalado em 1986, também tratava o vinhoto para produção de biogás, reduzindo em 85% a demanda química de oxigênio (DQO). Nesse caso era usado um processo mesofílico à temperatura entre 35°C e 37°C. Todo o biogás produzido era usado no abastecimento de uma frota de caminhões, responsável pelo transporte da cana, do campo até a usina, e também para abastecer carros de serviços usados pela usina. A usina produzia cerca de 300 m³ de etanol por dia, gerando um excedente diário de 3.000 m³ de vinhoto. No entanto apenas

um terço do vinhoto produzido pela usina era tratado por biodigestão, que, neste caso, era feita por meio de um sistema Methax-Biopaq.

O biodigestor da destilaria São João operou por cerca de 10 anos. O reator tinha uma capacidade de 1.500 m³ e o gasômetro de 600 Nm³. O biogás gerado era composto de 70% de metano e 30% de dióxido de carbono, com traços de impurezas. O biogás era purificado e comprimido até 220 atm em reservatórios de 400 Nm³ de capacidade. A produção diária era de 6.500 Nm³ (96% metano). Portanto, o fator de conversão biogás/vinhoto era de 11 Nm³/m³. O metano comprimido era usado para abastecer 41 veículos (29 caminhões e 12 carros de serviço). Isso representava 50% dos caminhões e 40% dos carros que serviam a usina.

Na safra de 1997/1998, o uso de biogás como combustível automotível na destilaria São João foi interrompido e o biogás gerado foi usado apenas para a secagem de fermento. As razões disso foram:

1. O preço baixo do óleo diesel, que recebe muitos subsídios no país;
2. As dificuldades na obtenção de peças sobressalentes para os motores a diesel modificados usados na frota de caminhões.

A Mercedes Benz, que fabrica caminhões no estado de São Paulo, poderia fornecer caminhões especialmente fabricados com motores a gás, porém o mercado é restrito, uma vez que a tecnologia não é adotada por outras destilarias.

3. O SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO

Ao final do século XIX, quando a atividade econômica do Brasil era ainda significativamente agrária, a participação da eletricidade como fonte de energia era inexpressiva, porém, o início da industrialização, a concentração em centros urbanos e o surgimento de uma classe média impulsionaram seu uso nos anos seguintes.(Leite 1997)

Entre os últimos anos do século XIX e a década de 30 do século XX, a potência instalada cresceu de forma acelerada. Havia durante esse período uma centena de empresas privadas que operavam as usinas e distribuíam a energia elétrica. Estas usinas estavam geralmente associadas a regiões de atividade industrial ou atendiam as localidades definidas por concessão municipal. Com o crescimento da atividade e a necessidade de executar projetos de maior tamanho, ocorreu um processo de fusões e incorporações entre as empresas do setor.

A Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (ELETROBRÁS) foi criada em 25 de abril de 1961 com o objetivo de promover estudos e projetos de construção e operação de usinas geradoras, linhas de transmissão e subestações, destinadas ao suprimento do país. Quando foi criada, a capacidade geradora instalada no país era de 5.800 MW. Ao final da década de 1970, todas as concessionárias do setor de energia elétrica já tinham capital nacional.

No início da década seguinte o desempenho da ELETROBRÁS passou a se ressentir das dificuldades que vinham sendo enfrentadas pela economia brasileira. A recessão e a crise da dívida externa criaram um quadro de grave estrangulamento financeiro no setor.

Nos primeiros anos da década de 90 o programa de obras de geração foi praticamente paralisado e foi iniciada uma reorganização institucional do setor, a fim de reduzir a presença do Estado.

Em março de 1993, diminuiu-se o controle da União sobre os preços dos serviços de energia elétrica. Em setembro do mesmo ano, foi criado o Sistema Nacional de Transmissão de Energia Elétrica (SINTREL), pacto operativo entre as empresas detentoras de instalações de transmissão, baseado no princípio do livre acesso a rede de transporte de energia.

Finalmente, em 1995, foi sancionada pelo Executivo uma nova legislação de serviços públicos, fixando regras específicas para as concessões dos serviços de eletricidade, reconhecendo a figura do produtor independente de energia, liberando os grandes consumidores do monopólio comercial das concessionárias e assegurando livre acesso aos sistemas de transmissão e distribuição.

3.1 AS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO

As características físicas do Brasil, como por exemplo, a grande extensão territorial, o grande potencial hídrico e a existência de número significativo de bacias hidrográficas, e as pequenas reservas naturais de petróleo e carvão mineral, foram determinantes para a implantação de um parque gerador de energia elétrica de base predominantemente hidráulica.

No Plano Decenal de Expansão 2000/2008 (ELETROBRÁS, 2000), foi mostrado que o Sistema Elétrico Brasileiro contava em dezembro de 1999 com uma capacidade instalada para geração de energia elétrica de 64.254 MW de potência. A capacidade instalada hidroelétrica do sistema era de 59.588 MW, que representa 92,7 % do total nacional em operação. Os 4.666 MW restantes são fornecidos por usinas termoelétricas a óleo combustível, carvão e nuclear, além das unidades isoladas a óleo Diesel que atendem a região norte do país. A Tabela 8 apresenta o quadro da capacidade de geração elétrica instalada no Brasil, segundo a fonte e o sistema regional.

Tabela 8 – Capacidade de Geração Elétrica Instalada por Fonte e Sistema – MW.

Fonte	Sistema	
	Sul/Sudeste/Centro Oeste	
Hidroelétrica	43.427	
Térmica	3.809	
	Carvão	1.387
	Óleo Combustível	1.765
	Nuclear	657
Total		47.236
	Norte/Nordeste	
Hidroelétrica	14.417	
Térmica	299	
Eólica	15	
Total		14.731
	Isolado	
Hidroelétrica	1.744	
Térmica	543	
Total		2.287
	Brasil	
Hidroelétrica	59.588	
Térmica	4.666	
Total		64.254

Fonte: Plano Decenal de Expansão 2000/2009 – EETROBRÁS

As usinas hidráulicas instaladas são de dois tipos; com reservatórios de acumulação, que geram energia elétrica a partir da água acumulada nesses reservatórios e a fio d'água, que geram energia elétrica a partir do fluxo de água do rio, não acumulando ou acumulando pouca água. Os grandes reservatórios permitem que a água acumulada gere energia elétrica mesmo que tenha pouca chuva, esses reservatórios são chamados de plurianuais.

As grandes usinas geradoras ficam localizadas em lugares distantes dos centros consumidores, fazendo-se necessária à interligação através dos sistemas de transmissão. No Brasil o sistema de transmissão existente conta com interligações entre as usinas e os

centros consumidores, entre diversas usinas ligadas entre si e vários centros consumidores ligados a diferentes usinas.

Esta malha, composta por linhas de transmissão e subestações variadas compõe o sistema interligado que permite que os centros de consumo sejam atendidos por diferentes usinas e que a energia elétrica seja conduzida ao destino desejado. O sistema interligado oferece diversas vantagens operacionais, em particular para a geração de energia elétrica efetuada por usinas hidráulicas. Por se tratar o Brasil de um país com dimensões continentais cuja geração de energia elétrica depende da água, em outras palavras da chuva, o sistema interligado permite que a energia elétrica seja produzida em usinas que tenham seus reservatórios com bom acúmulo d'água enquanto as que estão em período de seca poupem água e aumentem o nível de seus reservatórios, sem que nenhum consumidor seja prejudicado pela falta de chuvas em sua região.

A interligação permite ao sistema elétrico nacional produzir mais energia do que seria proporcionada pela soma das potências de cada geradora individualmente. Atualmente este ganho de produção equivale a 22 % do consumo total de eletricidade.

Em termos da produção de energia elétrica, a participação hidrelétrica alcança cerca de 97% do total e a produção térmica prevalece nos sistemas isolados, servindo também à complementação do atendimento nos sistemas interligados em períodos hidrológicamente desfavoráveis ou para atendimento localizado, quando ocorrem restrições de transmissão.

Como apenas cerca de 25% de todo o potencial hidrelétrico brasileiro conhecido corresponde às usinas em operação e em construção, estima-se que as fontes hidráulicas continuarão a desempenhar importante papel no atendimento à crescente demanda de energia elétrica, pelo menos ao longo das duas próximas décadas (ELETROBRÁS, 2000).

A exploração desse potencial, tradicionalmente efetuada por empresas de economia mista, cujos acionistas majoritários são a União, os governos estaduais ou municipais vem, cada vez mais, contando com a participação da iniciativa privada. Com exceção da GERASUL e as unidades geradoras pertencentes às concessionárias distribuidoras de energia elétrica privatizadas, o parque gerador permanece nas mãos do Estado.

Independentemente, porém, do caráter público ou privado dos agentes encarregados do suprimento de energia elétrica, é de fundamental importância que a operação e a expansão do sistema elétrico brasileiro, cujo grau de interligação entre seus componentes é elevado, continuem a ser realizadas de forma coordenada.

3.2 A REESTRUTURAÇÃO DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO

O Setor Elétrico Brasileiro atravessa um contexto de intensas transformações. Nos últimos anos diversas concessionárias distribuidoras de energia elétrica já foram privatizadas e a continuidade do processo prevê a venda das geradoras e das concessionárias que restam. Além da introdução do capital privado no setor estão sendo claramente definidas as atividades dos geradores, transmissores, distribuidores e comercializadores, além dos organismos reguladores e outros atores.

O modelo estatal que operou no país durante as últimas quatro décadas criou um amplo sistema elétrico com larga experiência na otimização da operação e no planejamento da expansão do sistema, entretanto, uma série de fatores sociais, econômicos, tecnológicos e institucionais contribuíram para gerar um quadro de desequilíbrio econômico deste modelo, entre eles a elevação das taxas de juros internacionais, que elevaram o custo das plantas em construção e inviabilizaram os investimentos de longo prazo, e as pressões pela preservação ambiental, gerando fortes críticas dos consumidores e favorecendo a tese da privatização desses serviços.

Assim sendo, o Governo Federal implantou um conjunto de reformas das regras setoriais tendo já constituído o órgão regulador e fiscalizador dos serviços públicos de energia elétrica, a ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica, o órgão responsável pela operação do sistema de transmissão, o ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico e o MAE – Mercado Atacadista de Energia.

Neste quadro de reformas do setor elétrico é imprescindível ressaltar a predominância hidrelétrica do parque gerador no Brasil, que confere ao sistema elétrico nacional características muito diferentes dos sistemas dos países onde há participação das diferentes fontes primárias na geração de energia elétrica, com predominância dos derivados de petróleo, seguido do carvão e do gás.

3.3 ASPECTOS INSTITUCIONAIS

Basicamente, o novo modelo do setor elétrico brasileiro cria o mercado de energia elétrica, o Mercado Atacadista de Energia Elétrica (MAE), onde será negociada livremente a energia elétrica disponível pelos principais atores: geradores e produtores independentes, comercializadores e consumidores livres. Neste mercado a energia será comercializada em blocos no curto prazo, de acordo com a oferta dos geradores e em contratos bilaterais de longo prazo entre os compradores e os vendedores.

O segmento cativo será objeto de regulação da ANEEL, de forma que as tarifas sejam controladas, mas as empresas tenham liberdade de gestão para buscar reduções de custos.

Na nova estrutura do setor elétrico brasileiro, apresentada na Figura 5, a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL é o órgão regulador e fiscalizador dos serviços públicos de energia elétrica ao qual cabe, neste novo contexto, a responsabilidade de garantir o cumprimento dos preceitos legais estabelecidos para o mesmo. O Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS é o órgão responsável pela operação do sistema de transmissão e tem por objetivo promover a otimização da operação do sistema eletroenergético, visando o menor custo para o sistema, observado os padrões técnicos, os critérios de confiabilidade e as regras do mercado. E o Mercado Atacadista de Energia Elétrica – MAE, através do Administrador do Mercado Atacadista de Energia – ASMA, é a entidade criada para gerenciar as operações nos sistemas e as transações entre os produtores e os compradores de energia dos sistemas interligados.

Do MAE participam, fundamentalmente, todos os geradores com capacidades iguais ou superiores a 50 MW, varejistas e todos os consumidores livres. Cabe um destaque especial à preservação dos interesses dos consumidores com demandas inferiores a 10 MW, chamados consumidores cativos das concessionárias e, excluídos do mercado livre (MAE), de cuja responsabilidade de defesa estará encarregada à agência. (TOLMASQUIM, *et al.*, 1999)

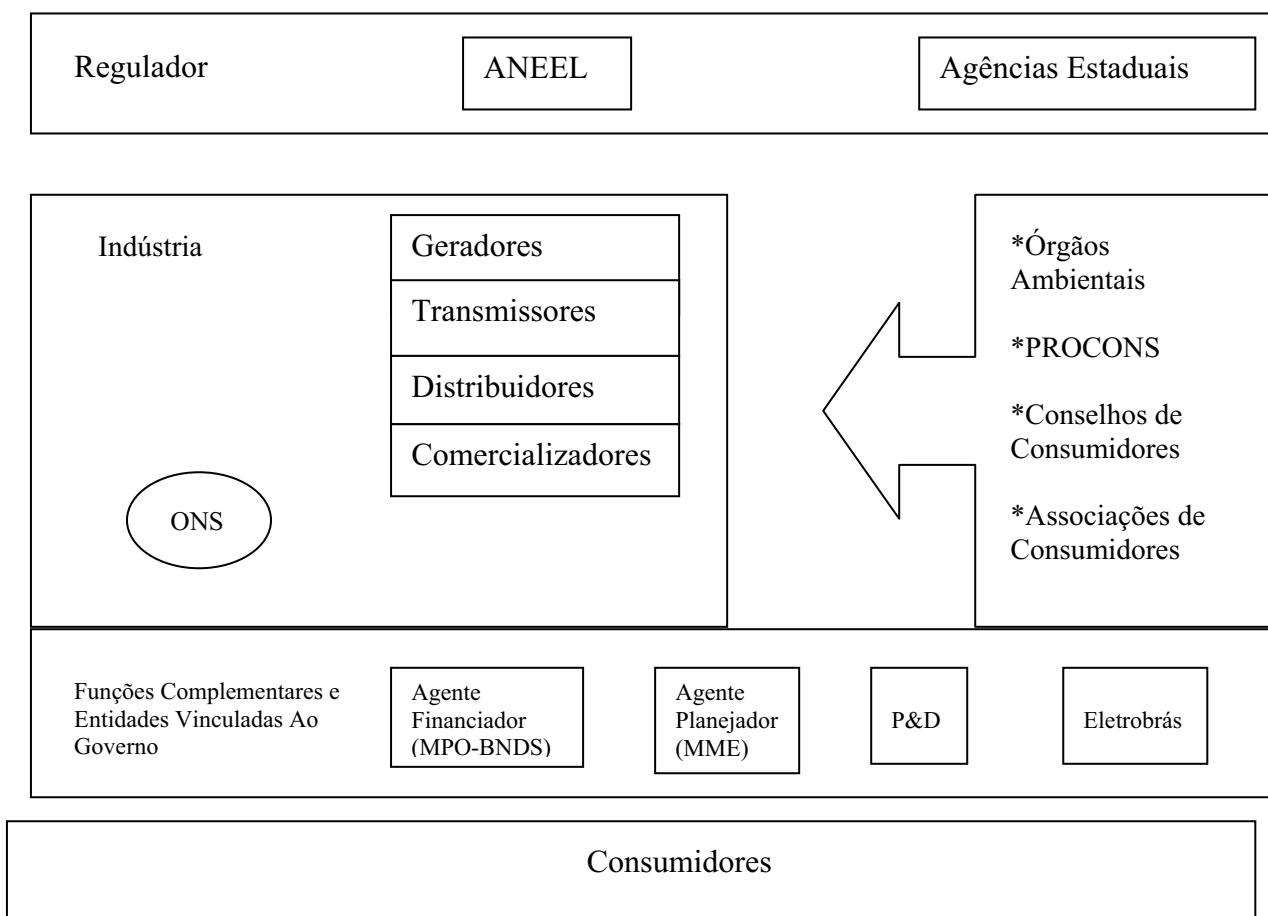


Figura 5 – Nova Estrutura do Setor Elétrico Brasileiro Fonte: SEN/MME (1998)

A constituição destas novas figuras no setor elétrico brasileiro é um marco histórico e representa o momento, a partir do qual, a atividade de geração de energia elétrica passa a se desenvolver sob o regime concorrencial.

A criação do Mercado Atacadista de Energia Elétrica e do Operador Nacional do Sistema Elétrico, sob a gestão dos próprios agentes setoriais, numa estrutura que justapõe, em equilíbrio, os interesses dos produtores e compradores de energia, transfere as responsabilidades das decisões aos atores do mercado.

Acompanhada pela segregação dos custos de suprimento em seus componentes individualizados de geração, transmissão, distribuição e comercialização, cria-se um ambiente favorável para a livre negociação de energia elétrica no mercado de atacado. Desta forma, sinalizam-se preços transparentes, estabelecidos pela competição e diferenciados por região, dando mais flexibilidade às transações de energia, a celebração de contratos de longo prazo e a disponibilidade de indicadores adequados para subsidiar as decisões sobre a expansão competitiva da geração.

O modelo operacional proposto para os agentes participantes do setor elétrico brasileiro está apresentado na Figura 6 e suas regras claras de participação e associação garantirão a livre entrada de novos geradores, permitindo que eles obtenham cobertura equânime nas diferenças entre os valores produzidos e demandados através do registro dos seus contratos.

A compra e venda de energia no âmbito do MAE serão feitas exclusivamente entre seus membros, signatários do Acordo de Mercado. Os agentes da categoria Produção buscarão alocar toda a sua energia elétrica ao MAE e os agentes da categoria Consumo procurarão atender a todas as necessidades de energia elétrica de seus consumidores no âmbito do MAE. Os agentes de comercialização poderão adquirir energia fora do MAE, desde que de geradores conectados diretamente às redes de distribuição.

Para assegurar o correto funcionamento deste mercado concorrencial é necessária a garantia de livre e indiscriminado acesso às redes de transmissão e de distribuição. Esta condicionante foi garantida por um dispositivo legal que quebra o monopólio do acesso exclusivo das concessionárias, sendo os sistemas de transmissão administrados pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) que administrará e coordenará a operação interligada. (TOLMASQUIM *et al.*, 1999)

Já foram regulamentadas através das resoluções ANEEL nº 281, 282 e 286 de 1999 as condições gerais de contratação do acesso, compreendendo o uso e a conexão aos sistemas de transmissão e distribuição de energia elétrica, as tarifas de uso das instalações de transmissão de energia elétrica componentes da Rede Básica do Sistema Elétrico Interligado e as tarifas de uso dos sistemas de distribuição de energia elétrica, respectivamente.

Neste novo ambiente o papel dos consumidores também foi alterado. Existem no novo contexto duas modalidades de consumidores: os cativos e os livres. Este conceito está associado ao fato de estarem os consumidores sujeitos ao fornecimento exclusivo por uma única concessionária ou em condições de escolher a origem de seu fornecimento de energia elétrica.

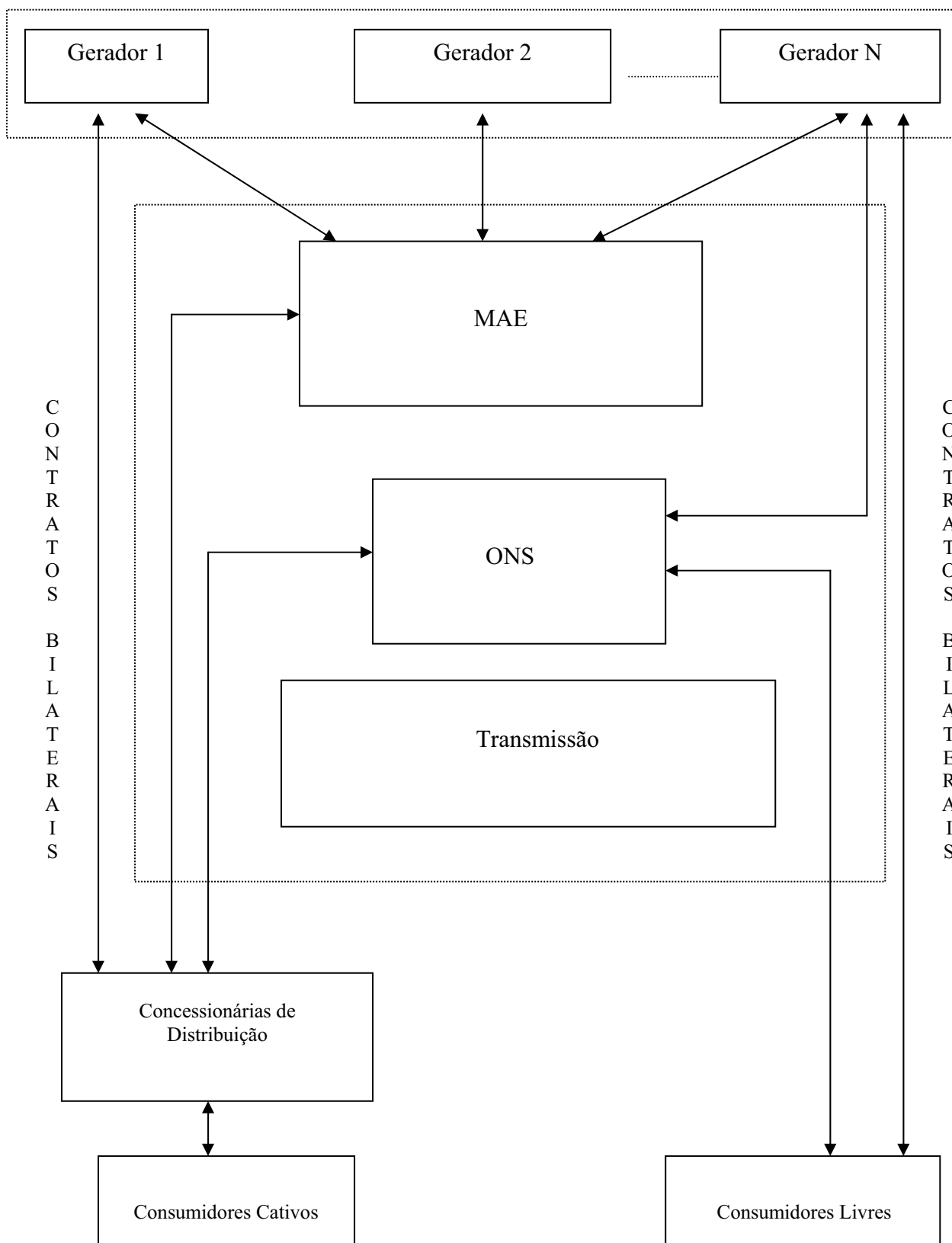


Figura 6 – Modelo Desverticalizado e Competitivo do Setor Elétrico Brasileiro
 Fonte: SEN/MME (1998)

O consumidor cativo é o consumidor a que só é permitido comprar energia do concessionário autorizado ou permissionário a cuja rede está conectado. O consumidor livre é o consumidor que pode optar por comprar energia elétrica de qualquer concessionário, permissionário ou autorizado do sistema elétrico interligado. Ele está legalmente autorizado a escolher seu fornecedor de energia elétrica. Os consumidores livres são caracterizados pelas seguintes situações:

1. Consumidores com carga igual ou maior que 10 MW, atendidos em tensão igual ou superior a 69 kV;
2. Decorridos cinco anos após a publicação da Lei, os consumidores com carga igual ou superior a 3 MW, atendidos em tensão igual ou superior a 69 kV;
3. Após oito anos da publicação da Lei, o poder concedente poderá diminuir os limites de carga e tensão estabelecidos;
4. Para os novos consumidores cuja carga seja igual ou maior que 3 MW, atendidos em qualquer tensão, está estabelecido que é de livre escolha o fornecedor com quem contratará sua compra de energia elétrica;
5. A estes consumidores é também facultada a opção do suprimento por Co-gerador Produtor Independente em outras situações especiais.

É absoluta a liberdade dos consumidores alimentados em 69 kV, com demanda igual ou maior que 10 MW, de optarem pelo seu supridor de energia elétrica. Após 07 de julho de 2001 esta opção é estendida também ao consumidor, atendido nestas tensões, com carga igual ou maior que 3 MW.

Desde 07 de julho de 1995 os novos consumidores com cargas iguais ou maiores que 3 MW, independente da tensão de fornecimento, têm inteira liberdade de optarem pelo seu fornecedor de energia.

O agente comercializador é uma figura nova introduzida no cenário das relações entre os produtores e os seus clientes. Sua presença se justifica na tarefa de dinamizar o mercado em virtude da pouca experiência do setor na comercialização de energia favorecendo, principalmente, as pequenas empresas compradoras ou fornecedoras que visem racionalizar as suas estruturas orgânicas de suprimento ou de comercialização. Para o exercício das suas atividades é requerido a comprovação da posse de contratos dentro do mercado de, no mínimo, 300 GWh/ano. (TOLMASQUIM,*et al.*, 1999)

Outros dois importantes agentes do novo quadro institucional são o Produtor Independente de Energia Elétrica – PIE e o Autoprodutor de Energia Elétrica. O PIE é a pessoa jurídica ou empresas reunidas em consórcio que recebam concessão ou autorização do poder concedente para produzir energia elétrica destinada ao comércio de toda ou parte da energia produzida, por sua conta e risco. A venda de energia elétrica por produtor independente poderá ser feita para:

1. Concessionário de serviço público de energia elétrica;
2. Consumidor de energia elétrica caracterizado como Consumidor Livre;
3. Consumidores de energia elétrica integrantes de complexo industrial ou comercial, aos quais o produtor independente também forneça vapor oriundo de processo de co-geração;
4. Conjunto de consumidores de energia elétrica, independentemente de tensão e carga, nas condições previamente ajustadas com o concessionário local de distribuição;
5. Qualquer consumidor que demonstre ao poder concedente não ter o concessionário local lhe assegurado o fornecimento no prazo de até cento e oitenta dias contado da respectiva solicitação.

O autoprodutor de energia elétrica é a pessoa física ou jurídica, ou empresas reunidas em consórcio, que recebam concessão ou autorização para produzir energia elétrica destinada ao seu uso exclusivo. A comercialização da energia elétrica do Autoprodutor é possível mediante prévia autorização do órgão regulador e fiscalizador do poder concedente.

As instalações do Produtor Independente de Energia Elétrica – PIE e do Autoprodutor de Energia Elétrica podem ser compostas por unidades e sistemas de co-geração.

A operação energética das centrais geradoras de produtor independente e de autoprodutor poderá ser feita na modalidade integrada ou não integrada. Considera-se operação integrada ao sistema aquela em que as regras operativas buscam assegurar a otimização dos recursos eletro-energéticos existentes e futuros. Sempre que a central geradora, em função de sua capacidade e da sua localização, interferir significativamente na operação do sistema elétrico, o contrato de concessão ou o ato autorizativo disporá

sobre a necessidade de sua operação integrada, de acordo com os critérios e as regras de otimização do respectivo sistema, sujeita aos ônus e benefícios decorrentes.

Fica assegurado ao produtor independente e ao autoprodutor, que operem na modalidade integrada, o recebimento de energia do sistema, de modo a garantir o cumprimento de seus contratos de fornecimento, nos casos em que for determinada a redução do despacho de suas usinas pelos órgãos responsáveis pela operação otimizada do sistema. As usinas termelétricas destinadas a autoprodução operarão na modalidade não integrada, podendo ser interligadas ao sistema elétrico.

Os contratos de concessão e as autorizações definirão, nos casos de operação integrada ao sistema, o montante de energia anual, em MWh, e a potência, em MW, que poderão ser comercializados, ou utilizados para consumo próprio, pelo produtor independente ou autoprodutor, e as formas pelas quais esses valores poderão ser alterados.

4. CO-GERAÇÃO

O setor elétrico brasileiro atravessa nos últimos anos uma fase de reestruturação profunda, que atinge não só modificações na sua legislação, mas um desenvolvimento da privatização dentro da nova política, matizada por muitas mudanças definidas pelo Governo Federal. Como parte dessa fase, as vantagens da geração descentralizada e da co-geração têm sido reavaliadas, assim como a compra de excedentes de eletricidade, sendo uma possibilidade a que se abre com a utilização do bagaço de cana para a co-geração de energia elétrica e seu fornecimento para as concessionárias de energia ou unidades produtivas de outros setores.

Precisamente estes últimos anos têm sido testemunhas de momentos de crise energética, devido ao aumento da demanda de eletricidade. Vale a pena comentar que uma situação como esta foi atribuída, sobretudo, à falta de investimentos no setor em anos anteriores.

A inserção na matriz energética brasileira da energia elétrica excedente produzida por co-geração a partir de bagaço, vem se mostrando como uma alternativa barata para gerar energia para o mercado, ao tempo que contribui à diversificação do setor sucroalcooleiro aumentando as receitas do mesmo. Nesse sentido, o desempenho eficiente dos sistemas energéticos exige investimentos aliados a um gerenciamento mais profissional, com maior interesse de investidores internacionais, que implique a entrada de capital estrangeiro e um novo padrão de comportamento para o empresariado brasileiro.

Do ponto de vista energético, as características mais importantes de um combustível são sua composição, seu poder calorífico e outras propriedades relacionadas à tecnologia de conversão adotada.

O uso do bagaço como alternativa energética apresenta vantagens tais como a redução da emissão de resíduos no meio ambiente com um grau de poluição atmosférica muito pequeno, se comparado a outros combustíveis, como óleo diesel e carvão. Além disso, o fornecimento da energia elétrica produzida ocorre entre abril e novembro, período em que os reservatórios hidrelétricos se encontram nos níveis mais baixos.

Estes aspectos têm gerado empreendimentos que colocam a procura de fontes alternativas de geração de energia elétrica como uma prioridade, existindo inúmeras pesquisas, nas que destaca a elaboração de um programa prioritário para a co-geração de energia elétrica no setor sucroalcooleiro, o que tem sido sugerido aos agentes de fomento do setor elétrico brasileiro. Assim, embora em estágios diferentes, quase todas as empresas sucroalcooleiras do País têm ampliação de projetos de co-geração de energia a partir do bagaço de cana, mesmo existindo também programas de apoio a investimentos com marcada presença do gás natural como combustível, alguns deles em vigor recentemente.

Decorrente da expansão destes empreendimentos tem aumentado a procura de equipamento energético que inclui caldeiras, turbinas, equipamento auxiliar, assim como a automação, sendo ela um requisito para o desenvolvimento da co-geração. Ao mesmo tempo, o bagaço de cana-de-açúcar, resíduo da moagem da matéria prima, passou a valer tanto quanto a própria cana, atingindo o valor de até R\$ 39,24 (www.udop.com.br - Abril 2007) por tonelada sendo a tendência atual que as usinas sejam mais eficientes, produzam mais energia elétrica para vender no mercado, e por tanto, que sobre menos bagaço, cujo preço deve subir.

Na prática atual da engenharia nas plantas de co-geração das usinas de açúcar e álcool, fundamentalmente baseadas em sistemas a vapor, geralmente o incremento do potencial de geração de energia elétrica acontece através do aumento dos parâmetros de geração de vapor, sendo possível discutir cenários visando maximizar a capacidade de trabalho de um portador energético.

A partir da disponibilidade de bagaço, a tendência das usinas é a de incrementar o potencial de geração de energia elétrica com fins de obter excedentes para a venda. No Estado de São Paulo múltiplos podem ser os exemplos a serem citados. Porém, as possibilidades de aumento da geração de energia elétrica pelo setor sucroalcooleiro exigem definições ainda pouco esclarecidas, tais como: que tecnologia e potência instalar, qual o período de geração (na safra ou o ano todo), a quem e de que forma vender o excedente de energia, quais as condições de viabilidade do novo investimento, o possível aproveitamento da palha de cana e as necessárias mudanças na lavoura canavieira? Ou seja, não interessa apenas a disponibilidade de combustível a baixo

custo, mas também estudar o potencial termodinâmico, traduzido na capacidade de produzir energia, definir a tecnologia mais adequada e eficiente para o sistema, assim como definir os investimentos, garantindo o retorno no menor tempo possível de acordo com a demanda de mercado.

4.1 HISTÓRIA DA CO-GERAÇÃO

A co-geração corresponde à produção simultânea de diferentes formas de energia útil, como as energias eletro-mecânica e térmica, para suprir as necessidades de uma unidade de processo, seja ela do setor industrial, agrícola, terciário ou um sistema isolado, a partir de uma mesma fonte energética primária. Em outras palavras, seria o aproveitamento de uma parcela da energia que teria de ser obrigatoriamente rejeitada por força da Segunda Lei da Termodinâmica, resultando em um aumento da eficiência global do ciclo térmico.

Esta prática pode ser considerada uma alternativa positiva se comparada ao atual estágio de geração de energia, tal como é concebido o sistema interligado. Neste, as necessidades de energia elétrica são atendidas mediante contrato de compra com uma concessionária, sendo as necessidades térmicas (quentes ou frias) atendidas mediante autoprodução. A energia elétrica também pode ser autoproduzidas, sendo que nestes casos as unidades de geração devem ser dimensionadas para operarem de forma independente das concessionárias, garantindo desta forma a confiabilidade do sistema isolado.

O histórico brasileiro na área de geração de energia é marcado por uma alternância entre os agentes públicos e privados na condução deste processo; no entanto, a geração de utilidades térmicas sempre esteve a cargo dos agentes privados, principalmente pelo fato de o Brasil estar localizado geograficamente em uma área de clima ameno, sendo que, salvo poucas exceções o aquecimento dos ambientes (*district heating*) não é imperativo para a sobrevivência de sua população.

Na história de outros países, localizados em regiões de clima frio, tais como Canadá, Estados Unidos, Suécia e outros países do extremo norte, a geração de formas de energia eletromecânica e térmica para a manutenção da vida sempre foi essencial, o que em parte explica a forte penetração da co-geração em boa parte deles. Dentro dos

níveis de intervenção apresentados para a conservação de energia, a co-geração pode ser enquadrada na terceira etapa, visto que é proposta consonante com a necessidade de disseminação de novas tecnologias poupadoras de energia, portanto mais eficientes.

A prática da co-geração não se encontra limitada pelo desenvolvimento de novas máquinas térmicas, uma vez que simplesmente apresenta uma proposta de geração diversa do conceito atualmente vigente quanto à produção de energia. Este fato não impede, no entanto, que novas formas de geração sejam paulatinamente incorporadas no processo de expansão das centrais de co-geração tão logo se mostrem competitivas com o estado atual de conhecimentos em geração de energia.

A co-geração não tem sido praticada no Brasil na intensidade que poderia apresentar; existem diversos setores favorecidos por demandas energéticas adequadas a esta prática e que poderiam habilitar-se a ela. A participação da co-geração no mercado brasileiro de produção de energia ainda pode crescer de forma significativa, desde que sejam estabelecidas tarifas adequadas e que o mercado apresente taxas de juros realistas que incentivem tal prática.

O conceito de co-geração está associado à geração combinada de energias térmica e eletromecânica a partir de uma mesma fonte primária. Seu uso vem apresentando, especialmente nas duas últimas décadas uma forte tendência de crescimento. A origem desta prática está associada ao desenvolvimento de sistemas para o conforto térmico de ambientes.

As décadas de 1920 e 1930 se caracterizaram pelo desenvolvimento de sistemas de calefação de ambientes na Europa, especialmente nos países do norte, bem como na então União Soviética e países do denominado “bloco comunista”. Um número significativo de centrais de co-geração somente passa a ser evidenciado após a Segunda grande Guerra; as principais causas da lenta difusão desses sistemas nas demais regiões devem ter sido provavelmente decorrentes do baixo custo unitário dos combustíveis e/ou abundância de combustíveis fósseis naquela oportunidade.

Com a crise do petróleo em 1973/74 e 1979/80 e as resistências por parte de grupos de defesa do meio ambiente às formas de geração nuclear, o sistema de co-geração e aquecimento central receberam grande impulso, especialmente nos Estados Unidos, com a publicação em 1978 do PURPA (*Public Utilities Regulatory Policy Act*), cuja seção

210 impôs às concessionárias a compra de energia a preço não discriminatório, baseado nos custos evitados de geração, bem como atender as necessidades energéticas de co-geradores e pequenos geradores que atendessem às qualificações estabelecidas neste mesmo conjunto de leis – QF, *qualifying facilities*. O PURPA abriu novos horizontes na indústria de geração na medida em que introduziu a noção de competição em mercado aberto de energia elétrica e rompeu a estrutura verticalmente integrada das concessionárias públicas.

Observou-se na década de 1980 o forte impulso no emprego da co-geração em diversos países, especialmente porque o apelo que ela apresenta quanto ao uso racional da energia vem garantindo desde então o crescente interesse nessa forma de geração. Na década de 1990, especialmente na Europa e nos Estados Unidos, a co-geração responde por um grande número de aplicações, em diversos setores, tanto em termos de sistemas compactos quanto de grande porte.

Mais recentemente, em 1992, foi criada nos Estados Unidos a figura do EWG – *exempt wholesale generator* – uma espécie de grande gerador de energia que estaria livre de obrigações prescritas no PURPA: qualquer pessoa ou corporação, inclusive entidades afiliadas a concessionárias elétricas, pôde desde então investir em unidades de geração. Como as concessionárias podem reter até 100% de uma EWG, segundo a *National Energy Policy Act* (contra os 50% impostos no PURPA para uma QF), abre-se aí uma grande oportunidade de bancar projetos de geração fora de seu território de atuação.

4.2 LEIS/DECRETOS BRASILEIROS DE CO-GERAÇÃO

O decreto 915, de 6/9/93, autorizou a formação de consórcios para geração de energia elétrica; segundo esse decreto, as empresas interessadas na geração de eletricidade ficam autorizadas a se reunir para tanto, desde que o façam para uso dessa energia nas respectivas unidades consumidoras, cabendo a cada uma parcela proporcional à sua participação na realização do empreendimento (artigo 4º). O parágrafo 1º desse mesmo artigo assinala que o excedente de eletricidade pode ser comercializado com concessionários públicos de energia elétrica; pelo parágrafo 2º, no entanto, está vedada a comercialização ou sessão a terceiros, salvo em vilas operárias

habitadas por empregados dos consorciados, desde que construídas em terrenos de sua propriedade (parágrafo 3º), sessão entre os consorciados de parte da energia e potência que lhes caibam, por meio de mecanismo de compensação formalmente acertado entre as partes (parágrafo 4º) e transporte de energia a partir do uso das linhas de transmissão dos concessionários de serviços públicos, mediante pagamento ajustado e de acordo com as disponibilidades técnicas destes últimos (parágrafo 5º).

A partir do Decreto 1009, de 22/12/93, criou-se o SINTREL - Sistema Nacional de Transmissão de Energia Elétrica, administrado pela ELETROBRÁS – Centrais Elétricas Brasileira SA; por esse órgão, integrou-se a malha básica de transmissão dos sistemas interligados das regiões Sul/Sudeste/Centro-Oeste e Norte/Nordeste, dando possibilidade de integrar os autoprodutores ao sistema. Segundo o parágrafo único do artigo 3º, “entende-se como autoprodutor a pessoa jurídica pública ou privada que esteja capacitada a produzir individualmente ou de forma consorciada energia elétrica para uso próprio, fornecendo o excedente ao concessionário de serviço público”.

A lei 8987, de 13/2/95, dispõe sobre o regime de concessão e permissão de serviços públicos previsto no artigo 175º da Constituição Federal; nela podem se enquadrar os autoprodutores de energia elétrica e consórcios para a geração de energia.

A lei 9074, de 7/7/95, trata em seu artigo 4º de concessões, permissões e autorizações para exploração de serviços e instalações de energia elétrica e de aproveitamento energético de cursos de água. Segundo o artigo 7º, o limite para as instalações termoelétricas de potência superior a 5000kW, destinada a uso exclusivo do autoprodutor, demandam autorização do poder concedente, ao passo que instalações com potência igual ou inferior a esse valor estão dispensadas de concessão, permissão ou autorização, cabendo apenas uma comunicação (artigo 8º).

Na seção II, que compreende os artigos 11º a 14º, identifica-se como “produtor independente de energia elétrica a pessoa jurídica ou empresas reunidas em consórcios que recebam concessão ou autorização do poder concedente para produzir energia elétrica destinada ao comércio de toda parte da energia produzida, por sua conta e risco”. Há aqui uma abertura para venda de energia elétrica também a outros consumidores que não um concessionário de serviço público de energia elétrica, visualizado no artigo 12º, com crescente liberação ao longo dos anos seguintes a publicação da lei (artigo 15º).

Ao longo dos últimos anos, uma série de novas regulamentações tem sido proposta de modo que permita um maior envolvimento da iniciativa privada no mercado de energia. Com a entrada do gás natural da Bolívia, a privatização dos serviços de energia em muitas concessionárias federais e estaduais, o programa nacional de incentivo à construção de termoeletricas e com o advento do Mercado Atacadista de Energia, a co-geração deve assumir num futuro próximo condições favoráveis para o seu pleno estabelecimento no Brasil.

4.3 O SETOR SUCRO-ALCOOLEIRO BRASILEIRO DENTRO DO CONTEXTO DA CO-GERAÇÃO

A co-geração a partir de bagaço de cana, bem como seus aspectos ambientais e sociais, tem sido analisada por vários pesquisadores, entre eles, Coelho *et al.* (1994), que mostraram as vantagens para os setores envolvidos e os benefícios ambientais possíveis de serem obtidos.

Dentro do contexto brasileiro, os próprios pesquisadores já consideravam a agroindústria açucareira como o setor com maior potencial para a geração de excedentes de energia elétrica, fundamentalmente pela enorme quantidade de combustível disponível.

Porém, a necessidade de desenvolvimento de um programa de co-geração, num ambiente.

Competitivo implica a ação conjunta dos setores envolvidos, tais são os casos do setor elétrico, automotivo e outros integrados aos objetivos do Estado. Assim, um fator que tem inibido e ainda inibe o incremento da co-geração é a própria gestão empresarial. Negociar a venda de excedentes de energia elétrica implica uma adequação às características do mercado junto com os sistemas de transmissão e distribuição.

Resulta de interesse sintetizar alguns aspectos prévios do ponto de vista do desenvolvimento desta alternativa e que podem contribuir com a expansão dos sistemas e geração dentro do contexto brasileiro:

- a) Trabalhos recentes ressaltam os diversos setores industriais que apresentam potencial para a co-geração, destacando o setor sucroalcooleiro como o mais expressivo, sendo um benefício, tanto para o próprio setor quanto para o setor elétrico.
- b) Necessidade de diversificação de produtos para as indústrias de açúcar e álcool, conforme as perdas de receita que estas vêm enfrentando. Estas perdas são decorrentes de excedentes de produção de açúcar e álcool, com significativas quedas nos preços de comercialização destes produtos.
- c) Necessidade de claras definições através de diretrizes governamentais para a exploração do potencial da co-geração, uma vez que o setor sucroalcooleiro não se desenvolveu considerando a energia elétrica como um produto.
- d) Desenvolvimento recente da prática de racionalização de energia, que já vem atraindo e estimulando o surgimento de empresas de consultoria e engenharia especializadas em oferecer soluções a indústrias de vários setores.

Os aspectos citados podem ser considerados como questões prévias à medida que vem adotando o setor sucroalcooleiro, onde a co-geração vai desempenhar, e desempenha já de fato um rol fundamental. Porém, qualquer alternativa de expansão do parque de geração de energia elétrica em sistemas a vapor passa necessariamente pela capacidade de investimento da indústria, e por uma adequada remuneração da energia comercializada. A capacidade de investimento impõe necessariamente um estudo sobre o aumento na produção de eletricidade, o que por sua vez nos sistemas a vapor, vincula-se ao incremento dos parâmetros de geração, questão que já têm sido objeto de propostas, não só do ponto de vista termodinâmico, mas como plano para atingir aumento dos lucros.

O Estado de São Paulo aporta antecedentes de muito interesse. Sendo de fato responsável pela produção de aproximadamente 70 % da biomassa proveniente do resíduo da cana de açúcar no país, tem sido alvo de muitos programas de estímulo para o desenvolvimento de fontes alternativas de energia, visando atender o aumento da demanda de energia e reduzir os riscos de racionamento de eletricidade.

O desafio do setor açucareiro pode-se resumir na análise de viabilidade dos investimentos. Esta análise exige a atenção de diversos fatores entre os que destacam a disponibilidade de equipamentos e a sua compatibilidade com as capacidades previstas e

o custo do MWh gerado, considerando que o MWh gerado através do bagaço da cana pode custar entre R\$ 25 e R\$ 40, resultando mais barato quando comparado com custo de produção da mesma quantidade de energia a partir de gás natural, que segundo a CPFL pode ser estimado em R\$ 60 o MWh. Desta forma, é muito difícil contratar um projeto e montá-lo sabendo que o resultado final será a produção de uma energia mais cara do que a disponível no mercado.

Com as medidas de desregulamentação de mercado, com a possibilidade das empresas produzirem a própria energia que consomem e, se conseguirem, vender o excedente no mercado, o desafio passa a ser a viabilização econômica dos empreendimentos.

4.4 O EMPREGO DO BAGAÇO

O bagaço é um subproduto do processamento da cana na Indústria Sucroalcooleira, e a fonte energética da maior importância para essa indústria. Sendo um material fibroso, de baixa densidade, com uma ampla variedade de tamanhos, e com uma umidade de 50%, (em base úmida), resulta de grande interesse caracterizar as propriedades das partículas de bagaço, devido à necessidade de aplicação de procedimentos para o desenho de transportadores, alimentadores, sistemas de secagem, sistemas de combustão, entre outros aspectos.

As características técnicas do bagaço, ou seja, a composição química, (elementar e imediata) e a umidade, que determinam o poder calorífico do combustível, também são importantes.

Estas propriedades variam de acordo com inúmeras circunstâncias, sendo informações determinantes no momento de fazer uma avaliação aprimorada do ponto de vista energético de tecnologias que dependem da combustão de bagaço, como no caso das usinas sucroalcooleiras.

A produção elétrica nas usinas de açúcar e álcool a partir de bagaço é prática tradicional no mundo há muitos anos. O que certamente muda é a eficiência com que o potencial do bagaço é utilizado. Hoje em dia, o bagaço representa uma das opções mais

atrativas para a geração de potência. No Brasil, a co-geração nas usinas de açúcar e álcool é também uma prática tradicional, porém, a produção de excedentes de energia elétrica cogerada só tem sido objeto de interesse nos últimos anos.

Pode-se falar em heterogeneidade quando se trata do setor sucroalcooleiro brasileiro. A enorme diversidade em termos de capacidade de moagem, eficiências de produção, entre outros aspectos, nas mais de três centenas de unidades industriais no país, indicam claramente que a identificação de um caso típico é praticamente impossível, muito embora seja possível estabelecer critérios na hora de tipificar os arranjos para os sistemas de produção de energia elétrica, sendo conhecidos e citados no capítulo anterior o uso de turbinas a vapor de contrapressão, a combinação de turbinas de contrapressão com turbinas de condensação do fluxo excedente, e sistemas, mais avançados, dotados de turbinas de extração-condensação de controle automático.

Dentro do contexto brasileiro os fabricantes de geradores de vapor empregando bagaço oferecem geradores de vapor que operam na faixa de 3,2 a 8,0 MPa, sendo a elevação dos níveis de pressão na geração de vapor uma tendência mantida nos últimos anos. Já para valores na faixa entre 4,2 MPa ou até 6,3 MPa para o nível de pressão na geração de vapor, sabe-se que até 6,3 MPa algumas unidades já foram comercializadas, sem perder de vista que a operação destes equipamentos, ainda com possibilidades de níveis de pressão na geração de vapor acima dos valores citados, implicaria em maior experiência e exigências para o tratamento de água, questões que vão além da prática atual nas usinas.

4.5 CO-GERAÇÃO NAS USINAS

No Brasil, a indústria canavieira já pratica a co-geração e vende a eletricidade para a rede. Cerca de 15 usinas assinaram contratos com as concessionárias locais do setor elétrico. Os iminentes apagões causados pela crescente demanda de eletricidade na região Sudeste do Brasil, estão forçando as autoridades a encontrar soluções rapidamente. Entretanto, as autoridades locais e os proprietários das usinas não

perceberam que as indústrias do açúcar e do álcool podem fornecer parte da demanda de eletricidade no futuro com investimentos relativamente moderados.

O bagaço tem sido usado nas usinas na geração de vapor e, em alguns casos, na co-geração de vapor e eletricidade para satisfazer a demanda da usina.

O projeto de uma central de co-geração deve ser dimensionado de modo que acomode flutuações nas demandas por energia térmica e eletromecânica; essas flutuações podem ser geridas instalando-se configurações que operem na base da demanda térmica do processo sem queima suplementar, ou em nível mínimo. A taxa suplementar de queima pode ser, então, aumentada para atender às demandas de pico de vapor conforme se faça necessário. Esse é o procedimento apropriado para o projeto no qual o objetivo primário da central é satisfazer a demanda térmica, sendo a geração de energia eletromecânica um subproduto, ou quando a razão potência/calor do processo for baixa. Uma opção interessante seria dimensionar o sistema de co-geração pelo pico de demanda térmica, com injeção dos excedentes de vapor na turbina a gás nos períodos de queda dessa necessidade; nesse procedimento permite um aumento da geração eletromecânica nos períodos de baixa demanda térmica, mas incorrerá no aumento da demanda por água da alimentação da caldeira.

Finalmente, cabe informar que as recomendações técnicas inerentes às máquinas térmicas devem ser consideradas como a participação de vapor entre extrações e condensação (cerca de 20% e 80%) e extrações e contrapressão (cerca de 45% e 55%) bem como a participação entre W_{TV} / W_{TG} nos ciclos combinados (cerca de 30% a 60% entre projetos comerciais, com valores relatados entre 17% e 94%) e o compromisso entre a vazão de combustível da turbina a gás e o do queimador suplementar, que não devem superar valores razoáveis, da ordem de 30 a 40%. A avaliação das diferentes configurações deve contemplar, de modo geral:

- A estrutura tarifária praticada, uma vez que valores altos de venda da energia incentivarão uma produção de potência superior às necessidades da unidade de processo;
- A viabilidade de uma certa configuração em dada localidade pode não ser a mesma para o outro local devido a diferenças nos preços de combustíveis e de

eletricidade, em economias que apresentem valores diferenciados em nível regional para os insumos energéticos;

- Para cada processo, uma avaliação deve ser feita nos subprocessos e/ou equipamentos para que todo sistema que possa ser diretamente acoplado aos geradores, ou seja, evitando-se desse modo perdas associadas a efeitos elétricos, bem como os custos de investimento associado aos geradores, motores e equipamentos de linha para transmissão;
- O uso direto de gases de exaustão nos processos de aquecimento (fornos e secadores), quando tais processos não apresentarem restrições quanto à contaminação pelos poluentes existentes (especialmente NO_x , SO_x , particulados e lubrificantes), deve ser incentivado, uma vez que elimina os custos referentes a trocadores de calor; outra opção é o uso de gases de exaustão como preaquecedores do ar enviado a aquecedores de processo, não apenas pela economia no investimento, mas pela eficiência termodinâmica;
- Atendimento dos níveis mínimos de eficiência, formulados por regulamentações federais, ou estaduais, quando existentes, deve ser alcançado mesmo nas condições extremas de operação; o mesmo se aplica para os níveis de emissão de particulados, NO_x e SO_x pela queima de combustíveis em centrais de co-geração.

As condições genéricas apresentadas permitem estabelecer por norma de projeto que:

- Cada indústria, ainda que de um mesmo setor e empregando idênticos processos, apresenta aspectos individuais que conduzem forçosamente a uma análise particular, com soluções específicas;
- Características gerais, como temperaturas, vazões e pressões de fluxos térmicos e tendências de curvas de demanda, podem ser assumidas como indicações preliminares para um projeto, devendo-se proceder aos ajustes necessários tão logo a unidade possa fornecer suas próprias informações;
- Critérios diversos, por vezes conflitantes, envolvem tanto o projeto quanto à operação de centrais de co-geração, limitando os níveis de geração eletromecânica e térmica e, por consequência, os níveis de excedentes desejados;

- Informações detalhadas sobre cada classe de equipamento, de acordo com sua capacidade, eficiência, consumos específicos, confiabilidade, custos, emissões de poluentes para a atmosfera, flexibilidade para absorver variações de cargas, entre outros, devem ser conhecidas para balizar a composição das configurações e a decisão final.

4.6 CONSIDERAÇÕES GERAIS

O planejamento de uma central de co-geração que seja destinada a atender integralmente às necessidades térmicas da unidade de processo e que ainda procure gerar excedentes elétricos para venda à concessionária deve buscar, necessariamente, as melhores soluções disponíveis em termos do arranjo, da capacidade, do tipo e da quantidade de máquinas, de modo que garanta um retorno econômico/financeiro adequado e opere durante um número de horas razoável para o atendimento das necessidades para as quais foi projetada.

O projeto de uma central de co-geração consiste em definir os arranjos de máquinas e equipamentos de geração que melhor atendam às demandas energéticas de uma unidade de processo segundo uma determinada estratégia operacional. Em muitos projetos, as soluções propostas são definidas mais em função da experiência do projetista do que por uma seqüência lógica de decisões, baseada em alguma rotina de cálculos; assim, ao “problema real” – projetar uma central de co-geração – são propostas “soluções reais” – diferentes arranjos definidos *a priori* para análises técnica e econômica – a partir de máquinas comercialmente disponíveis, quando aplicável.

Como nem sempre a passagem do “problema real” para a “solução real” se faz através de um percurso “direto”, é recomendável que se procure trilhar um caminho alternativo, porém com maiores garantias de sucesso e possibilidade de alcançar melhores resultados – o assim chamado percurso “indireto”. Pela análise apurada do “problema real” é possível transformá-lo em um “problema físico/matemático”, que será tão mais representativo do primeiro quanto maiores forem os cuidados na formulação do segundo.

A partir do “problema físico/matemático” buscam-se modelos que permitam obter “soluções matemáticas” para o mesmo, tais valores devem ser validados, a partir de um processo de análise dos resultados, de modo que se obtenham as “soluções reais” originalmente desejadas; esse processo pode ser visualizado na figura 7. A vantagem relativa do percurso “indireto” se encontra tanto no método para a pesquisa de soluções, que elimina o empirismo na proposição de soluções, quanto na possibilidade de quem sejam obtidas soluções ótimas, conforme a classe de modelos empregada.

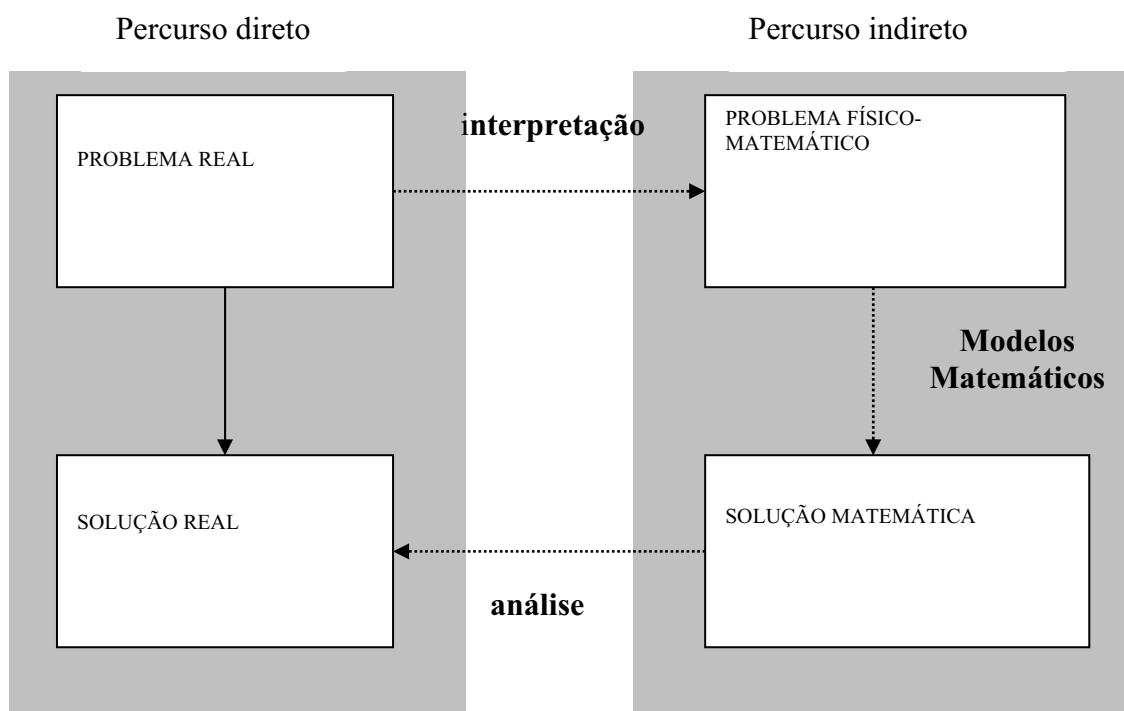


Figura 7 – Estrutura de Projeto

Fonte: Cogeração – Balestieri – 2002

Os diversos modelos matemáticos interagem entre si, fornecendo informações uns aos outros para que o processo culmine com a proposta de uma ou mais soluções para o problema proposto. Os modelos de avaliação do ambiente são aqueles que visam primordialmente coletar, analisar e interpretar os valores, ponderais ou não, que deverão servir de subsídio para o desenvolvimento dos modelos de otimização na busca das soluções, fornecendo-lhes as características funcionais do ambiente em que se inserirá a solução final adotada.

Os modelos de otimização contam com diferentes estruturas, basicamente, são geradas soluções eficientes que levadas a uma estrutura que simula o desempenho do

sistema pela avaliação das funções objetivo indicadas, apresentam a expectativa de resultados futuros a serem alcançados. Tais resultados são comparados com padrões vigentes, práticas usuais, resultados anteriores ou mesmo com expectativas de valores a serem alcançados – dessa comparação sairá a decisão em admitir a solução presente como aquela que deve ser implantada ou, a partir de um módulo de controle, impõem-se novas condições e parte-se para a geração de novas soluções.

Quando da utilização de recursos matemáticos de otimização, qualquer que seja o método empregado, é válida a observação de que nenhum deles consegue oferecer boas soluções, salvo se o mesmo for adequado para aquela aplicação; se a formulação técnica que lhe dá suporte for corretamente aplicada se lhe seja fornecidas as informações necessárias e que sejam obtidas das formas mais confiáveis possível; de outro modo, os modelos de otimização são apenas recursos utilizados para garantir soluções ótimas ou eficientes.

Tais estruturas são de grande valor na pesquisa de soluções adequadas para certo projeto, especialmente no caso dos projetos de centrais térmicas, por representarem uma economia de tempo considerável na simulação de múltiplas alternativas para seleção do arranjo final. De acordo com a seqüência fixada para o resgate da memória técnica das centrais termoelétricas brasileiras, há alguns passos essenciais que devem ser trilhados para a adequada elaboração do projeto dessas unidades.

A análise técnica das centrais termoelétricas deve conter os seguintes tópicos:

- Estudo de viabilidade;
- Projeto básico;
- Projeto executivo.

O estudo de viabilidade reúne-se informações relativas ao planejamento da obra e sua justificativa, nele devem constar:

- Os estudos de mercado e a definição da potência a ser gerada;
- Combustível a ser utilizado, localização e acessos;
- Estudos diversos (topográfico, hidrológico, meteorológico; geotécnico, meio ambiente, condições socioeconômicas);
- Alternativas estudadas;

- Alternativas escolhidas com a definição do arranjo geral das máquinas, características do turbogerador e do ciclo térmico, características da usina (como potência, fatores de capacidade, carga, utilização, disponibilidade e vida útil), dados básicos dos demais equipamentos, levantamentos das principais quantidades de serviços, orçamento (em US\$/kW e US\$/MW), consumo específico do combustível (kg/kWh), desenhos esquemáticos e fluxogramas.

No projeto básico são apresentados os elementos que definem a documentação técnica necessária para que as tomadas de preços para as obras civis e montagem, bem como as encomendas do turbogerador e do ciclo térmico, sejam encaminhadas. No projeto executivo reúnem-se os documentos que representam a forma final do empreendimento, incluindo-se todas as modificações operadas desde o projeto básico até a obra construída. (Balestieri – 2002)

5. RESULTADOS - COMPARAÇÕES – BAGAÇO CRU, BAGAÇO SECO E BAGAÇO HIDROLISADO

5.1 HIDRÓLISE

A matéria-prima para hidrólise são substâncias de origem vegetal: resíduos florestais, madeira, gramíneas, resíduos agrícolas, etc. No Brasil, a matéria-prima mais adequada é o bagaço de cana-de-açúcar, pois ele já vem pré tratado pelas moendas, disponível em abundância, custo mínimo e disponibilidade no local de uso. Em um futuro próximo, a palha da cana poderá ser utilizada com matéria-prima ou como combustível nas caldeiras, liberando mais bagaço para hidrólise.

Tipos de hidrólise e suas características:

1. Hidrólise Química (Ácida):
 - Dificuldade técnicas e operacionais;
 - Baixo rendimento;
 - Processo ainda não competitivo.
2. Hidrólise Enzimática:
 - Em desenvolvimento em escala piloto;
 - Elevados: Investimentos/custo operacional;
 - Processo ainda não está a nível industrial.
3. Hidrólise Estado Crítico:
 - Em desenvolvimento;
 - Processo pouco conhecido e pesquisado;
 - Processo ainda não está a nível industrial.

Os principais problemas da hidrólise química são: a lignina restringe o acesso à celulose e precisa ser previamente removida, as condições de remoção da lignina são severas ou requerem longo tempo no meio reacional (horas) e o meio que se processa a hidrólise, também, ataca o açúcar formado degradando o mesmo, reduzindo o rendimento ou a conversão de açúcar. A pioneira em hidrólise rápida é a Dedini Indústrias de Base, o seu processo tem, basicamente as seguintes características:

- Processo contínuo;
- Poucas operações unitárias;
- Pequeno tempo de residência;
- Baixa concentração ácida;
- Bom rendimento devido à pequena degradação do açúcar formado e mínima produção de inibidores da fermentação;
- Recuperação do solvente;
- Mosto hidrolisado relativamente concentrado;
- Pequeno consumo energético;
- Possibilidade da recuperação da lignina;
- Uso da lignina como combustível nas caldeiras ou retorno ao solo;

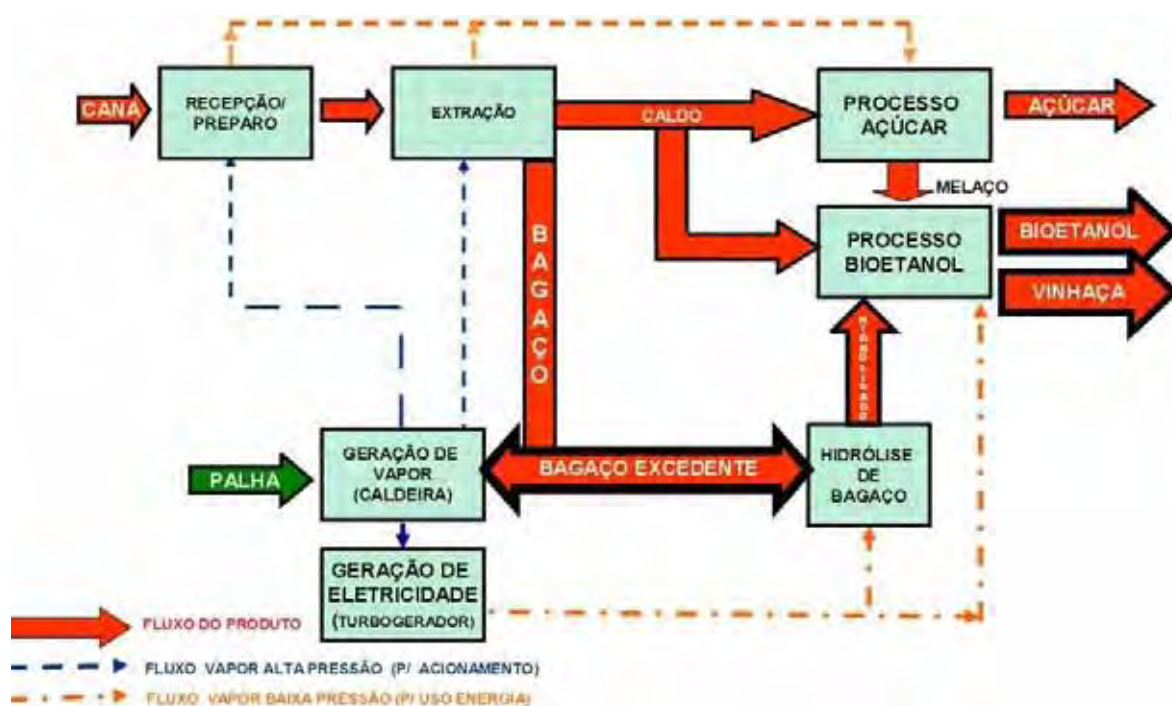


Figura 8 – Fluxograma de Produção – Açúcar, Álcool e Bioetanol excedente

Fonte: Dedini Indústria de Base

O processo de hidrólise destina-se a quebrar as (macro) moléculas de celulose ou hemicelulose, por meio da adição de ácido sulfúrico aos resíduos, no caso da hidrólise ácida, ou pela ação de enzimas (catalisadores orgânicos), no caso da hidrólise enzimática. Essa última reproduz o processo existente na natureza, em que a quebra das longas cadeias das moléculas de celulose em açúcares é feita por enzimas (chamadas celulasas, secretadas por fungos ou bactérias, microrganismos que se alimentam de matéria orgânica, alterando-a e formando substâncias químicas) e a fermentação, por leveduras, dos açúcares em etanol. O processo de hidrólise enzimática requer o desenvolvimento de microrganismos capazes de quebrar a celulose, fermentar o açúcar, tolerar altas concentrações de etanol e produzir exclusivamente o etanol (sem subprodutos indesejáveis). (BASTOS, 2007)

Os esforços de criação de tal microrganismo concentram-se em modificar geneticamente um determinado microrganismo existente, com a remoção de características genéticas indesejadas e o acréscimo de genes (de outro microrganismo), incorporando características que permitam redução do número de etapas do processo de conversão, redução de custos e aumento da competitividade do produto. Existem esforços também no sentido de desenvolver um microrganismo sintético pela construção quase integral de um genoma. Diversos resultados já foram alcançados por grupos de pesquisas no exterior, que esbarram ainda no obstáculo do custo ainda elevado das enzimas.

Segundo especialistas, há vantagens e desvantagens em cada uma das duas rotas tecnológicas de hidrólise. O processo químico, de hidrólise ácida, tem a vantagem de envolver uma tecnologia mais conhecida, mas apresenta a desvantagem de (por usar um ácido como “catalisador”) ser muito rápida e envolver dificuldades de controle de modo a evitar reações paralelas indesejáveis. Na hidrólise enzimática, um processo que contempla subsídios da biotecnologia moderna, a quebra da molécula de celulose/hemicelulose é feita por enzimas; ou seja, por uma molécula biológica, que promove reações “em meio específico, com a máxima eficiência, mas de forma mais lenta e mais propensa a bloqueios e inibições”. Essa última envolve maior complexidade por requerer conhecimentos de áreas pertinentes à biotecnologia moderna, engenharia genética e pesquisa biológica fundamental, construídas sobre os avanços da chamada

revolução da biologia molecular, para o desenvolvimento da enzima. Mas essas novas técnicas abrem perspectivas e potencialidades para a química do etanol, da mesma forma como vêm revolucionando indústrias como a farmacêutica.

Embora nenhuma iniciativa tenha ainda alcançado estágio de viabilidade comercial – as barreiras são os elevados custos do complexo enzimático, a baixa taxa de conversão da celulose em açúcares, a necessidade de pré-tratamento para conseguir conversões eficientes –, a tecnologia de hidrólise enzimática apresenta grande potencial em virtude de características como a especificidade da reação, ausência de reações secundárias (que levariam à perda de rendimento), ausência da formação de produtos secundários (inibidores da fermentação alcoólica) e reação em condições suaves que não requerem altas pressões e temperaturas ou ambientes corrosivos para os equipamentos [CGEE (2005)].

Tabela 9, Hidrólise Ácida e Enzimática de Bagaço de Cana para Produção de Etanol.

HIDRÓLISE ÁCIDA	HIDRÓLISE ENZIMÁTICA
Quebra da celulose/hemicelulose por adição de ácido (sulfúrico) O ácido precisa ser muito controlado para evitar reações paralelas indesejáveis	Quebra da celulose/hemicelulose por enzimas Necessidade de manipulação genética de microrganismos para produção de enzimas capazes de reduzir etapas e, conseqüentemente, custos do processo.
Tecnologia mais simples (base científica conhecida)	Tecnologia mais complexa (bases científicas da biotecnologia moderna, menos conhecidas)
Prazo mais curto para desenvolvimento da tecnologia	Prazo mais longo para desenvolvimento da tecnologia
Em tese, menores riscos, mas menor retorno	Possivelmente, maiores riscos, mas também maior retorno
Desafio em termos de inovação está centrado no desenvolvimento de equipamentos (com base em materiais mais resistentes à corrosão)	Desafio centrado no desenvolvimento de enzimas a custo competitivo
Foco de empresas brasileiras (Dedini e Oxiten)	Foco de empresas e programas de governo dos Estados Unidos e da União Européia

Fonte: BNDES Setorial, 2007

5.2 BAGAÇO CRU E BAGAÇO SECO

Denominamos bagaço cru o bagaço que sai da moagem e permanece com sua composição inalterada, ou seja, não sofre nenhum tratamento físico-químico. O bagaço seco tem a composição parecida, com exceção da ausência de água na sua composição.

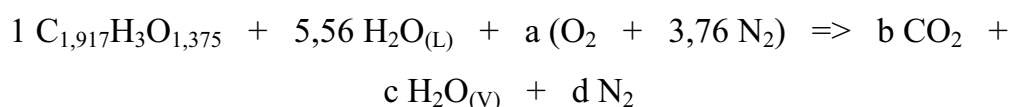
A composição química do bagaço cru esta apresentada na tabela 10 e do bagaço seco na tabela 11.

Tabela 10, composição química do bagaço de cana-de-açúcar cru.

Elemento	Peso (%)
Carbono (C)	23
Oxigênio (O)	22
Hidrogênio (H)	3
Cinzas	2
Água (H ₂ O)	50
Total	100

Fonte: www.estadao.com.br

O poder calorífico do bagaço cru é de 1800kcal/kg (Cunha, 2005), para obter-se o valor da entalpia de formação do bagaço, fez-se a reação de combustão com o bagaço cru:



Cálculo estequiométrico:

Carbono: $\boxed{1,917 = b}$

Hidrogênio: $3 + 2(5,56) = 2 c$

$\boxed{c = 7,06}$

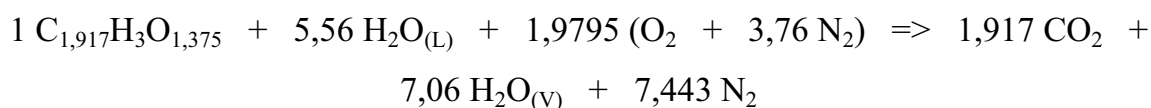
Oxigênio: $1,375 + 5,56 + 2 a = 2 b + c$

$\boxed{a = 1,9795}$

Nitrogênio: $3,76 a = d$

$\boxed{d = 7,443}$

Reação balanceada estequiometricamente:



O termo entalpia refere-se a energia do sistema quando o processo ocorre a pressão constante. Temos os termos $H_{f,r}$ e $H_{f,p}$, que se referem às entalpias de formação dos reagentes e produtos, respectivamente. Essas entalpias representam a energia necessária para formar as substâncias dos reagentes e produtos a partir de um estado de referência, para o qual se atribui entalpia de formação nula. Este estado de referência corresponde ao estado em que os átomos da substância estão dispostos no estado mais comum encontrado na natureza. A temperatura de referência adotada será de 25°C, tendo que ser especificada, pois a entalpia varia com a mesma.

Tendo o valor do PCI do bagaço cru, pode-se determinar a sua entalpia de formação de reagente, para com esta, determinar o PCI do bagaço seco. Sabe-se que:

$$\text{PCI} = H_{f,r} - H_{f,p}$$

$$H_{f,r} = h_{f,BC} + 5,56 h_{f,H_2O(L)} + 1,9795 h_{f,O_2} + 7,443 h_{f,N_2}$$

$$H_{f,r} = h_{f,BC} + 5,56 (-68317) + 1,9795 (0) + 7,443 (0)$$

$$H_{f,r} = h_{f,BC} - 379842,52 \text{ [cal/mol]}$$

$$H_{f,p} = 1,917 h_{f,CO_2} + 7,06 h_{f,H_2O(V)} + 7,443 h_{f,N_2}$$

$$H_{f,p} = 1,917 (-94052) + 7,06 (-57798) + 7,443 (0)$$

$$H_{f,p} = -588351,564 \text{ [cal/mol]}$$

$$\text{PCI}_{BC} = 1800 \text{ kcal/kg ou } 360000 \text{ cal em } 200 \text{ g.}$$

$$360000 = (h_{f,BC} - 379842,52) - (-588351,564)$$

$$360000 = h_{f,BC} + 208509,044$$

$$H_{f,BC} = 151490,956 \text{ cal/mol}$$

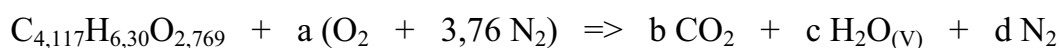
A entalpia de formação calculada será utilizada para a determinação do poder calorífico do bagaço seco.

Tabela 11, composição química do bagaço de cana-de-açúcar seco.

Elemento	Peso (%)
Carbono (C)	49,40
Hidrogênio (H)	6,30
Oxigênio (O)	44,30
Total	100

Fonte: www.estadao.com.br

A reação de combustão do bagaço seco é:



Cálculo estequiométrico:

Carbono: $b = 4,117$

Hidrogênio: $6,30 = 2 c$

$$c = 3,15$$

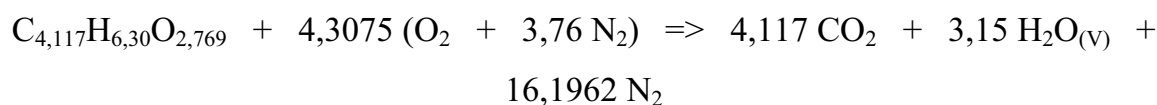
Oxigênio: $2,769 + 2 a = 2 b + c$

$$a = 4,3075$$

Nitrogênio: $3,76 a = d$

$$d = 16,1962$$

A reação balanceada estequiométricamente:



Como já se determinou a entalpia de formação da fibra do bagaço, pode-se obter o PCI_{BS} , pela sua reação de combustão sem água líquida nos reagentes.

$$PCI = H_{f,r} - H_{f,p}$$

$$H_{f,r} = h_{f,BC} + 4,3075 h_{f,O_2} + 16,1962 h_{f,N_2}$$

$$H_{f,r} = 151490,956 + 4,3075 (0) + 16,1962 (0)$$

$$H_{f,r} = 151490,956 \text{ [cal/mol]}$$

$$H_{f,p} = 4,117 h_{f,CO_2} + 3,15 h_{f,H_2O(V)} + 16,1962 h_{f,N_2}$$

$$H_{f,p} = 4,117 (-94052) + 3,15 (-57798) + 16,1962 (0)$$

$$H_{f,p} = - 569275,784 \text{ [cal/mol]}$$

$$PCI_{BS} = 151490,956 - (-569275,784)$$

$$PCI_{BS} = 720766,74 \text{ cal/mol}$$

Para o cálculo da entalpia de formação do bagaço cru, usou-se 200 g de produto, 100 g de fibra e 100 g de água, então esse valor de PCI_{BS} está para 200 g, e não para 100 g. Logo:

$$PCI_{BS} = 3603833,7 \text{ cal/kg}$$

$$PCI_{BS} = 3603,834 \text{ kcal/kg}$$

5.3 BAGAÇO HIDROLISADO

Segundo Oliveira (1994), vários estudos tem sido feito sobre a utilização do bagaço de cana hidrolisado (BH), este fez o estudo do tempo de estocagem sobre a composição química do BH. Oliveira utilizou bagaço recém-hidrolisado, que durante a hidrólise foi submetido à pressão de 21 kgf/cm² durante 5 minutos, 13 kgf/cm² nos 5 minutos seguintes e a 19 kgf/cm² na descompressão súbita, a 210° - 220° C.

O BH foi submetido à estocagem durante zero; 15; 30 e 45 dias, correspondendo aos tratamentos A, B, C e D.

Tabela 12 – Composição química do bagaço hidrolisado sob diferentes tempos de estocagem.*

Tempo de Estocagem	Massa Seca	Poder Calorífico
A (zero dia)	41,82 %	4272,50 Kcal/kg
B (15 dias)	43,71 %	3975,33 Kcal/kg
C (30 dias)	46,32 %	4020,02 Kcal/kg
D (45 dias)	55,09 %	4049,85 Kcal/kg

*Análises realizadas no Laboratório de Nutrição Animal da FCAVJ/UNESP – 1994

O bagaço hidrolisado é muito interessante no seu aproveitamento para geração de vapor para usinas de produção de açúcar e álcool. Além de ser muito utilizado para alimentação animal, aumentando a digestibilidade da ração, principalmente para a manutenção e engorde do gado bovino confinado em tempo de escassez de pastos ou períodos de seca, pois a porcentagem de proteínas e de fibras aumenta consideravelmente em relação ao bagaço de cana cru. Além de rações, o BH está sendo utilizado para obtenção de diversos tipos de papéis, fármacos e produtos como o furfurool, de alta reatividade, para a síntese de compostos orgânicos, com grande número de aplicações na indústria química e farmacêutica.

6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Com a nova consciência ambiental, novas tecnologias estão sendo desenvolvidas e antigos métodos abolidos, para que se obtenha um grau de poluição cada vez menor. O aproveitamento do bagaço de cana-de-açúcar pelas usinas é um excelente exemplo disto.

A produção brasileira de cana na safra 2006/2007 teve um aumento de cerca de 10%, da safra anterior (2005/2006), que passou de 431,41 milhões de toneladas para 475,73 milhões de toneladas. A área de plantio de cana foi de 6188,6 mil ha, o seu aumento foi de 6,00% no Brasil, na região sudeste o aumento foi de 5,40%, que equivalem a 3288,2 mil ha. A produção de açúcar teve variação nacional de 12,4%, a produção de álcool anidro foi de 7,9% e álcool hidratado de 18,6%. O custo fixo da cana-de-açúcar na colheita é de R\$4.684.175,20 para uma área plantada de 23.583,38 ha. Para essa mesma quantidade de cana o seu custo variável é de R\$17.520.041,74. Totalizando um custo total de R\$22.204.216,94, que equivalem a 27,15% do custo total da cana-de-açúcar.

Depois que a cana é moída e embebecida para que ocorra o máximo de extração do seu caldo, o bagaço é utilizado dentro da usina, com tratamento químico ou não, para geração de energia térmica e elétrica, e quando a produção excede o consumo, são vendidas para a concessionária local o excedente de energia elétrica.

Segundo o levantamento do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, do total de cana-de-açúcar plantada na safra 2006/2007, 50,9% destinam-se a produção de açúcar, 38,6% a produção de álcool e o restante, 10,5% à fabricação de cachaça, alimentação animal, sementes, fabricação de rapadura, açúcar mascavo e outros fins. A região Sudeste é responsável por 69,3% de toda cana produzida no país, 13,1% na região Nordeste, 9,7% na região Centro-Oeste, 7,6% na região Sul e 0,3% na região Norte.

A produção nacional de açúcar aumentou em 12,4% em relação a safra 2005/2006 e de álcool aumentou em 3,8%.

Na região Sudeste a produtividade de cana-de-açúcar subiu 2,0% em relação à safra 2005/2006, que foi de 83.191 kg/ha e a sua produção aumentou em 7,50%, ficando com o valor de 327.843 ton de cana-de-açúcar produzidas. A região Sudeste é responsável pela produção de 327.843 mil toneladas de cana, sendo que 169.010,7 mil toneladas

destinadas à produção de açúcar e 126.314,4 mil toneladas para produção de álcool. Houve um aumento de 10,5% da produção de cana destinada à fabricação de açúcar e de 2,8% para produção de álcool.

Com esse aumento de produção de cana-de-açúcar ocorreu também um aumento na obtenção de bagaço de cana. A cada tonelada de cana moída obtém-se de 240 a 280 kg de bagaço, com isso na safra 2006/2007, na região Sudeste obteve-se de 78.682,32 a 91796,04 mil toneladas de bagaço. Esse bagaço pode ser utilizado na usina ou vendido. O bagaço cru vale cerca de R\$28,00 a tonelada e o bagaço hidrolisado R\$40,00 a tonelada. O excedente de bagaço cru é utilizado nas caldeiras para gerar energia térmica e de bagaço hidrolisado usado como ração de gado.

O bagaço cru, que sai das moendas e não recebe nenhum tratamento, tem o poder calorífero de 1800 kcal/kg (Cunha, 2005), esse seco sem os 50% de umidade, esse poder aumenta para 3604 kcal/kg, o equivalente a 2 vezes maior que o cru.

A hidrólise do bagaço tem por finalidade aumentar a extração do álcool que sobra nas fibras do bagaço, o Etanol de celulose. O bagaço hidrolisado também tem o seu poder calorífico aumentado, mas o seu uso para gerar energia elétrica fica inviável pelo custo da hidrólise. Essa tecnologia vai aumentar a produção de biocombustível. O Etanol de celulose poderá ser produzido e comercializado pelo mesmo preço do etanol. Porém, ainda não existe essa produção. Estima-se que até 2012, essa tecnologia seja variável e utilizada pelas usinas. Atualmente o projeto ainda está em fase experimental em algumas usinas do estado de São Paulo.

Com o aumento do seu poder calorífero tem-se o aumento da quantidade de energia que esse bagaço pode gerar, na época de safra, algumas usinas fecham a temporada, e a venda do Mw, que fica em torno de R\$134,00. Nas épocas de entressafra a usina compra o Mw da concessionária, no período de seca paga em torno de R\$120,00 e no período chuvoso R\$40,00.

7. CONCLUSÃO

Neste trabalho foram analisados os tipos de bagaço de cana-de-açúcar e sua utilização nas usinas. Percebeu-se que tem uma grande variação do poder calorífico dos tipos diferentes de bagaço e no tempo de estocagem, do bagaço hidrolisado.

O bagaço cru é o que apresenta o menor valor, pois tem em sua composição uma grande quantidade de água. Quando ocorre a secagem desse material, sem nenhum tratamento químico ou físico, esse valor é aumentado em aproximadamente 2 vezes. O poder calorífico do bagaço cru foi obtido na literatura, com o valor de 1800 kcal/kg (Cunha, 2005), o valor do bagaço seco foi calculado utilizando a entalpia de formação do bagaço cru, que é a mesma nos dois, pois o que muda é a quantidade de água presente nas fibras.

Os valores do bagaço hidrolisado foram obtidos de um trabalho feita na Unesp – Jaboticabal, com tempos diferentes de estocagem. Os valores apresentados são significativamente maiores, porém existe o fator financeiro, pois o bagaço hidrolisado além de ter um poder calorífico maior, consegue-se um maior aproveitamento da quantidade de álcool retirada, o etanol de celulose.

Diante dos atuais preços do barril de petróleo e de sua escassez, fica evidente que é necessário pesquisas de outras formas para a produção do combustível verde (no caso do Brasil – Álcool), até pelo fato da posição dos países ricos diante da posição *FALSA* de que existe o perigo da redução da produção de alimentos pelo avanço da produção do Bio-Combustível.

Uma vez tendo o domínio da tecnologia da hidrólise (Química ou Enzimática) e conseguindo a redução do seu custo, concluímos que é altamente esses estudos, diante mesmo até, dos resultados já mostrados nesse trabalho.

Embora o bagaço hidrolisado possua um PCI pouco maior que o bagaço seco, deve se levar em conta que o bagaço hidrolisado, ainda que em menor quantidade (massa), já produziu uma quantidade considerável de álcool (energia).

Destaca-se ainda que o trabalho é de grande importância no cenário energético atual, quando é possível encontrar em periódicos brasileiros, artigos falando dos

investimentos em pesquisa nessa área envolvendo empresas particulares e instituições de fomento públicas.

Conclui-se também que caberá à Empresa (Usina) a decisão do investimento nos possíveis aproveitamentos do bagaço (cru, seco ou hidrolisado), em função das características regionais, da situação de mercado dos combustíveis e dos preços efetuados por tonelada de bagaço.

7.1 PARA TRABALHOS FUTUROS

Em função do andamento das pesquisas sobre hidrólise de bagaço, trabalhos futuros que estudam as viabilidades econômicas, financeiras e técnicas deverão ser feitos para obtenção de resultados mais refinados. Cabe aqui termos até o controle da rentabilidade e investimentos para as usinas.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. http://www.ideaonline.com.br/clipping/clipping_page.asp?cod=4906 (visto em 04/06/2008)
2. LIMA, J.F. *Área de Operações Industriais 1 – A01*, Gerencia Setorial de Agroindústria nº04, 05/10/1995, BNDS – Informe Setorial.
3. <http://www.suapesquisa.com/colonia/> (visto em 04/06/2008)
4. CINTRA, F.N., ANDRADE, P., ALVES, M.C.M., *Avaliação dos Reflexos do Protocolo de Kyoto no setor sucroalcooleiro*.
5. <http://www.acucarguarani.com.br/br/institucional/TudoSobreAcucar.aspx> (visto em 04/06/2008)
6. http://www.achetudoeregiao.com.br/ATR/Historia_do_Acucar_Brasileiro.htm (visto em 04/06/2008)
7. LIMA, J.F. *Área de Operações Industriais 1 – A01*, Gerencia Setorial de Agroindústria nº05, 18/10/1995, BNDS – Informe Setorial.
8. <http://www.biodieselbr.com/proalcool/pro-alcool.htm> (visto em 04/06/2008)
9. Ciência e Tecnologia no Brasil – Pesquisa Fapesp. Abril 2006, nº122.
10. CORREA NETO, V. *Análise de Viabilidade da Cogeração de Energia Elétrica e, Ciclo Combinado com Gaseificação de Biomassa de Cana-de-Açúcar e Gás Natural*. Tese de Doutorado. Março/2001. Rio de Janeiro.
11. CUNHA, M.P.da. *Inserção do Setor Sucroalcooleiro na Matriz Energética do Brasil: Uma Análise de Insumo-Produto*. Dissertação de Mestrado. Fevereiro/2005. Campinas, SP.
12. LEITE, A.D. *A Energia do Brasil*, 1ed, 1997, Rio de Janeiro, RJ. Editora Nova Fronteira.
13. NOGUEIRA, L. A. H. *Análise de Utilização de Energia na Produção de Álcool de Cana-de-Açúcar*. Tese de Doutorado. Agosto/1987. Campinas, SP.
14. BALESTIERI, J. A. P. *Cogeração: Geração combinada de eletricidade e calor*. Florianópolis, SC. 2002. Editora UFSC.

15. ROSILLO-CALE, F., BAJAY, S.V., ROTHMAN, H. *Usos da Biomassa para produção de energia na indústria brasileira*. Campinas, SP. Editora Unicamp. 2005.
16. OLIVEIRA, M. D.S., VIEIRA, P. de F. *Efeito do tempo de estocagem sobre a composição química do bagaço de cana-de-açúcar hidrolisado*. FCAVJ – Unesp, 1994.
17. COELHO, S. T., VARKULYA, A. Jr., PALETTA, C. E. M. , SILVA, O. C. da. *A importância e o potencial brasileiro da cogeração de energia a partir da biomassa*. CENBIO – Centro Nacional de Referência em Biomassa. Instituto de Eletrotécnica e Energia da USP. 18/03/2002.
18. BACARIN, J. G., CASTILHO, R. C. *Geração de Energia como opção de diversificação produtiva da agroindústria canavieira*. FCAV/Unesp. 2001.
19. HIGA, M. *Cogeração e Integração Térmica em Usinas de Álcool e Açúcar*. Tese de Doutorado. Campinas, SP. Julho/2003
20. WALTER, A. C. *Viabilidade e perspectivas de cogeração termelétrica junto ao setor sucroalcooleiro*. Tese de Doutorado, Unicamp. Campinas, 1994.
21. NILSSON, M. *Energy recovery from distillery wastes*. International Sugar Journal, 83 (993), setembro, 1981, pp. 259-61
22. SPRUYTENBURG, G. P. *Vinasse Pollution elimination and energy recovery*. International Sugar Journal, março, 1982, pp 73-74.
23. MACEDO, I. C. *Greenhouse gases and bio-ethanol in Brazil*. International Sugar Journal, 100 (1.189), 1998, pp. 2-5.
24. COPERSUCAR. *Geração de Energia por Biomassa: Bagaço de Cana-de-Açúcar e resíduos*. Projeto. BRA/96/G31 (Pnud/MCT). Centro de Tecnologia COPERSUCAR, relatório, março, 1998 (RLP-04).
25. CORTEZ, L. A.B. e BROSSARD PEREZ, L. E. *Experiences on vinasse disposa. Part III: Combustion of vinasse - #6 Fuel oil emulsions*. Brazilian Journal of Chemical Engineering, 14 (1). Campinas, 1997, pp9-18.
26. LEITE, A. D. *A Energia do Brasil*. 1ª edição. Rio de Janeiro, RJ, Editora Nova Fronteira, 1997.

27. ELETROBRÁS. *Plano Decenal de Expansão 2009/2009*. GCPS – Grupo Coordenador do Planejamento dos Sistemas Elétricos. Rio de Janeiro, RJ. 2000.
28. TOLMASQUIM, M. T., SUGIYAMA, A., SZKLO, A. S., SOARES, J. B., CORRÊA, V. N. *Avaliação dos Potenciais Técnico e Econômico e Identificação das Principais Barreiras à Implantação da Cogeração no Brasil em Setores Selecionados*. In: Relatório final, Convênio PROCEL/ELETROBRÁS – PPE/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ. 1999.
29. ROLIM, M. M. e FREIRE, W. J. *Solo-vinhaça concentrada: aplicação na fabricação de tijolos*. Apresentado no Workshop Reciclagem e Reutilização de Resíduos como Materiais de Construção Civil, Antac – Associação Nacional de Tecnologia de Ambiente Construído, Proceedings for Discussion. São Paulo, 1996.
30. BASTOS, V. D. *Etanol, Acoolquímica e Biorrefinarias*. BNDS Setorial. Rio de Janeiro, Março, 2007.
31. CGEE. *“Estudo sobre as possibilidades e impactos da produção de grandes quantidades de etanol visando à substituição parcial de gasolina no mundo”*. Relatório final, Centro de Gestão e Estudos Estratégicos CGEE-Nipe/Unicamp, dezembro de 2005.