

## **Curso de Tecnologia em Biocombustíveis**

### **ESTUDO DA COGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NA INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA**

**VICTOR ALVARES DE CAMPOS**

**Orientador: Evaldo Ferezin**

**Coorientador: Elias de Souza Monteiro Filho**

**Trabalho apresentado a Faculdade de Tecnologia  
de Jaboticabal - Fatec, para obtenção do título de  
Tecnólogo em Biocombustíveis.**

**Jaboticabal – SP  
1º Semestre/2011**

Campos, Victor Alvares de

Xxxx C198e Estudo da cogeração de energia elétrica na indústria sucroalcooleira / Victor Alvares de Campos.— Jaboticabal : 30 de junho, Fatec, 2011.

69f.

Orientador: Evaldo Ferezin

Co-orientador: Elias de Souza Monteiro Filho

Trabalho (graduação) – Apresentado ao Curso de Tecnologia em Biocombustíveis, Faculdade de Tecnologia de Jaboticabal, Ano de conclusão do curso.

1. Cogeração. 2. Bagaço de cana-de-açúcar. 3. Sucroalcooleiro. I. Ferezin, Evaldo. II. Estudo da cogeração de energia elétrica na indústria sucroalcooleira.

CDU 621.311.1



## **Curso de Tecnologia em Biocombustíveis**

### **CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO:** ESTUDO DA COGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NA  
INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA

**AUTOR:** VICTOR ALVARES DE CAMPOS

**ORIENTADOR:** PROF. DR. EVALDO FEREZIN

**COORIENTADOR:** PROF. ELIAS DE SOUZA MONTEIRO FILHO

Trabalho de Graduação aprovado pela Banca Examinadora como parte das exigências para conclusão do Curso Superior de Tecnologia em Biocombustíveis, apresentado à FATEC-JB para a obtenção do título de Tecnólogo.

**NOME DO PRESIDENTE DA BANCA:** EVALDO FEREZIN

**NOME DO MEMBRO DA BANCA:** TADEU TOMIO SUDO

**NOME DO MEMBRO DA BANCA:** JOÃO ROBERTO DA SILVA

Data da apresentação: 30 de junho de 2011.

---

Presidente da Comissão Examinadora

*Ao meu pai que sempre me apóia e me incentiva em decisões, sempre me aconselhando dos caminhos a ser seguidos, juntamente com a minha mãe que pela eterna paciência, amizade, incentivo e encorajamento ajudam eu me tornar um cidadão de credibilidade;*

*Não se esquecendo da minha avó Irene.*

*Positividade e paz para todos!*

## SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS, SÍMBOLOS E SIGLAS.....	VIII
LISTA DE FIGURAS.....	X
LISTA DE GRÁFICOS E TABELAS.....	XI
RESUMO.....	XII
ABSTRACT.....	XIII
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
<b>2. OBJETIVO.....</b>	<b>17</b>
<b>3. LEGISLAÇÃO AMBIENTAL.....</b>	<b>18</b>
3.1 Emissões de gases efeito estufa.....	18
3.2 Legislação da queimada.....	19
3.3 Medidas legislativas para a cogeração e meio ambiente.....	21
<b>4. ENERGIA E ECONOMIA.....</b>	<b>23</b>
4.1 Matrizes energéticas do Brasil.....	23
4.1.1 Energia Eólica.....	24
4.1.2 Gás Natural.....	26
4.1.3 Derivados do Petróleo.....	27
4.1.4 Energia Nuclear.....	28
4.1.5 Hidrelétrica.....	30
4.2 Aneel.....	31

<b>5. A UTILIZAÇÃO DO BAGADO DE CANA COMO INSUMO</b>	
<b>ENERGÉTICO.....</b>	<b>33</b>
5.1 O bagaço no sistema agro-industrial.....	34
5.2 Queima do bagaço para a geração de energia elétrica.....	34
5.3 Utilizando o bagaço na cogeração.....	35
<b>6. COGERAÇÃO.....</b>	<b>38</b>
6.1 Definição de cogeração.....	38
6.2 Regulamentação.....	39
6.3 Tecnologia Madura.....	40
6.4 Créditos de carbono.....	45
<b>7. A COMERCIALIZAÇÃO.....</b>	<b>47</b>
7.1 Comercialização de energia excedente.....	48
7.2 Opções de venda.....	49
7.2.1 Operador nacional do sistema.....	50
7.3 Linhas de crédito para o co-gerador.....	52
7.4 Parcerias de investimentos.....	54
<b>8. PRODUZINDO ENERGIA ELÉTRICA EM UMA USINA</b>	
<b>SUCROALCOOLEIRA.....</b>	<b>56</b>
8.1 Recebimento da matéria prima.....	56
8.2 O preparo da matéria prima.....	58
8.3 A queima do bagaço.....	61
8.4 Cogorando.....	63
<b>9. CONCLUSÃO.....</b>	<b>65</b>
<b>10. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>66</b>

## LISTA DE ABREVIATURAS, SÍMBOLOS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
AP	Autoprodutor de Energia Elétrica
ATR	Açúcar Total Recuperável
Bar	Medida de pressão.
BID	Banco Interamericano de Desenvolvimento
BNDES	Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CPFL	Companhia Paulista de Força e Luz
DNAEE	Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica
EPC	<i>Engineering Procurement and Construction</i>
EVITE	Estudos de Viabilidade Técnica e Econômica
Eximbank	<i>United States Export &amp; Import Bank</i>
FATEC	Faculdade de Tecnologia
GEE	Gases efeito estufa
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MME	Ministério de Minas e Energia
ONS	Operador Nacional do Sistema
OPIC	<i>Overseas Private Investment Corporation</i>
PAC	Programa de Aceleração do Crescimento
PCTS	Pagamento de cana pelo teor de sacarose
PIE	Produtor Independente de Energia Elétrica
PPS/SP	Partido Popular Socialista do Estado de São Paulo



PROÁLCOOL	Programa Nacional do Álcool
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia
SDE	Secretaria de Direito Econômico
SIN	Sistema Integrado Nacional
TJLP	Taxa de Juros de Longo Prazo
TUSD	Tarifas de Uso dos Sistemas Elétricos de Distribuição
TUST	Tarifas de Uso dos Sistemas Elétricos de Transmissão
UNICA	União da Indústria de Cana-de-Açúcar
VN	Valor Normativo

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Central eólica.....	25
Figura 2 – Usina Nuclear Angra I.....	28
Figura 3 – Usina Hidrelétrica.....	30
Figura 4 - Finalidades dos Subprodutos da Cana.....	33
Figura 5- Sistema de geração e cogeração.....	38
Figura 6 – Processo de geração de energia elétrica e vapor em uma usina termelétrica sucroalcooleira.....	41
Figura 7 – Ciclo a gás.....	42
Figura 8 – Ciclo Rankine.....	42
Figura 9 – Ciclo Diesel.....	43
Figura 10 – Mapa SIN Integração Eletroenergética.....	52
Figura 11- Sonda Obliqua da usina.....	57
Figura 12 – Vista do operador da mesa vertical.....	59

## LISTA DE TABELAS E GRÁFICOS

Gráfico 1 – Matrizes Energéticas Brasileiras.....	24
Tabela 1 – Comparação entre as Emissões de CO <sub>2</sub> através da Biomassa e de Combustíveis Fósseis.....	19
Tabela 2 – Diminuição Gradativa da Queima da Palha de Cana.....	20
Tabela 3 – Oferta Interna de Energia.....	23
Tabela 4 - Poder calorífico superior (PCS) x umidade.....	35
Tabela 5 – Taxa de juros.....	53

## RESUMO

Estudo da Cogeração de Energia Elétrica na Indústria Sucroalcooleira.

Diante da preocupação em se diminuir a emissão de gases poluentes que alteram a temperatura da terra provocando o aquecimento global e conjuntamente um aumento da demanda de energia que vem ocorrendo a cada ano no mundo, neste cenário novas fontes de energia precisam ser desenvolvidas evitando-se crises energéticas, buscando ser ambientalmente correta.

O Brasil apresenta em relação a outras nações uma vantagem em produção de energia primária renovável, onde neste trabalho demonstro um estudo sobre a geração de energia elétrica que agrida menos o meio ambiente, esta geração ocorre no setor sucroalcooleiro onde se utiliza a biomassa como combustível de caldeiras a vapor, gerando a bioeletricidade.

Com regulamentação deste setor e incentivos públicos e privados, a geração de energia elétrica em usinas de cana-de-açúcar torna-se um aliado importante na composição da matriz energética do país.

As usinas de cana-de-açúcar já são geradoras de energia elétrica, este setor necessita de inovações tecnológicas para uma maior produção comercializando seu excedente de energia elétrica, o combustível da cogeração, o bagaço, torna-se um excedente em final de safra acumulado em depósitos possuindo um grande potencial de geração de energia.

Parcerias com empresas do setor de energia têm demonstrando ser uma alternativa interessante para todos os empreendedores do ramo, contribuindo para o desenvolvimento e crescimento sustentável do país e podendo também adentrar para novos mercados.

Palavras chave: Cogeração, bagaço de cana-de-açúcar, sucroalcooleiro, geração de energia elétrica e matriz energética

## ABSTRACT

### Study of Electrical Energy Cogeneration in Sugar and Alcohol Industry

Given the concern with reducing the emission of greenhouse gases that change the temperature of the earth and causing global warming together an increasing demand for energy that has been occurring every year worldwide, this scenario new energy sources must be developed by avoiding energy crises, trying to be environmentally friendly. Brazil has over other nations an advantage in the production of renewable primary energy, where this work shows a study on the generation of electric power that impairs the environment less, this generation occurs in the alcohol sector which uses biomass as fuel steam boilers, generating bioelectricity.

With regulation of this industry and public incentives and private electric power generation plants in cane sugar becomes an important ally in the energy matrix of the country.

The plants cane sugar are already generating electricity, this sector needs technological innovations to a higher selling its surplus production of electricity, fuel for cogeneration, bagasse, becomes a surplus accumulated at the end of season deposits having a great potential for power generation.

Partnerships with companies in the energy sector have proved to be an interesting alternative to all entrepreneurs in the industry, contributing to sustainable development and growth of the country and may also enter into new markets.

**Keywords:** Cogeneration, bagasse and cane sugar, sugarcane, power generation and energy matrix



# **1-INTRODUÇÃO**

Nos anos de 2000/2001, o cenário elétrico do Brasil foi marcado pelo racionamento de energia, principalmente no sistema da região Sudeste, gerando a necessidade de se mobilizar toda a sociedade à adesão de um Plano de Racionalização de Energia. Um dos motivos atribuídos à instituição de tal Plano foi à falta de incentivos, por parte do governo, em novos empreendimentos, originada, provavelmente, por um conjunto de fatores aliados ao processo de definição das novas medidas regulatórias e à criação do Programa de Desestatização, que teve como meta, a partir de 1995, a desverticalização das grandes geradoras e o repasse do “monopólio” Estatal para a iniciativa Privada. (ANEEL, 2008)

Diante destes acontecimentos tornou-se urgente a necessidade de se criar novas alternativas para atender a demanda energética do país. A utilização da biomassa para a geração de energia elétrica vem a ser um apoio à oferta de energia, em momentos de crise e também contribuiu com a oferta de energia no sistema interligado, pois a demanda energética tem se tornado cada vez maior em nosso país, devido à aquecida economia global nos países em desenvolvimento.

Chama-se a atenção para projetos de cogeração em termelétricas, principalmente na região Sudeste do Brasil, onde se localiza o maior setor sucroalcooleiro implantado do país. O qual busca atender a crescente demanda de etanol e de açúcar no mercado nacional e internacional.

A União da Indústria de Cana-de-Açúcar (UNICA) publicou em 2008 que o Brasil foi o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, com 6, 92 milhões de hectares plantados na safra de 2007/2008, isso significa uma produção em torno de 129 milhões

de toneladas de bagaço (CONAB, 2008), sendo o Estado de São Paulo o maior produtor nacional de cana-de-açúcar, com 297 milhões de toneladas na safra 2007/2008, resultando em aproximadamente 78 milhões de toneladas de bagaço (UNICA, 2009).

Até 2015 o Brasil poderá gerar 15% de sua energia elétrica por meio de bagaço de cana-de-açúcar, 12% a mais que o índice atual, ajudando a minimizar a ameaça sempre presente de escassez de energia. A produção de energia elétrica a partir do bagaço de cana-de-açúcar poderá crescer 11. 500 MW até 2015 e para 14. 400 MW até 2020. (DANTAS FILHO, 2009).

Estes dados mostram o potencial que o setor possui na geração de energia através da cogeração utilizando o bagaço, resíduo da extração do caldo da cana-de-açúcar para produção de etanol e açúcar, mas este potencial não está instalado. Muitas das usinas e destilarias produzem energia para seu próprio consumo, sendo muito pouco o excedente comercializado com concessionárias de energia.

País como o Brasil, com imensas áreas agriculturáveis e um clima favorável, não pode “abrir mão” da energia da biomassa como parte integrante de suas matrizes energéticas (RIPOLLI, 1999).

Dantas Filho, 2009, p. 17:

Para o Ripolli, a cultura canavieira é a que mais facilmente poderia ampliar a participação da biomassa na matriz brasileira: além da extensão da área plantada, essa cultura oferece boas condições para transformar em energia elétrica o bagaço e o palhiço proveniente da colheita sem a queima prévia. São várias as barreiras que o país precisa vencer para tornar aproveitável todo o potencial da biomassa de cana-de-açúcar disponível, convertendo-a em energia elétrica. Dentre essas barreiras destacam-se a dificuldade de acesso à rede de distribuição, à falta de atratividade no preço ofertado para a comercialização da energia, a falta de interesse das concessionárias para contratos de longo prazo e a escassez de financiamentos com as condições apropriadas. (Dantas Filho, 2009)

Na década de 90 a preocupação com o meio ambiente foi crescendo, devido as mudanças climáticas provocadas pelo aquecimento global, em vista destes fatores alguns incentivos foram sendo criados através do comércio de créditos de carbono, firmado no Protocolo de Kyoto e por parte do Governo Federal, o Programa de Incentivos às Fontes Alternativas de Energia (PROINFA), para incrementar e



descentralizar a geração de energia elétrica através da biomassa, contribuindo no frágil sistema elétrico do país, deixando-o mais flexível, contribuindo assim para o fornecimento de energia por diferentes matrizes energéticas. (PELLEGRINI, 2002)

A ajuda que o setor sucroalcooleiro poderá fornecer para o sistema elétrico nacional será solucionada através de investimentos nas unidades geradoras, buscando uma modernização no sistema de geração de energia tendo em vista que os grandes excedentes de bagaço no final da safra, não causam grandes impactos ambientais, se forem usados como matéria-prima na produção de energia elétrica.

## **2 OBJETIVOS**

O objetivo principal deste trabalho é o estudo da geração de energia elétrica em termelétrica, através da queima de biomassa no setor sucroalcooleiro.

Verificando a capacidade de produção de bagaço da usina, e o potencial para cogeração e demanda de mercado para a energia elétrica no país, buscando mostrar parcerias entre unidades geradoras e concessionárias de energia elétrica. Sem deixar de dar enfoque aos fatores econômicos, sociais e ambientais.

### **3 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL**

Em uma sociedade regida pelo capital, o acúmulo de riquezas trás o domínio econômico para os países, porém causam um grande dano para o meio ambiente. Para conter grandes impactos ambientais legislações estaduais e federais estão sendo criadas para minimizar as agressões e conseqüentemente os problemas causados ao meio ambiente. Garantindo assim, às futuras gerações, um mundo economicamente ativo e sustentável.

#### **3.1 Emissões de gases efeito estufa**

O acesso de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) na atmosfera causa um aumento de temperatura, por isso busca-se na produção de energia um balanço neutro nas emissões de  $\text{CO}_2$ .

No caso da cogeração através da biomassa, no setor sucroalcooleiro, o balanço de emissões de  $\text{CO}_2$  pode ser considerado praticamente nulo, tendo em vista que a produção de  $\text{CO}_2$  através da combustão é a mesma que a retirada de  $\text{CO}_2$  no processo de fotossíntese realizado na produção de cana-de-açúcar.

Já em outros processos que utiliza combustível fóssil, apresenta uma elevada emissão de dióxido de carbono na atmosfera, incluindo todos os consumos de  $\text{CO}_2$  diretos e indiretos, apresentando uma emissão extremamente maior que as termelétricas que usam biomassa como combustível, conforme pode ser visto na tabela 1.

TABELA 1 – Comparação entre as Emissões de CO<sub>2</sub> através da Biomassa e de Combustíveis Fósseis

Referência	Combustível	Emissões – kg CO <sub>2</sub> /kWh
Coelho, 1998	Gás Natural	0. 38 (somente na queima do combustível)
Zylbersztajn/Coelho, 1998	Cana de açúcar	0. 057 – 0. 11
Coelho, 1998	Óleo Combustível	0. 87 (somente na queima do combustível)

Fonte: (Maria Cristina Pellegrini, *et all*, 2002)

Ao analisar as informações da Tabela, verifica-se a importância das discussões entre as Nações, como as apresentadas no Protocolo de Kyoto, em busca de uma diminuição da emissão de gases do efeito estufa.

Podendo, considerar que o bagaço da cana de açúcar é uma excelente fonte energética, apresentando um papel importante no controle de emissões de gases agravantes em nossa atmosfera.

### 3. 2 Legislação da queimada

Com a questão da emissão de poluentes, as queimadas em canaviais, prática usual na colheita da cana-de-açúcar, se torna um tema bastante polêmico.

A Lei Estadual nº 11. 241/2002, disciplina o uso das queimadas, estabelecendo um prazo de 30 anos para a adequação do corte, substituindo a queima pelo corte mecanizado.

Segundo Pellegrini, 2002, p. 42:

Vale ressaltar, contudo, que a Lei no 7. 803/1989 e a Resolução CONAMA n° 04/1985, dispõem sobre a proibição da queima da cana em uma faixa de 1 km do perímetro urbano. Mais recentemente, a Lei n° 10. 547 de 03/05/2000, define os procedimentos e estabelece regras de execução e medidas de precaução quando do emprego do fogo em práticas agrícolas, pastoris e florestais, principalmente, no que se refere ao método despalhador do corte da cana. ( PELLEGRINI, 2002)

Tais medidas fazem com que a oferta de palhiço aumente, com a mecanização da colheita da cana-de-açúcar.

A tabela que segue, mostra a diminuição gradativa da queima da palha de cana.

TABELA 2 – Diminuição Gradativa da Queima da Palha de Cana

Ano	Área mecanizável onde não se pode efetuar a queima da cana-de-açúcar (% eliminação)
1° ano (2002)	20% da queima eliminada
5° ano (2006)	30% da queima eliminada
10° ano (2011)	50% da queima eliminada
15° ano (2016)	80% da queima eliminada
20° ano (2021)	100% da queima eliminada
Ano	Área não mecanizável, declividade superior a 12% (% eliminação)
1° ano (2011)	10% da queima eliminada
5° ano (2016)	20% da queima eliminada
10° ano (2021)	30% da queima eliminada
15° ano (2026)	50% da queima eliminada
20° ano (2031)	100% da queima eliminada

Fonte: (Dantas Filho, *et all*, 2009)

Em 2007 surge o Programa Etanol Verde, através de um Protocolo de Cooperação firmado pelo Governo de São Paulo, Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Secretaria de Estado da Agricultura e Abastecimento e a União da Indústria

de Cana-de-Açúcar, incentivando a antecipação dos prazos de eliminação da queima e à promoção da sustentabilidade da agroindústria canavieira.

Os novos prazos estabelecidos pelo governo paulista por meio do Protocolo Agro ambiental é a previsão de que em 2014 seja eliminada a queima da cana-de-açúcar nas áreas mecanizáveis e, em 2017, nas áreas não mecanizáveis aquelas que apresentam declividade acima de 12%.

### **3.3 Medidas legislativas para a cogeração e meio ambiente**

Em dezembro de 2001, na Assembléia Legislativa de São Paulo, aprovou três Emendas que tiveram como objetivo beneficiar as Empresas Geradoras de Energia e o Setor Sucroalcooleiro de uma forma geral. O Projeto de Lei nº 622/2001 (transformada na Lei nº 11.010 de 29/12/2001), remanejou os recursos da Secretaria dos Transportes para a Secretaria de Energia. (PELLEGRINI, 2002). Seguindo as emendas:

- **Emenda nº 3901** - assegura recursos para a pesquisa do uso, em processo de cogeração, do bagaço da cana verde, ou seja, da cana cortada durante a colheita sem a prévia utilização das queimadas;

- **Emenda nº 3902** - assegura o destino de verbas para a pesquisa referente aos teores na produção de oxigênio – O<sub>2</sub>, e no consumo do CO<sub>2</sub> e do CO, durante a fase vegetativa da cana de açúcar. O balanço positivo, ou seja, a capacidade da cana de açúcar em seqüestrar carbono da atmosfera (principal agente causador do efeito estufa), poderá tornar-se uma *Commodity* para a sua venda se constituindo em um Mercado de Carbono, e dessa forma, atender a implementação do chamado Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL, proposto pelo Protocolo de Kyoto, como amplamente discutido nos fóruns mundiais sobre mudanças climáticas;

- **Emenda nº 8091** - assegura a reversão de recursos para o desenvolvimento do uso do álcool hidratado misturado à gasolina, como combustível para veículos leves. Com isso, pretende-se reduzir as oscilações de preços do álcool combustível em relação

à gasolina, visando uma maior participação do Brasil frente ao desenvolvimento do mercado internacional.

O setor de bioenergia brasileiro busca, como qualquer setor econômico, garantir sua sustentabilidade. Pelas suas importantes vantagens socioambientais cabe ao Estado de São Paulo liderar esse processo tanto para assegurar as condições do agronegócio como para difundir boas práticas em escala nacional e global (LUCON, 2008).

## 4 ENERGIA E ECONOMIA

### 4.1 Matrizes energéticas do Brasil

No Brasil, as matrizes energéticas renováveis no setor industrial corresponde cerca de 45%, sendo a mais renovável do mundo. Provenientes de fontes como recursos hídricos, biomassa, etanol, além de eólica e solar. Tendo em vista que as hidrelétricas geram em torno de 77% da eletricidade do país. (Ministério de Minas e Energia)

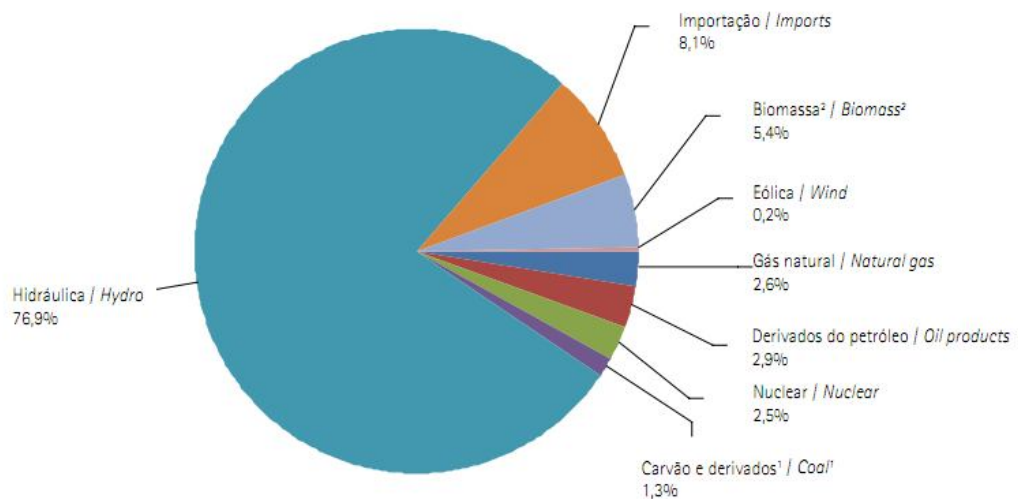
TABELA 3 – Oferta Interna de Energia

FONTES	1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2005	2008	2009
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E DERIV.	6,4	12,9	25,7	38,0	49,2	43,7	50,9	48,1	46,8	46,6
CARVÃO MINERAL E DERIVADOS	6,4	4,8	2,9	3,6	5,1	6,8	7,1	6,3	5,8	4,7
HIDRÁULICA E ELETRICIDADE	1,5	1,6	3,2	5,1	9,6	14,1	15,7	14,8	14,0	15,2
LENHA E CARVÃO VEGETAL	83,3	78,1	63,9	47,6	27,1	20,1	12,1	13,0	11,6	10,1
PRODUTOS DA CANA	2,4	2,7	4,3	5,4	8,0	13,4	10,9	13,8	17,0	18,2
OUTRAS <sup>1</sup>				0,3	0,9	1,9	3,3	4,1	4,8	5,2
TOTAL	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

(Fonte: Ministério Minas e Energia - Balanço Energético Nacional, 2010)

<sup>1</sup>Inclui Outras Fontes Primárias Renováveis e Urânio.





Nota: 1 Inclui gás de coqueria / 2 Biomassa inclui lenha, bagaço de cana, lixo e outras recuperações.

GRÁFICO 1 – Oferta Interna de Energia Elétrica por Fontes-2009

FONTE: Ministério de Minas e Energia, 2010.

#### 4. 1. 1 Energia Eólica

Usando a força dos ventos na geração de energia elétrica, esta fonte energética, cresceu 4, 7% de 2008 para 2009, produzindo 1. 238, 4 GWh. (Ministério de Minas e Energia, 2010).

Com a inauguração no final de 2009 de três parques eólicos, todos no estado do Ceará, houve neste setor um aumento de 76% na geração eólica em 2010, segundo o MME.

A geração eólica não pode ser aplicada em qualquer área, para tanto a instalação de um novo parque de geração, devem ser avaliados através de estudos sobre o potencial eólico, com coletas de dados sobre o regime de velocidade dos ventos da região, para que a geração de energia elétrica através dos ventos seja considerada tecnicamente aproveitável é necessário que a uma altura de 50 metros a velocidade mínima dos ventos seja de 7 a 8 m/s. (GRUBB and MEYER, 1993, *apud* ANEEL, Atlas de energia elétrica do Brasil, p. 63, 2003).

Segundo a ANEEL, Ministério de Ciência e Tecnologia – MCT, Centro Brasileiro de Energia Eólica – CBEE, da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, no Brasil os melhores potenciais estão no litoral das regiões Norte e Nordeste, onde a velocidade média do vento, a 50 m do solo, é superior a 8 m/s.

A energia eólica contribui para a redução da emissão de gases poluentes na atmosfera e também complementa o fornecimento de energia elétrica para o sistema nacional.

Entre os principais impactos socioambientais negativos das usinas eólicas destacam-se os problemas sonoros e os visuais. Os impactos sonoros são devidos aos ruídos dos rotores e os impactos visuais são decorrentes do agrupamento de torres e aerogeradores, principalmente no caso de centrais eólicas com um número considerável de turbinas, também conhecidas como fazendas eólicas.

Os impactos variam muito de acordo com o local das instalações, o arranjo das torres e as especificações das turbinas. Apesar de efeitos negativos, como alterações na paisagem natural, esses impactos tendem a atrair turistas, gerando renda, emprego, arrecadações e promovendo o desenvolvimento regional. Também a possível interferência nas rotas de aves deve ser devidamente considerada nos estudos e relatórios de impactos ambientais (EIA/RIMA *apud* ANEEL – Atlas de Energia Elétrica do Brasil, 2009)



FIGURA 1 – Central eólica

FONTE: (CBEE, 2009 *apud* ANEEL 2009)

#### **4. 1. 2 Gás Natural**

O Brasil possui um gasoduto numa extensão acumulada de 9. 295 km, destes 1. 599 km entraram em operação no ano de 2010. Através do Programa de Aceleração do Crescimento – PAC, a última parte do GASENE entrou em operação, possibilitando a integração das malhas de transporte de gás natural das regiões Sudeste e Nordeste. Assim com outros trechos concluídos como, a ligação do gasoduto ligando Minas Gerais ao Rio de Janeiro.

De acordo com o Ministério de Minas e Energia, no final de 2010, a capacidade instalada de Unidades de Processamento de Gás Natural – UPGN, está na ordem de 64 milhões de m<sup>3</sup>/dia, dos quais 30 no Sudeste, 24 no Nordeste e 10 no Norte.

Dos 287 campos com produção de gás natural, 10 respondem por 60% da produção nacional, sendo 9 desses no mar e um em terra (Urucu - RO). Os campos marítimos foram responsáveis por 74% de toda a produção nacional de gás natural em 2010.

As reservas de gás natural nacionais, no ano de 2010, estavam avaliadas em 423 bilhões de m<sup>3</sup>, um incremento de 15, 4 % em relação a 2009 (MME, 2010).

Além de insumo básico na indústria gasoquímica, o gás natural tem-se mostrado cada vez mais competitivo em relação a outros combustíveis, tanto nos setores de transporte, como na indústria e na geração de energia elétrica. A entrada do gás natural como matriz energética nacional, contribuiu para uma expansão do parque gerador de energia elétrica do país, e tem despertado interesse de empreendedores em ampliar o uso do gás natural na geração termelétrica. (MME, 2010)

Entre as vantagens adicionais da geração termelétrica com gás natural, estão o prazo relativamente curto de maturação do empreendimento e a flexibilidade para o atendimento de cargas de ponta.

Por outro lado, as turbinas a gás são máquinas extremamente sensíveis às condições climáticas, principalmente em relação à temperatura ambiente e apresentam alterações substanciais de rendimento térmico no caso de operação em cargas parciais, a

combinação dos ciclos de turbinas a gás e turbinas a vapor, por meio de trocadores de calor, nos quais ocorre a geração de vapor, aproveitando-se a energia dos gases de exaustão da turbina a gás, faz com que aumente o rendimento. Com a queima de combustível suplementar, principalmente quando há disponibilidade de combustíveis residuais, este processo pode ser melhorado.

Para que haja um melhor aproveitamento dos combustíveis residuais o setor público deverá investir no setor energético através do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), iniciativa federal no ano de 2007 para um desenvolvimento acelerado da expansão econômica do país, com investimentos entre 2008-2017 privado e público na ordem de R\$ 352 bilhões para ampliação do parque energético nacional.

Sendo que a fiscalização da produção, transmissão e comercialização da energia elétrica no Brasil, fica por parte da ANEEL, órgão regulador e fiscalizador nacional.

#### **4. 1. 3 Derivados de Petróleo**

Na superfície da terra a exploração e produção do petróleo podem provocar alterações e degradação do solo e no mar, além das interferências no ambiente, há a possibilidade de ocorrer vazamentos de óleo na exploração em águas profundas, o que coloca em risco a fauna e a flora aquática. Por isso, a cadeia produtiva do petróleo tende a ser submetida a uma forte Legislação Ambiental.

Atualmente, esta questão ambiental está entre os principais limitadores da expansão de usinas termelétricas movidas pelos derivados de petróleo. Do outro lado, se constituem no impulso para o desenvolvimento de novos mecanismos e tecnologias que atenuem ou compensem o volume de emissões de gases de efeito estufa, assim como a degradação da natureza.

Entretanto, em novembro de 2008, o país contava com um total de 626 unidades em operação, abastecidas por óleo diesel, óleo combustível ou gás de refinaria. Essas unidades responderam, em 2007, pela geração de 13, 4 TWh (terawatts-hora) ou 2, 8% do total de energia elétrica produzida. (ANEEL, 2008)

Com o anúncio da descoberta do campo de petróleo na camada pré-sal (abaixo da camada de sal) na Bacia de Santos, litoral brasileiro colocou o Brasil, que durante

anos buscou a auto-suficiência no recurso, no mesmo nível dos grandes produtores mundiais, sendo convidado pelo Irã para integrar a Organização dos Países Exportadores de Petróleo (Opep).

Mesmo com a entrada do Brasil como grande produtor de petróleo a participação na produção de energia elétrica é pouco expressiva e tem recuado nos últimos anos, em decorrência dos investimentos realizados na utilização de outras fontes – menos agressivas ao meio ambiente e com preços menores e mais estáveis. Sendo que os derivados do petróleo mais utilizados são óleo diesel, óleo combustível, gás de refinaria e com menor frequência o óleo ultra viscoso.

#### **4. 1. 4 – Energia Nuclear**



FIGURA 2 – Usina Nuclear Angra I

FONTE: Atlas de energia elétrica do Brasil, 2008

A energia nuclear conhecida desde a década de 40, está no cenário mundial como fonte limpa de geração de energia elétrica, pois é considerada uma fonte limpa uma vez que sua operação acarreta a emissão de baixos volumes de gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ), principal responsável pelo efeito estufa e, em consequência, pelo aquecimento global.

Acidentes nucleares como o de Chernobyl, na Rússia e o mais recente, em Fukushima, no Japão, coloca dúvidas quanto a segurança no uso desta energia letal para a espécie humana.

Existe também o fato de que o processo de fissão do átomo de urânio é o mesmo que origina a bomba atômica, assim, o país que domina a tecnologia de processamento e transformação do minério poderá utilizá-la tanto para a produção de energia elétrica quanto para fins bélicos.

Existe uma grande resistência à construção de novas usinas nucleares, apesar dos estudos que passaram a enumerar os pontos favoráveis à instalação de novas centrais. Entre eles, a disponibilidade de combustível (urânio) e a baixa emissão de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) ou qualquer outro gás que contribua para o efeito estufa – o que transforma a energia nuclear em energia limpa. Além disso, investimentos em desenvolvimento tecnológico buscam aumentar a segurança das unidades, embora ainda não exista uma solução definitiva para os rejeitos produzidos – o elemento mais perigoso do processo nuclear. Alternativas para depósito desses dejetos estão em estudo no exterior.

Segundo o Plano Nacional de Energia 2030, no Brasil os dejetos de alta atividade ficam, temporariamente, estocados em piscinas de resfriamento cheias de água. Depois, parte deles é misturada a outros materiais e solidificada, resultando em barras de vidro, também classificadas como de alta radioatividade. A vitrificação facilita o transporte e a estocagem, mas apenas diminui – não extingue – os impactos potenciais sobre o meio ambiente. (BEN, 2010)

A expansão do parque nacional nuclear faz parte do Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica (2006/2015), e o Brasil apresenta duas vantagens competitivas nesse segmento, visto que possui boas reservas de Urânio e domina a tecnologia de enriquecimento do mineral – que, no entanto, ainda não é aplicada em escala comercial.

A participação da capacidade nuclear instalada no Brasil deve passar de 1, 98% (2, 007 GW) para 2, 5% (3, 357 GW) da capacidade instalada total, com a operação de Angra III, prevista para 2014. Em 2007, Angra I e Angra II responderam por 2, 5% da produção total de energia elétrica no país, que foi de 12, 3 terawatts-hora (TWh). (MME, 2010)

#### **4. 1. 5 – Hidrelétrica**

A energia hidrelétrica é gerada pelo aproveitamento do fluxo das águas em uma usina das quais as obras civis, que envolvem a construção, desvio do rio e a formação do reservatório, são tão ou mais importantes que os equipamentos instalados. Por isso, ao contrário do que ocorre com as usinas termelétricas, para a construção de uma hidrelétrica é imprescindível a contratação da chamada indústria da construção pesada, e isto acaba gerando entraves à expansão hidrelétrica de natureza ambiental e judicial.



FIGURA 3 – Usina Hidrelétrica

FONTE: Atlas de energia do Brasil, 2008

As construções, principalmente na região da Amazônia, provocam impacto na vida da população, na flora e fauna locais, por interferirem no traçado natural e no

volume de água dos rios. Entretanto, é necessário construir novas usinas, sem deixar de lado estudos que possam amenizar os impactos socioambiental, haja visto que o Brasil precisa gerar energia suficiente para obter um crescimento econômico e ampliação da oferta de empregos.

No passado, o parque hidrelétrico chegou a representar 90% da capacidade de energia instalada. Hoje, vemos esta capacidade diminuída e as razões desta redução se dá pela necessidade da diversificação de matrizes elétricas, prevista no planejamento do setor elétrico de forma a aumentar a segurança no abastecimento.

Uma vez que as dificuldades em ofertar novos empreendimentos hidráulicos, pela ausência de estudos e inventários e pelo aumento de entraves jurídicos que protelam o licenciamento ambiental de usinas de fonte hídrica, o Brasil precisou criar novas fontes energéticas.

De acordo com o Banco de Informações da Geração (BIG) da ANEEL, em novembro de 2008 as usinas hidrelétricas, respondem por 75, 68% da potência total instalada no país fornecendo 102, 262 MW para o sistema elétrico nacional.

Mesmo com todos os entraves, o setor hidrelétrico brasileiro possui uma matriz energética “limpa”, com forte participação de fontes renováveis já que o parque instalado é concentrado em usinas hidrelétricas que não se caracterizam pela emissão de gases causadores do efeito estufa.

## **4.2 ANEEL**

Em 26 de dezembro de 1996, com a lei nº 9. 427, criou-se a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), substituindo o antigo Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE). Com essa criação o Brasil passou a ter um órgão regulador e fiscalizador da produção, transmissão e comercialização do setor elétrico, vinculado ao Ministério de Minas e Energia que passou a ser responsável pela política energética.

A ANEEL possui algumas competências previstas no art. Nº 9. 427 como:

- Promover a licitação de novas concessões de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica.



- Atuar como instância revisora das decisões administrativas das agências reguladoras estaduais e solucionar as divergências entre concessionárias, permissionárias, autorizadas, produtores independentes e autoprodutores, bem como entre esses agentes e seus consumidores

- Fixar os critérios para cálculo das Tarifas de Uso dos Sistemas Elétricos de Transmissão e Distribuição - TUST e TUSD - e arbitrar seus valores nos casos de negociação frustrada entre os agentes envolvidos.

- Fazer a defesa do direito de concorrência no Setor Elétrico, monitorando e acompanhando as práticas de mercado dos agentes do setor de energia elétrica, devendo articular-se com a Secretaria de Direito Econômico - SDE do Ministério da Justiça.

- Aprovar as regras e os procedimentos de comercialização no ambiente livre e regulado.

- Promover os Leilões de Energia Elétrica para atendimento das necessidades do mercado.

- Cumprir e fazer cumprir as disposições regulamentares do serviço e as cláusulas contratuais da concessão.

- Estimular o aumento da qualidade, produtividade, preservação do meio-ambiente e conservação.

- Estimular a formação de associações de usuários para defesa de interesses relativos ao serviço de energia elétrica.

- Incentivar a competitividade.



## 5. UTILIZAÇÃO DO BAGAÇO DE CANA COMO INSUMO ENERGÉTICO

O setor sucroalcooleiro gera diversos subprodutos advindos da cana-de-açúcar, e estão sendo utilizados para diversas finalidades desde a produção de energia à ração animal.

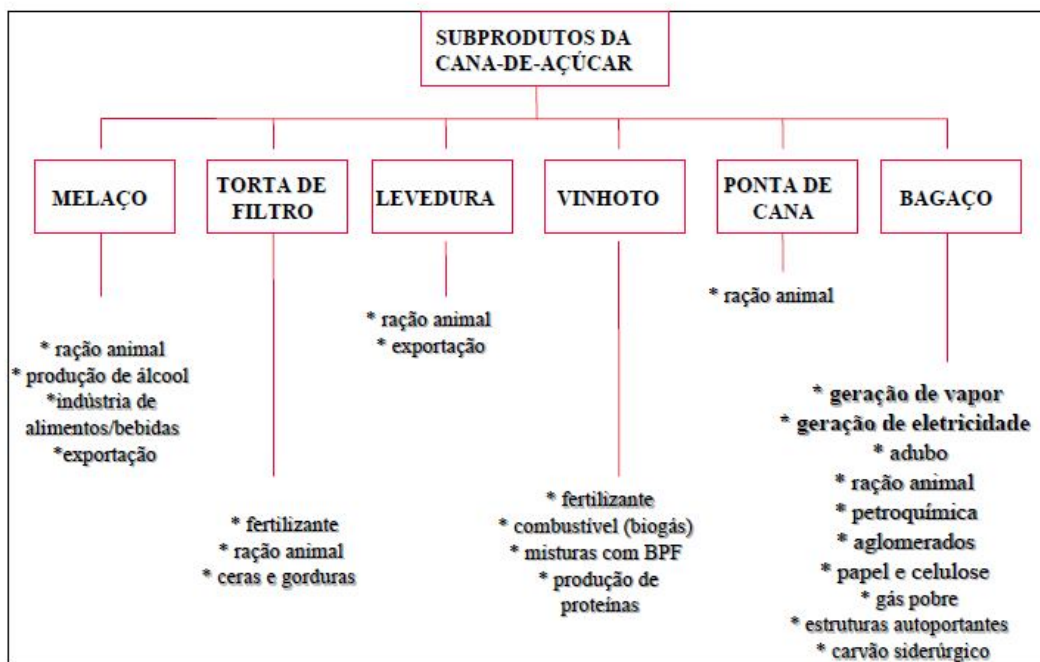


FIGURA 4 – Finalidades dos Subprodutos da Cana

FONTE: (SOUZA, 2003)

## **5.1 - O bagaço no sistema agro-industrial**

No setor sucroalcooleiro, o bagaço é o maior dejetos agroindustrial apresentando cerca de 250 kg a 290 kg por tonelada de cana moída (média de 50% de umidade, 48% de fibras e 2% de sólidos solúveis). (SOUZA, 2003)

Na safra 2008/2009, segundo a União da Indústria de Cana-de-Açúcar (ÚNICA) cerca de 346. 293. 000 toneladas de cana chegaram às indústrias para a fabricação de etanol e açúcar, dando origem a aproximadamente 100 milhões de toneladas de bagaço, no Estado de São Paulo.

Esses números indicam a necessidade da utilização deste material, não só pelos problemas ambientais causados pelo acúmulo deste no final das safras, mas como um grande gerador de energia, visto que, nas entressafras, período que vai de dezembro a abril, ele não é utilizado para a geração de vapor na indústria, pois não ocorre produção de açúcar e álcool.

Sendo assim no término das safras toneladas de bagaço são produzidas, podendo haver comercialização deste excedente como fonte energética na geração de energia elétrica

Com esse imenso potencial energético gerado da moagem da cana-de-açúcar, as unidades geradoras de energia começam a estudar outras formas rentáveis para as usinas, que possuem no próprio “pátio” a matéria prima para a geração de energia elétrica. Com isso as unidades geradoras se focam cada vez mais para a produção de energia elétrica, aumentando assim, a lucratividade das empresas sucroalcooleiras.

## **5.2 - Queima do bagaço para a geração de energia elétrica**

O bagaço da cana-de-açúcar é um resíduo do setor sucroalcooleiro que se destaca como valor de combustível em substituição aos derivados de petróleo, por ser uma matéria prima renovável o bagaço da cana-de-açúcar proporciona a este setor o privilégio de uma auto-suficiência na produção de energia térmica e consequentemente de energia elétrica, o que não ocorre na maioria das atividades indústrias.

O poder calorífico do bagaço de cana varia conforme o grau de umidade e o teor de açúcar residual. Mas como as usinas de cana-de-açúcar se preocupam com a recuperação de açúcar, os teores são baixos tendo que ter uma maior atenção no grau de umidade, tornando um fator limitante do poder calorífico. (SILVA & MORAIS, 2008).

Na Tabela 4, poder calorífico superior do bagaço de cana, mostra que passando a umidade de 50% para 20%, há um ganho na ordem de 60%, de um incremento energético. Com isso queimando-se o bagaço com um teor de umidade em torno de 20%, torna-se mais viável para um aproveitamento energético.

TABELA 4 – Poder calorífico superior (PCS) x umidade.

Poder calorífico Superior (kcal/kg)	Umidade (%)
4360	0
3985	10
3641	20
3145	30
2275	50

Fonte: (Silva e Morais, 2008)

A umidade é um fator que interfere no poder calorífico prejudicando o rendimento da combustão, sua temperatura de ignição é de 300 °C a 400°C com uma umidade em torno de 35% a 40%, mas sobe para 500 °C a 600 °C com a umidade em 50%. Ela interfere também na temperatura de chama sendo de 1. 100 °C com 35% de umidade, caindo para 850 °C a 920 °C com 50% de umidade. O bagaço na caldeira com um baixo teor de umidade, faz com que o tempo de secagem na caldeira diminua, aumentando sua velocidade de queima (SILVA & MORAIS, 2008).

### 5.3 - Utilizando o bagaço na cogeração

No Estado de São Paulo praticamente todas as indústrias do setor sucroalcooleiro são auto-suficientes na geração de energia em virtude da grande quantidade de bagaço gerado (ANEEL, 2008), mas grande parte deste material não é usada na geração de energia elétrica, por falta de investimentos, estudos técnicos e incentivos governamentais. Sendo assim o setor sucroalcooleiro destina parte do excedente do bagaço da cana-de-açúcar para diversas finalidades que vão além da produção de energia elétrica como:

- Matéria-prima para a produção de celulose;
- Chapas de aglomerado;
- Ração animal;
- Produtos químicos, éter etílico, ácido acético, acetato de etila e dietilamina;
- Obtenção de plástico biodegradável;
- Fibras sintéticas.

Tendo em vista que a produção de energia elétrica chegue próximo de 100 kWh/tc, dependendo da tecnologia aplicada e manejo da indústria. As usinas do Estado de São Paulo produziram cerca de 100 milhões de toneladas de bagaço na safra 2008/2009, representando o enorme potencial de geração de energia elétrica no período de safra (DANTAS FILHO, 2009).

A cogeração então passou a ser um complemento no fornecimento de energia na rede elétrica, tendo em vista que o período de safra da cana-de-açúcar ocorre em época de estiagem na maior região consumidora de energia, o Centro-Sul, assim as unidades produtoras de energia passaram a ser um importante gerador de energia no sistema elétrico do país.

Após a publicação das Portarias do DNAEE nº 246 de 26/12/1988 e, nº 94 e nº 95 de 13/06/1989, através das quais foram firmadas as condições gerais de suprimento

de energia elétrica pelo autoprodutor, regulamentando a compra da energia excedente por meios de contratos de longo prazo celebrados com a empresa de energia elétrica, a venda do excedente de energia elétrica produzida tornou-se viável. (PELLEGRINI 2002)

Um dos principais fatores positivos pelo uso racional do bagaço de cana-de-açúcar está a diminuição do impacto ambiental que o mesmo causa como a mitigação de emissão de carbono da atmosfera e a redução do efeito estufa, sem falar dos benefícios para a economia do país.

Conforme Silva, Marcelo da e Morais, Anderson (2008, p. 08):

O panorama estabelecido no cenário atual sinaliza que as fontes de energia renováveis devem assumir papel crescente na matriz energética mundial, forçada pela perspectiva de redução das reservas de combustíveis fósseis e, cada vez mais, por questões ambientais. Entre as inúmeras fontes renováveis de energia, o bagaço de cana-de-açúcar mostra-se como uma alternativa bastante promissora. (Silva & Morais, 2008).





## 6. COGERAÇÃO

### 6.1 - Definições de cogeração

Para COELHO (1999), cogeração é a geração simultânea de energia térmica e mecânica, a partir de um mesmo combustível (gás natural, resíduos de madeira, casca de arroz, bagaço da cana etc. ).

Cogeração pode ser também um aproveitamento máximo do combustível. “A eficiência energética no aproveitamento do combustível frente à configuração convencional composta de processos distintos que produzem separadamente as mesmas quantidades de calor útil, trabalho e energia elétrica. ” (ROSA, 2000 *apud* SOUZA, 2003, p. 102).

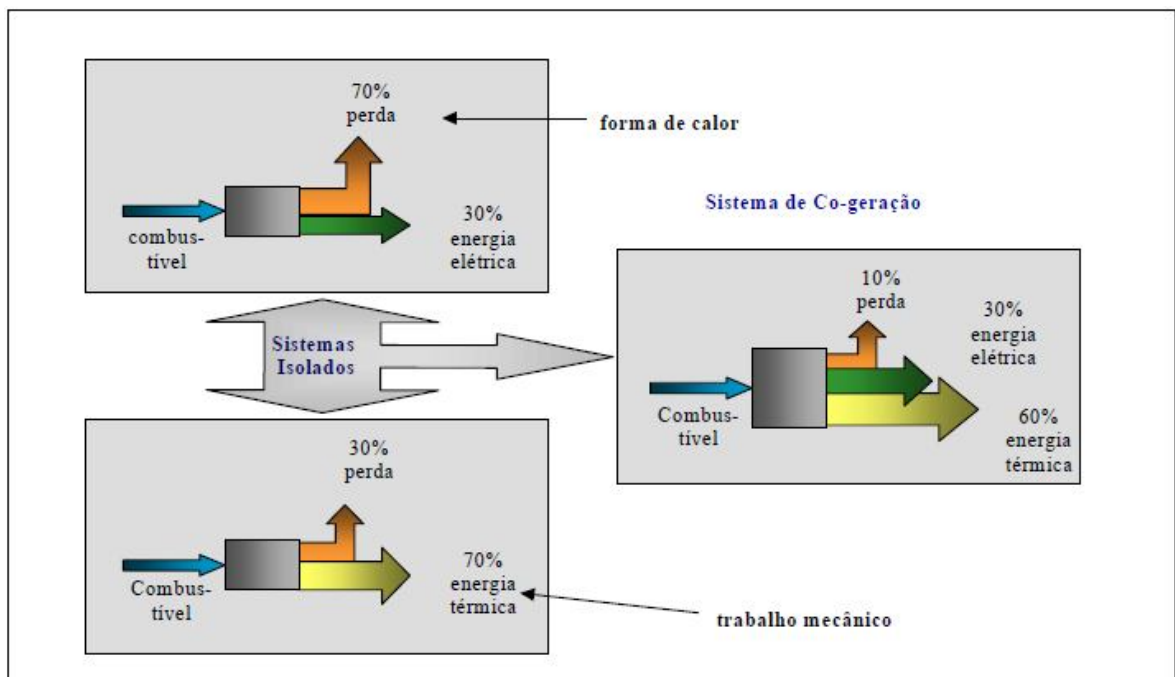


FIGURA 5 – Sistema de geração e cogeração.

FONTE: SOUZA, 2003.

A cogeração associa-se á algumas vantagens, como a redução dos impactos ambientais e a utilização de insumos energéticos, buscando uma maior eficiência. “Sendo uma conservação de energia e de racionalidade energética, aproveitando o calor térmico das máquinas que é rejeitado. ” (NOGUEIRA, *apud* DANTAS, 2009, p. 39)

Desta forma a cogeração atende as necessidades do setor sucroalcooleiro, fornecendo combustível residual (bagaço) da extração do caldo da cana-de-açúcar, demandando potência elétrica e térmica, que se integra favorecendo o processo.

Segundo Goldemberg (*apud* Dantas, 2009), o que acontecia no início do Proálcool, onde o bagaço de cana era um produto indesejável, hoje, muitas usinas compram bagaço para queimar nas caldeiras eficientes de alta pressão, diferentemente do início do plano, onde as caldeiras que queimavam bagaço eram ineficientes e de baixa pressão, buscando apenas a auto-suficiência energética. Já nos dias atuais a venda de energia elétrica na rede, se tornou um mercado atrativo e lucrativo, desta forma o setor passou a apresentar uma regulamentação na cogeração, regulamentando a comercialização do excedente da geração de energia elétrica.

## **6.2 – Regulamentação**

A Regulamentação da Atividade de Cogeração, de diretriz nº1 que está contemplada na Resolução ANEEL nº 371 de 29/12/1999, atendendo total ou parcialmente a unidade cogeneradora, regulamentando a contratação e a comercialização de reservas de capacidade do Autoprodutor ou do Produtor Independente de Energia. Visando vários aspectos, sendo que os mais relevantes segundo Pellegrini (2003, p. 25), retratados são:

- a) Reavaliação dos mecanismos de definição do valor da Demanda Suplementar de Reserva (substituído por *Reserva de Capacidade* na Resolução ANEEL nº 371 de 29/12/1999) - A reavaliação foi feita de modo a adequar os mecanismos ao novo contexto do Mercado competitivo de energia. Os valores para a reserva de capacidade deverão ser definidos considerando a confiabilidade da central de geração e, além disso, deverão limitar-se a menores potências, estimulando a Geração Distribuída na qual se

insere a cogeração. Os valores para a energia consumida durante as interrupções de geração deverão ser baseados no preço mensal de curto prazo. Promove a racionalidade energética, elevando a confiabilidade dos sistemas de distribuição, reduzindo os investimentos e o custo destes sistemas; Estabelece que as transações de compra e venda de energia do sistema interligado sejam realizadas no âmbito do Mercado de energia, podendo também serem realizados contratos bilaterais de compra de energia negociados livremente.

b) Estabelecimento de condições de contratação do acesso aos sistemas de transmissão e de distribuição de energia elétrica, incluindo suas relações contratuais - A contratação deverá também levar em conta as vantagens da Geração Distribuída, proporcionada pelas unidades de menor porte, instaladas junto às indústrias, centros comerciais, hotéis, aeroportos, hospitais e outras concentrações de consumo de eletricidade e energia térmica, que permitem o atendimento dessas importantes parcelas do mercado sem a necessidade de elevados investimentos adicionais em transmissão e distribuição, liberando a energia já disponível para os outros usuários no âmbito da fixação de uma nova sistemática tarifária.

c) Definição de valores normativos que limitam o repasse dos preços livremente negociados na aquisição de energia elétrica, por parte das concessionárias, para as tarifas de fornecimento – Deveriam ser definidos os valores normativos – VN's, específicos para as alternativas de geração de energia renovável, como forma de incentivar o uso de sistemas de geração que utilizassem resíduos ou em sistemas de cogeração implantados no setor de serviços.

### **6.3 - Tecnologia madura**

O setor sucroalcooleiro, com suas centrais termelétricas, baseia-se em conservação de energia térmica, transformando-a em energia mecânica e, desta em energia elétrica (SOUZA, 2003). Tendo em vista que a produção de energia térmica ocorre devido à queima de biomassa em caldeiras, onde aquece a água e transfere energia até gerar vapor. Os parâmetros de vapor são controlados, originado vapor de alta pressão, que é transferido para uma turbina. O vapor na turbina se expande, na descompressão do vapor, acionando mecanicamente um gerador elétrico acoplado ao eixo da turbina a vapor, transformando a energia térmica em energia elétrica.

O vapor na saída da turbina, denominado vapor de escape, é destinado ao processo de fabricação de açúcar e álcool, o vapor é condensado e bombeado para a caldeira novamente, fechando o ciclo. Como apresenta a figura seguinte.

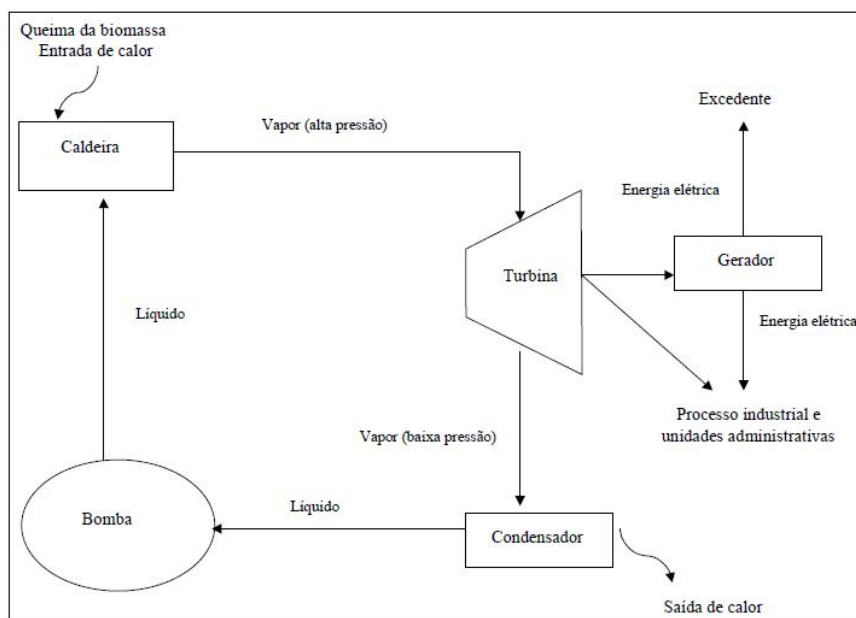


FIGURA 6 - Processo de geração de energia elétrica e vapor em uma usina termelétrica sucroalcooleira.

FONTE: SILVEIRA & GIMENES (*apud* Souza 2003).

As tecnologias básicas utilizadas na geração termelétrica é o ciclo Rankine (ou ciclo a vapor), ciclo Brayton (ou ciclo a gás) e o ciclo para grupos geradores de pequeno porte (ciclos Otto e Diesel). “As tecnologias consideradas mais avançadas são o ciclo Combinado (Rankine-Brayton) e a gaseificação. ” (KANN & NEGRI *apud* SOUZA, 2003, p. 107)

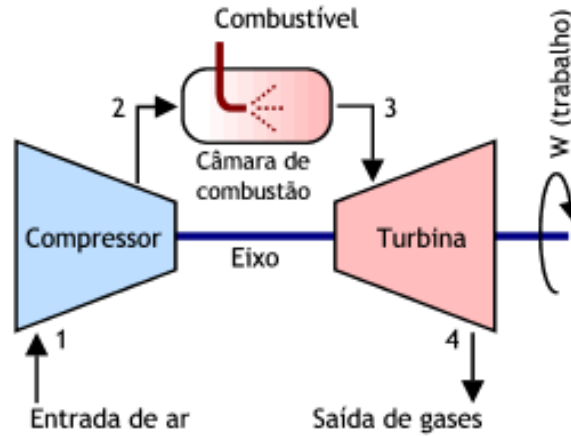


FIGURA 7 – Ciclo a gás  
FONTE: UFSM

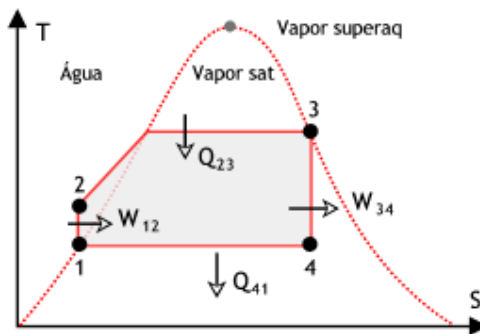


FIGURA 8 – Ciclo Rankine  
FONTE: UFSM

Dados:

- 2–3: expansão isotérmica (calor da queima do combustível);
- 3–4: expansão adiabática (trabalho fornecido pela turbina);
- 4–1: compressão isotérmica (calor trocado no condensador);
- 1–2: compressão adiabática (trabalho fornecido à bomba).

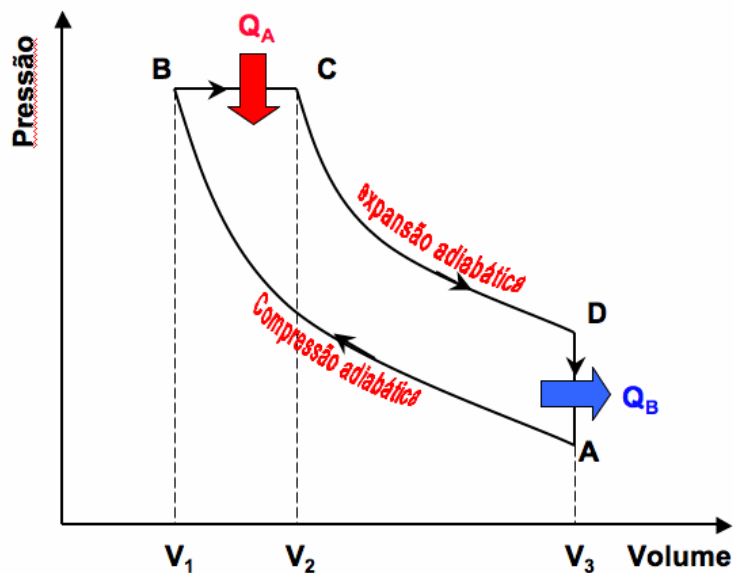


FIGURA 9 – Ciclo Diesel

FONTE: UFSM

O Ciclo diesel compreende com as seguintes etapas:

- Com o pistão na posição superior, o cilindro contém ar comprimido a alta pressão e temperatura. Nesse momento, a válvula na parte central do topo do cilindro injeta diesel no seu interior. A temperatura no interior do cilindro é alta o suficiente para provocar a ignição da mistura sem a necessidade de uma fagulha como no caso de um motor a gasolina.

- O calor gerado na combustão aumenta a temperatura, e num primeiro momento impulsiona o pistão para baixo, de modo que a pressão permanece aproximadamente constante nessa fase.

- Terminada a curta fase de combustão, o pistão continua a descer. Essa fase é conhecida como o estágio de potência.

- Ao se aproximar a parte inferior do cilindro, as chamadas válvulas de exaustão no topo do cilindro se abrem e dão vazão ao gases gerados durante a combustão.

- Ainda em sua descida, o movimento do próprio pistão causa a abertura de válvulas de ar e esse gás preenche novamente o interior do cilindro, além de acelerar a exaustão dos gases de combustão restantes.

- Em seu caminho de volta (estágio de compressão), a nova mistura de ar é novamente comprimida e ao atingir o topo tem-se novamente a injeção de diesel que dá início a um novo ciclo.

Contudo a tecnologia mais aplicada no setor sucroalcooleiro é a de ciclo a vapor, onde estão sendo aperfeiçoados os equipamentos otimizando a cogeração. Haja visto que, com a demanda energética do país crescendo intensamente, novas tecnologias estão sendo estudadas para sua aplicação industrial, como a gaseificação.

Uma tonelada de cana-de-açúcar resulta em cerca de 280 kg de bagaço (50% de umidade), cuja queima produz em média 450 kg a 500 kg de vapor (temperatura média de 300 °C e pressão de 21 bar). (DANTAS, 2009)

Tendo em vista que o setor sucroalcooleiro apresenta um grande potencial gerador de bagaço de cana e a maioria das unidades estão gerando vapor apenas para seu consumo, utilizando caldeiras de baixa pressão, torna-se urgente, estudos que levem a um melhor aproveitamento deste potencial energético.

Em uma visita à Usina de Açúcar e Alcool Equipav, localizada em Promissão, no interior do Estado de São Paulo, técnicos confirmam que cerca de 80% do setor sucroalcooleiro paulista ainda opera com caldeiras de baixa pressão (21 bar) e apenas 20% gera energia elétrica excedente, operando com caldeiras de média e alta pressão. (DANTAS, 2009)

Com a expansão deste potencial do setor sucroalcooleiro, junto com a modernização dos equipamentos geradores de vapor e energia elétrica, a renda dos empreendedores do setor tende a aumentar, pois além da comercialização do excedente de energia elétrica gerado nesta cogeração, um novo comércio aparecerá, despertando interesses, neste mercado se comercializa créditos de carbono, permitindo que as indústrias, emissoras de gases efeito estufa, continuem a emití-los na atmosfera.

## **6.4 - Créditos de carbono**

A preocupação com o meio ambiente levou os países membros da Organização das Nações Unidas a assinarem um acordo que estipulasse controle sobre as intervenções humanas no clima. Pelo acordo, que entrou em vigor em 2005, os países industrializados devem reduzir as emissões de gases efeito estufa (GEE), durante o período de 2008 a 2012, em uma média de 5,2% em relação aos níveis de 1990. Isso representa suprimir cinco bilhões de toneladas de CO<sub>2</sub>, esta meta foi estabelecida pelo Protocolo de Kyoto, firmado em dezembro de 1999. (SOUZA, 2003)

Desta forma os países criaram leis, estabelecendo para suas indústrias emissoras de GEE, prazos para diminuição da emissão destes. As indústrias que não atingem esses prazos pagarão multas, devido a uma parcela de responsabilidade pela não diminuição de emissão de GEE do seu país, no qual é fiscalizado e pode ser multado pelas Nações Unidas.

Assim países que consegue uma redução da emissão de outros gases, igualmente geradores do efeito estufa, podem ser convertidos em créditos de carbono, utilizando-se o conceito de Carbono Equivalente. Dantas (2009) comprar créditos de carbono no mercado corresponde aproximadamente a comprar uma permissão para emitir GEE. O preço dessa permissão, negociado no mercado, deve ser necessariamente inferior ao da multa que o emissor deveria pagar ao poder público, por emitir GEE.

O principal papel destas nações é diminuir as emissões ou mitigá-las através de projetos do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). Sendo o Brasil o primeiro país a aprovar um projeto no MDL.

O protocolo de Kyoto, no parágrafo 5º do artigo 12º, define como requisitos essenciais aos projetos de MDL:

- Participação voluntária aprovada por cada parte envolvida;
- Benefícios reais, mensuráveis e de longo prazo relacionados com a mitigação das mudanças climáticas;



- Redução de emissões que sejam adicionais as que ocorreriam na ausência da atividade certificada do projeto.

Com isso surge uma nova oportunidade de mercado que é a comercialização dos créditos de carbono, gerando grandes fluxos financeiros. No ano de 2006, o mercado mundial de créditos de carbono movimentou cerca de três bilhões de dólares, segundo o Instituto Carbono Brasil.

Entretanto os fluxos financeiros decorrentes do mercado de créditos de carbono demandam estudos de ordem contábil, uma vez que, esse mercado encontra-se em estágio inicial, que por sua vez deverá registrar esses valores de maneira adequada, contribuindo para a análise correta das empresas quanto à viabilidade do investimento.

De acordo com a UNICA, diversas empresas brasileiras, em especial as sucroalcooleiras, estão adentrando nessa nova forma de mercado através da transformação do bagaço da cana-de-açúcar em energia para comercialização.

## **7 - A COMERCIALIZAÇÃO**

Na década de 90 foram criadas leis para que houvesse a comercialização e a diferenciação dos tipos de co-geradores, o Autoprodutor (AP) e o Produtor Independente de Energia Elétrica (PIE) (SOUZA, 2003):

- Artigo 2º do Decreto 2. 003 de 10/09/96, denominado AP. Este co-gerador caracteriza-se como pessoa física, jurídica ou consumo detentor de uma concessão ou autorização para produzir energia elétrica para consumo próprio. O Decreto 2. 655/98 concedeu permissão aos autoprodutores para a comercialização de energia co-gerada que excede ao consumo de sua planta industrial.

- Lei 9. 074/95, onde foi instituído o PIE caracterizando pessoa jurídica ou consórcio detentor de uma concessão ou autorização para produzir, regularmente, energia elétrica parcialmente ou na sua totalidade destinada ao comércio, por sua responsabilidade e risco.

Contudo a comercialização para diversos tipos de consumidores, principalmente ao consumidor livre, dependia da regulamentação do acesso dos PIEs às redes de distribuição e transmissão das concessionárias (SOUZA, 2003).

Estes decretos estabelecem as condições gerais de contratação do acesso, uso e conexão aos sistemas de transmissão e distribuição de eletricidade, independente de sua localização no sistema elétrico.

A ANEEL em outubro de 1999, promulgou a Resolução 281, estabelecendo as condições, que permitem a efetivação do disposto no Decreto 2. 003.

## **7.1 - Comercialização da energia excedente**

Para que uma unidade geradora de energia comercialize seus excedentes de eletricidade terá de refletir de maneira positiva em toda sua cadeia, diversificando seus produtos comercializados e buscando uma estabilidade econômica.

No seu planejamento de geração de energia, o plano tem que estar associado ao tamanho do canavial e dos mercados para seus produtos.

Uma vez que o custo da energia elétrica gerada nas usinas e destilarias compreende a amortização dos investimentos, a remuneração do capital e a cobertura dos custos operacionais propiciando valores muito competitivos para a auto-suficiência e para a entrada da unidade em um novo negócio que é a comercialização de energia elétrica excedente. (PELLEGRINI, 2003)

Com um aumento na demanda energética do país, as indústrias do setor sucroalcooleiro observaram que este produto, que já é gerado na unidade para seu próprio consumo, pode se tornar um excelente complemento de renda, além da venda do álcool e açúcar, principais produtos do setor.

Pólos industriais como os de Sertãozinho, Araçatuba e Piracicaba, sentem os reflexos da procura de equipamentos destinados ao processamento da cana e aos sistemas voltados à cogeração de energia a partir do bagaço de cana-de-açúcar.

De acordo com a UNICA, 2008, no país, são 400 usinas sucroalcooleiras em operação, todas auto-suficientes em energia a partir do bagaço. Há cerca de 210 projetos de cogeração em implantação que podem colocar no sistema 13. 200 MW até 2012.

Segundo Onório Kitayama, especialista em bioenergia da União da Indústria da Cana-de-Açúcar, “em 2008 as usinas tiveram um excedente de 790 MW para ser comercializado, e poderá chegar a 8. 900 MW até 2012, sem considerar o potencial do uso da palha da cana”.

Apesar da reclamação do setor, os preços da energia fixados no leilão que foi realizado em 2008 ficaram em R\$ 157, 00 MW/h, melhor preço registrado desde o ano de 2007.

No parecer do Superintendente da Comercializadora Delta Energia, Mateus Aranha Andrade, o preço é atrativo para alguns projetos, mas não cobre o custo de

outros, pois muitas usinas não dividem os custos dos projetos de cogeração, com a fabricação de álcool e açúcar, deixando a geração de energia como custos de investimentos, tendo em vista que esses projetos beneficiam diretamente a produção dos produtos nobres, aumentando a geração de vapor. (PELLEGRINI, 2003)

## **7.2 - Opções de venda**

A legislação atual traz algumas possibilidades de combinações para sua venda, buscando garantias operacionais e econômicas necessárias para conduzir o negócio.

A integração de uma unidade geradora de energia se faz com a concessionária de distribuição mais próxima e a venda de energia, pode ser feita com a concessionária ou com terceiros, sendo as principais opções de venda:

**- Venda à Concessionária** - O preço de venda da energia da usina à concessionária é ajustado a partir de uma negociação. A concessionária, no entanto, só pode repassar aos seus custos um valor máximo, denominado Valor Normativo (VN) que é, na prática, um fator limitador de preço, pois pode influenciar as tarifas que podem ser cobradas de seus consumidores. Na venda a uma concessionária não se aplica o ICMS uma vez que este tributo só é cobrado do consumidor final embutido no preço da tarifa.

**- Venda para o Consumidor Livre** – Desde que esteja atuando como Produtor Independente de Energia (PIE), a comercialização de energia pode ser efetuada para um “consumidor livre”. O preço de compra e venda se ajusta livremente entre as partes, tendo, no entanto, que pagar sua transmissão e distribuição à Concessionária de Distribuição e ao Operador Nacional do Sistema – ONS. Nesta modalidade aplica-se o ICMS, pela venda de energia elétrica.

**- Venda para o Agente Comercializador** – A venda de energia elétrica gerada na usina pode também ser vendida para terceiros através de um comercializador. Esta

modalidade pode ser atraente, mesmo podendo apresentar um custo adicional, encargos e custos comerciais podem ser reduzidos, evitando burocracias.

**-Venda no Mercado *Spot*** – Este mercado representa uma venda no mercado de curto prazo, no qual os preços são embasados no balanço oferta e procura do sistema. Este mercado é interessante para as unidades geradoras operantes onde a safra coincide com o período seco, tendo em vista que o Brasil é bastante sensível ao regime de águas. Aconselha-se que a empresa reserve uma parte da energia gerada, para uma comercialização neste mercado, onde os preços geralmente são mais elevados devido a oferta de energia elétrica no mercado.

Para a venda do excedente de energia elétrica, um agente fiscalizador do sistema deve ser notificado, planejando a transmissão, distribuição e consumidores junto com o Operador Nacional do Sistema.

### **7.2.1 – Operador Nacional do Sistema**

A empresa ONS é “um agente neutro criado a partir de um acordo multilateral entre todos os agentes do mercado (firmas de geração, transmissão, distribuição e comercialização, além de consumidores livres)” (HOCHSTETLER, 1998, p. 156).

De acordo com o Ministério de Minas e Energia, as funções básicas e específicas do ONS são:

1. Planejamento operacional dos segmentos de geração e de transmissão, em um horizonte de até cinco anos;
2. Responsabilidade pela otimização do sistema, gerindo o despacho (entrega) de energia, ficando assim, responsável por administrar o transporte de energia elétrica no país;
3. Cobrança dos usuários da rede de transmissão e remuneração dos prestadores dos serviços de transmissão;

4. Planejamento dos investimentos necessários para até cinco anos;
5. Garantia de novos investimentos no segmento de transmissão;
6. Estabelecer o custo marginal de operação do sistema elétrico interligado que serviria de parâmetro para o preço no mercado *spot*.

Segundo Souza (2003), a criação dessa empresa foi inspirada na *National Grid*, empresa privada britânica que desenvolve as mesmas funções previstas para o ONS. Para o exercício de suas atribuições legais e o cumprimento de sua missão institucional, o Operador Nacional do Sistema Elétrico desenvolve uma série de estudos e ações, que têm como base dois insumos fundamentais.

Em primeiro lugar, estão os Procedimentos de Rede. Estes procedimentos são um conjunto de normas e requisitos técnicos que estabelecem as responsabilidades do ONS e dos Agentes de Operação, no que se referem as atividades, insumos, produtos e prazos dos processos de operação do SIN e das demais atribuições do Operador. Esses documentos são elaborados pelo ONS, com a participação dos Agentes e homologados pela ANEEL.

Atualmente, em atendimento à Resolução Normativa nº 115 da ANEEL, de 29. 11. 2004, os Procedimentos de Rede estão em processo de revisão para adequação à legislação e regulamentação vigentes e para assegurar a aderência à prática adotada pelo ONS e pelos diversos agentes setoriais.

O segundo conjunto de insumos são as informações externas que o ONS necessita receber das autoridades setoriais, especialmente do Ministério de Minas e Energia (MME), da ANEEL e dos Agentes Proprietários das instalações que compõem o Sistema Integrado Nacional (SIN) para a execução de suas atividades, conforme estabelecido nos próprios Procedimentos de Rede.

Os principais estudos e ações empreendidos pelo ONS na operação coordenada centralizada do SIN e na administração dos serviços de transmissão na Rede Básica

(instalações com tensões iguais ou maiores que 230 kV) podem ser agrupados em diferentes macroprocessos.

Com tamanho e características que permitem considerá-lo único em âmbito mundial, o sistema de produção e transmissão de energia elétrica do Brasil é um sistema hidrotérmico de grande porte, com forte predominância de usinas hidrelétricas e com múltiplos proprietários. O Sistema Interligado Nacional é formado pelas empresas das regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e parte da região Norte. Apenas 3, 4% da capacidade de produção de eletricidade do país encontram-se fora do SIN, em pequenos sistemas isolados localizados principalmente na região amazônica.

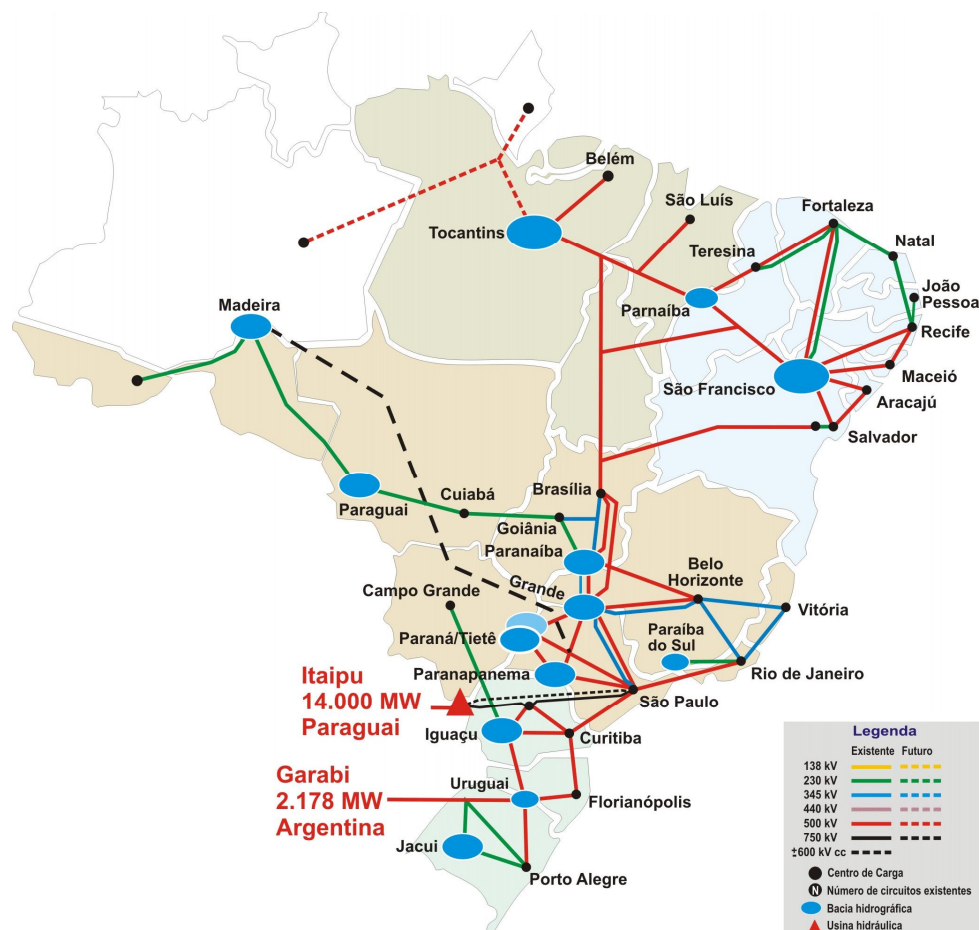


FIGURA 10 – Mapa SIN Integração Eletroenergética.

FONTE: (ONS, 2011)

### 7.3 - Linhas de créditos para o co-gerador

Para buscar o incentivo do Produtor Independente de Energia a investir na otimização e eficiência de sua unidade, organismos internacionais como o Banco Mundial, o Banco Interamericano de Desenvolvimento – BID, o *United States Export & Import Bank* – Eximbank, a *Overseas Private Investment Corporation* – OPIC e nacionais como o Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social – BNDES, oferecem linhas de créditos específicos para projetos de geração de energia elétrica usando biomassa, adeptos à política de geração a partir de fontes não poluidoras. (DANTAS, 2009)

O BNDES na sua linha de créditos, para a geração de energia alternativa chega com sua participação, a projetos de cogeração de energia que utilizem caldeira de biomassa com pressão maior ou igual a 60 bar com 90% dos itens financiáveis e aos demais empreendimentos 80% dos itens financiáveis. (DANTAS, 2009)

Como mostra a tabela 5, as condições financeiras da linha de crédito a energias alternativas.

TABELA 5 - Taxa de juros:

Apoio direto ( <i>operação feita diretamente com o BNDES</i> )	Custo Financeiro + Remuneração Básica do BNDES + Taxa de Risco de Crédito
Apoio indireto ( <i>operação feita por meio de instituição financeira credenciada</i> )	Básica do BNDES + Taxa de Intermediação Financeira + Remuneração da Instituição Financeira Credenciada

Fonte: (Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social - BNDES).



a) Custo Financeiro: A Taxa de Juros de Longo Prazo - TJLP foi instituída pela Medida Provisória nº 684, de 31. 10. 94, publicada no Diário Oficial da União em 03. 11. 94, sendo definida como o custo básico dos financiamentos concedidos pelo BNDES.

b) Remuneração Básica do BNDES: 0, 9% a. a.

c) Taxa de Risco de Crédito: até 3, 57% a. a. , conforme o risco de crédito do cliente.

d) Taxa de Intermediação Financeira: 0, 5% a. a. somente para grandes empresas;

e) Remuneração da Instituição Financeira Credenciada: negociada entre a instituição financeira credenciada e o cliente.

Porém, as linhas de crédito não são a única forma de se buscar uma otimização no processo de geração. Diante do atual crescimento econômico do país, parcerias entre empresas são formadas, na busca de atender a futura demanda energética que o Brasil necessitará.

#### **7. 4 - Parcerias de investimentos**

O crescimento econômico do país, faz com que a demanda energética cresça, necessitando de uma maior geração de energia elétrica, desta forma empresas do setor elétrico buscam investir neste mercado.

Diante deste fato, o setor sucroalcooleiro apresenta algumas vantagens na geração de eletricidade, pois envolve empreendimentos de pequeno porte, utiliza-se de tecnologia nacional e está situado nas proximidades dos grandes centros de consumo, como cita (DANTAS, 2009).

Em sua dissertação Dantas (2009, p. 75), cita a entrevista com Paulo Sérgio Javorski da empresa Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL).

“Hoje um empreendedor do setor sucroalcooleiro já tem “benefícios” regulatórios para adentrar no mercado de energia, como o PROINFA e os leilões. De outra forma, a iniciativa privada está buscando abrir o mercado livre para esses empreendedores. Ou seja, o empreendedor tem a opção de vender energia elétrica tanto no mercado regulado quanto no mercado livre. ”

Assim, a Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL), se tornou pioneira nas parcerias com empresas do setor sucroalcooleiro, realizando projetos de instalação de ativos elétricos para a geração e cogeração de energia a partir de fontes renováveis.

A empresa possui um serviço de EPC (*Engineering Procurement and Construction*), que engloba todas as etapas do processo, desde a realização de EVITE (Estudos de Viabilidade Técnica e Econômica) até o desenvolvimento de soluções customizadas de engenharia, com o foco em gerar ganhos ao empreendimento, favorecendo uma maior eficiência energética e menos impacto ao meio ambiente. (CPFL)

Segundo a concessionária CPFL, com a implantação deste projeto, o empreendedor terá:

- Acesso a diversas linhas de crédito de fontes fomentadoras, cambiais e de bancos de desenvolvimento;
- Investimento de até 100% na usina termelétrica por conta da CPFL;
- Conhecimento na atuação junto aos órgãos reguladores;
- A utilização de resíduos reduz o impacto no meio ambiente e ajuda a promover a sustentabilidade;
- Atuação de forma integrada em todas as etapas do projeto, do crédito financeiro à comercialização de energia excedente.

Também se tem como parcerias de sucesso a Tonon Bioenergia sendo uma empresa de energia renovável que produz açúcar, etanol e eletricidade a partir da cana-de-açúcar. O Grupo Tonon possui duas unidades de produção, localizadas em Bocaina (SP) e Maracaju (MS), com capacidade de moagem de 5, 4 milhões de toneladas de cana-de-açúcar por ano-safra. (UNICA, 2009)

O grupo prevê para a safra 2011/2012 uma moagem de cinco milhões de toneladas de cana-de-açúcar e faturamento de R\$ 580 milhões. Assim buscando investir cada vez mais nas suas unidades de produção de bioeletricidade, etanol e açúcar. (TONON BIOENERGIA)

O intuito da empresa é expandir sua capacidade de exportação de energia elétrica dos atuais 160 GWh/ano para aproximadamente 376 GWh/ano. Em conjunto, haverá expansão da capacidade de moagem de cana-de-açúcar e, conseqüentemente, da produção de açúcar e etanol. Para isso, contratou a Czarnikow, consultoria especializada no setor sucroenergético que presta serviços de comercialização para o açúcar e etanol, além de finanças corporativas para as empresas do setor, para auxiliá-la na modelagem

do seu projeto e apresentação a investidores que já demonstraram grande interesse no negócio.(TONON BIOENERGIA)

## **8 - GERANDO ENERGIA ELÉTRICA EM UMA USINA SUCROALCOOLEIRA**

Este capítulo relatará a rotina de uma unidade geradora de bioeletricidade, na qual Victor Alvares de Campos, realizou um estudo de caso; Esta usina fica na região Centro-Oeste do estado de São Paulo, na cidade de Iacanga, cerca de 60 km de Bauru.

A usina de Iacanga é uma unidade “nova”, tendo em vista que está em operação á cinco safras fazendo parte do grupo Copersucar S. A, sendo esta a maior empresa brasileira de açúcar, etanol e bioenergia.

Atua com relevância no mercado interno e externo, com 43 usinas associadas produtoras de açúcar, álcool e bioenergia. O Grupo se confirmou na safra 2009/2010, a maior exportadora e comercializadora de açúcar e etanol no País.

Essa unidade apresenta planos de expansão, com projetos de instalação de uma nova caldeira para a próxima safra, para um aumento na geração de vapor, tendo em vista que possui um excedente de bagaço que é comercializado por não ter instalado um maior potencial de geração de vapor, isso acaba gerando menos dividendos na comercialização deste, haja visto que a produção e venda de energia elétrica é muito mais rentável.

### **8.1 - Recebimento de matéria prima**

No recebimento de cana-de-açúcar, matéria prima para todo o processo bioenergético, os caminhões que chegam são pesados e mandados para o setor de pagamento de cana, onde amostras são coletadas a partir de uma sonda oblíqua, ou de caminhões sorteados para posteriores análises. Se a cana é de fornecedor, é retirada uma amostra para o pagamento, mas se a matéria prima é da própria da usina, caminhões são sorteados e amostras são retiradas para análises.

Até 1997 a cana era paga pelo teor de sacarose aparente do caldo, PCTS (Pagamento de cana pelo teor de sacarose) em diversas unidades sucroalcooleiras. A partir de 1998 algumas unidades iniciaram implementações do sistema de pagamento da cana pelo total de açúcares recuperáveis, designado de Açúcar Total Recuperável (ATR). O pagamento da cana pelo total de açúcares recuperáveis é um aprimoramento do PCTS, e inclui a sacarose, açúcares redutores, eficiência de extração, industrialização, percentual da produção destinado à fabricação de álcool e açúcar e também, o preço de comercialização. Sendo, portanto, um produto que adota diversas variáveis.



FIGURA 11- Sonda Obliqua da usina.

FONTE: Arquivo pessoal

Também é separada uma quantidade de amostra de cana inteira e picada, tanto da própria usina quanto de fornecedores, para a análise de quantidade de terra que esta entrando na indústria.

Os caminhões que são sorteados para análises passam pela sonda oblíqua, onde o caminhoneiro entrega um formulário mostrando de quem é a matéria prima, qual é o tipo, se inteira ou picada, e o lugar que foi colhido. Com isso o operador da sonda retira uma amostra da carga contendo cerca de 15 kg. Essa amostra passa por um desfibrador rompendo suas fibras, depois por uma betoneira para sua homogeneização, o operador separa uma quantidade da amostra e envia para o laboratório onde são feitas análises de

qualidade da matéria-prima, se forem de fornecedores já é feita análises para o pagamento desta cana-de-açúcar.

Essa unidade possui uma logística para o fornecimento de cana para a indústria. As carretas são deixadas no pátio, onde caminhões escravos transportam internamente, essa matéria prima presente nas carretas para a mesa de alimentação da moenda, ganhando assim, tempo nos transportes de cana da roça para a indústria.

Entretanto, não é uma armazenagem por longos períodos, um fator que não é interessante, pois células da cana estão expostas fazendo com que haja uma fermentação natural, perdendo os açúcares recuperáveis. Sendo uma armazenagem rotativa de períodos curtos, não deixando faltar matéria prima na indústria e perdendo o menos possível dos açúcares contidos na cana.

## **8.2 - O preparo da matéria prima**

Depois que o caminhão passa pela balança e pela coleta de amostra no PCTS, este é destinado para a área de descarregamento, onde a carroceria de transporte de cana é guinchada por um hilo e tombada na mesa de alimentação inclinada. Após o descarregamento o operador que controla a mesa de alimentação, passa um sinal para o operador do hilo, retirar os cabos presos e ir para um próximo caminhão.

Com a mesa alimentada o operador controla o fluxo de cana-de-açúcar, picada ou inteira, para a formação de uma “cama” de cana, que será pré-preparada para a extração do açúcar.

Neste pré-preparo a cana passa por facas rotativas, para ser picada e por martelos onde é desfibrada, deixando suas células mais expostas possíveis para uma melhor extração nos ternos da moenda. Estas facas e martelos ficam dentro de uma “caixa” de metal, não deixando expostas para uma maior segurança, pois corre o risco de rompimento destes materiais que giram em alta rotação, para se obter um bom preparo da cana.



FIGURA 12 – Vista do operador da mesa vertical

FONTE: Arquivo pessoal

Após esta etapa, a cana está preparada para sua moagem, formando uma “cama” de cana desfibrada, onde passa por um eletroímã no qual retém qualquer objeto metálico, para não passar para os ternos de moagem, onde danificaria a moenda. Esta “cama” por sua vez cai num compartimento onde é retido para sua entrada nos rolos compressores.

A cana intensamente picada e desfibrada chega às moendas por meio de um alimentador vertical, o *Chutt Donelly*. Cada conjunto de rolos de moenda, montados numa estrutura denominada castelo, constitui um terno de moenda. Os números de ternos utilizados no processo de moagem da usina são de seis, e cada um deles é formado por quatro cilindros principais, denominados cilindro de entrada, cilindro superior, cilindro de pressão e cilindro de saída. Este compartimento denominado *chutt donelly*, é controlado por sensores onde seu nível de cana a ser moída é quantificado e transmitido para o controlador, não deixando voltar bagaço evitando o embuchamento e a paralisação da moenda.

Os ternos da moenda são acionados por motores elétricos, no caso da usina o primeiro e o sexto já são acionados por motores elétricos, este tipo de motor é mais bem visto nas empresas, devido seu acionamento rápido e uma manutenção mais simples. Por serem motores elétricos, a planta industrial acaba gastando mais energia, fator

compensatório, tendo em vista que a produção de vapor é destinada para o processo de fabricação de álcool e/ou açúcar e na geração de energia elétrica, apresentando uma maior cogeração e economizando, pois o vapor é mais nobre que a energia elétrica.

Já do segundo ao quinto terno, seu acionamento se faz com uso de turbinas a vapor, a qual apresenta um maior controle de suas variáveis, tendo que controlar pressão, lubrificação, temperatura, desta forma sua manutenção se torna mais complexa, necessitando de um acompanhamento permanente. Sua partida necessita de um pré-aquecimento, tornando-a mais lenta, além do espaço físico que ocupa.

A carga que atua na camada de bagaço é transmitida por um sistema hidráulico que atua no rolo superior. Com o aumento da capacidade de moagem advindo do preparo da cana, é necessária a instalação do rolo de pressão, cuja finalidade é manter constante o fluxo de alimentação da moenda. Os rolos são abertos em determinadas espessuras e uma pressão é exercida no rolo de pressão para ocorrer uma melhor extração. O primeiro terno não tem ajuda da embebição, fato que ocorre do segundo ao sexto terno, onde água aquecida é adicionada no último terno, antes de passar pelos rolos de moagem, ajudando a extração do açúcar presente na cana.

A cana desfibrada chega à primeira moenda, onde recebe a primeira compressão entre o cilindro anterior e superior e uma segunda compressão entre o cilindro posterior e o superior. Com isso se obtém um caldo conhecido como primário.

O bagaço resultante segue pela esteira intermediária para o segundo terno de moagem, recebendo novamente duas pressões, como mencionado anteriormente. Os esmagamentos se sucedem para os ternos seguintes. O bagaço final sai com umidade em torno de 50% e segue para as caldeiras onde se transforma em energia térmica.

A embebição que ocorre na melhoria da extração começa no sexto terno e é com uma água aquecida apenas, já do quinto em diante, esta água é misturada com o caldo extraído, pois quanto mais concentrado de caldo da embebição esta, maior o poder de diluição em altas concentrações, com isso quando adicionado no início da extração (2º terno), a “cama” de cana desfibrada apresenta altas concentrações de açúcar. Desta forma a extração chega em torno de 95%.

A eficiência de um terno de moenda pode ser medida por dois parâmetros: capacidade e eficiência de extração.



Entende-se por capacidade de um terno de moagem a quantidade de cana moída por unidade de tempo. Já o termo eficiência de extração refere-se à quantidade de sacarose extraída da cana pelas moendas.

**Fatores que afetam a capacidade de moagem são:**

- Preparo da cana;
- Eficiência de alimentação da moenda;
- Tamanho e tipo dos cilindros da moenda;
- Regulagem da bagaceira.

Uma etapa importante no processo de extração denomina-se chapiscamento, este processo faz com que os rolos da moenda não fiquem lisos, fazendo com que os rolos diminuam sua capacidade de extração, chegando às vezes a nem moer, com isso pontos são soldados nos rolos, deixando-o com mais firmeza na extração.

Desta forma todos os parâmetros que necessitam ser observados constantemente, para não ocorrer problemas na extração como: velocidade de abastecimento, pressão das turbinas, temperatura, nível do *chutt donelly*, entre outros, são controlados através de um monitoramento na sala de controle. Se for detectada alguma variação no processo, o operador avisa o pessoal da manutenção.

### **8.3 - A queima do bagaço**

O bagaço que sai do último terno de moagem, cai no circuito de bagaço, do qual vai sendo transportado através de esteiras rolantes, que o distribui nas bicas da caldeira, levando o excesso até o depósito de bagaço.

Sabendo que a caldeira utilizada na usina apresenta as seguintes especificações:

- Capacidade de produção de vapor: 120 t/h;

- Pressão máxima de trabalho admissível:  $54 \text{ KGF/cm}^2$ ;
- Pressão de teste hidrostático:  $81 \text{ KGF/cm}^2$ ;
- Pressão de trabalho:  $45 \text{ KGF/cm}^2$ ;
- Temperatura do vapor:  $450^\circ\text{C}$ ;
- Área de aquecimento:  $3.200 \text{ cm}^2$ .

E que apresenta um tubulão, como as usadas na maioria das usinas paulista, a caldeira, contudo é um conjunto de vários elementos no qual, propicia-se o melhor rendimento possível aplicando todos os recursos de otimização.

Um dos elementos denominado de pré-aquecedor de ar tem como função aquecer o ar que servirá como um comburente. Se este ar é injetado na fornalha, apresentando uma temperatura baixa, a chama da fornalha diminui, prejudicando o rendimento. Entrando numa temperatura elevada, determinada por parâmetros, a temperatura de combustão não se altera, mantendo o rendimento desejado.

Assumindo condições de combustão perfeitas, como uma combustão adiabática, sem perda de calor, e completa, a temperatura da combustão pode ser determinada.

A fórmula que leva a essa temperatura é baseada na primeira Lei da Termodinâmica e se aproveita do fato que o calor da combustão, calculado a partir do valor de aquecimento do combustível, é usado inteiramente para aquecer o combustível e o gás (ex: oxigênio ou ar)

A temperatura de combustão depende:

- da proporção do ar em relação ao combustível;
- da capacidade térmica do combustível e do ar;
- das temperaturas de entrada do ar e combustível;

- do grau de umidade do combustível e do ar.

O agente energético, para o pré-aquecimento do ar, são os próprios gases de exaustão da caldeira. Esta estratégia visa recuperar o calor dos gases de combustão antes de sair da caldeira através da chaminé.

Esta água pré-aquecida chega ao tubulão pronta para ser transformada em vapor, preenchendo metade do tubulão superior, sendo que a outra metade já é vapor.

Com isso a fornalha fornecendo energia térmica, proveniente da queima do bagaço em suspensão, transforma essa água em vapor, mas este vapor para a cogeração não é interessante, pois terá que passar por um super aquecedor, onde este vapor se tornará mais seco, deixando com uma umidade em torno de 0, 1% e apresentando uma temperatura mais elevada, por volta de 450 °C à 500 °C, a temperatura não pode ser muito elevada, pois o vapor superaquecido já é destinado as turbinas, na qual apresentam especificações de trabalho.

## **8.4 - Coggerando**

Gerando o vapor nas caldeiras, este é destinado à turbina a vapor, que aproveita a energia calorífica do vapor e transforma em energia mecânica, sendo um equipamento com boa eficiência quando utilizado em condições de projeto.

Essa energia mecânica pode ser utilizada para mover equipamentos e quando acoplado um gerador, a turbina a vapor se obtêm da transformação da energia mecânica em energia elétrica.

Logo a turbina é um motor rotativo que converte em energia mecânica do vapor de água, sendo que o elemento básico da turbina é a roda ou rotor, que conta com paletas, hélices, lâminas ou cubos colocados ao redor de sua circunferência, de forma que o fluido em movimento produza uma força tangencial que impulsiona a roda, fazendo-a girar, essa energia mecânica é transferida através de um eixo para movimentar o gerador elétrico. (FERRAZ, 2007)

O gerador elétrico é uma máquina rotativa composta de um estator, onde estão localizadas as bobinas de fio e de um rotor, na prática o rotor gira e o estator fica

parado, produzindo um campo magnético que é fornecido por um ímã ou uma excitatriz que polarizará este rotor.

Dependendo de outra característica do gerador, o número de dipolos que têm, o gerador terá que girar o suficiente para produzir uma tensão elétrica com frequência de 60 ciclos ou Hertz, que é a frequência adotada em todo o sistema elétrico brasileiro.

Nesta unidade as turbinas são acopladas a 2 geradores de energia elétrica, sendo um de 5 MW e outro de 15 MW, gerando energia elétrica para o funcionamento da mesma, sendo alto suficiente e o restante da energia produzida é encaminhada para a concessionária.

A concessionária na qual a usina comercializa seu excedente de energia elétrica é a Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL), onde fecharam um acordo, no qual a usina fornece a demanda comprada pela concessionária, estes negócios ocorrem através de leilões energéticos, onde são firmados acordos de compra e venda.

A cogeração vem despertando interesse por parte de empreendedores para um aumento de renda, e conseqüentemente para a valorização, suprimindo a necessidade de se gerar novas fontes energéticas para o Brasil que requer uma demanda crescente neste setor.

## 9 – CONCLUSÃO

Este trabalho mostrou um estudo do setor sucroalcooleiro, na área de cogeração de energia elétrica através da queima do bagaço, mostrando as vantagens da geração de energia elétrica no setor canavieiro.

Com parcerias e incentivos governamentais, esta matriz energética contribuirá com o sistema elétrico nacional, participando da diversificação da matriz elétrica

. Como a safra coincide com o período de estiagem na região Sudeste/Centro-Oeste, onde está concentrada a maior potência instalada em hidrelétricas do país, a eletricidade fornecida neste período auxilia a preservação dos níveis dos reservatórios das usinas hidrelétricas.

Sendo assim o cenário econômico nacional está aberto para novos investimentos, visto que a demanda energética nacional e global vem crescendo a cada ano.

Os setores de descoberta e aprimoramentos de novas tecnologias são lançados na busca de uma maior produção de energia uma vez que se faz urgente o cuidado com o meio ambiente, pesquisando fontes alternativas renováveis na geração de energia, alinhando assim a tecnologia com a sustentabilidade.

A utilização do bagaço da cana para a produção de eletricidade por meio de usinas termelétricas se torna praticamente sustentável uma vez que o balanço de emissões de CO<sub>2</sub> é praticamente nulo, pois as emissões resultantes da atividade são absorvidas e fixadas pela planta durante o seu crescimento.

Este estudo nos leva a concluir a importância do setor sucroalcooleiro como uma nova alternativa de se gerar energia elétrica através de uma fonte renovável, com menos impacto para o meio ambiente, visto que se aproveitam os subprodutos produzidos pela extração da cana-de-açúcar na produção de açúcar e álcool do país.

Sendo assim, o desenvolvimento de tecnologias próprias poderá colocar o Brasil pioneiro neste setor. Trazendo uma nova forma de rentabilidade para o setor e atraindo novos investimentos contribuindo para o desenvolvimento e crescimento sustentável do País e podendo também adentrar para novos mercados mundiais, como uma nova fonte geradora de energia.

## 10 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional de Energia Elétrica - **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3ª ed. , p. 236 – Brasília: ANEEL, 2008.

ALSP - **Assembléia Legislativa de São Paulo**. Consulta disponível em <www.al.sp.gov.br>, acesso em 24/01/2011.

ANP - Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Disponível em <www.anp.gov.br>. Acesso em fevereiro de 2011.

Associação Paulista de Cogeração de Energia (COGEN-SP). Disponível em <www.cogensp.org.br>. Acesso em fevereiro de 2011.

**Avaliação energética do bagaço de cana em diferentes níveis de umidade e graus de compactação**, XXVIII - Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2008. Marcelo Bacci da Silva e Anderson dos Santos Moraes. Consulta disponível em: <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2008\\_TN\\_STO\\_077\\_346\\_11856.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2008_TN_STO_077_346_11856.pdf)>. Acesso em 24/01/2011.

BEN - **Balanço Energético Nacional 2010**: Ano base 2009 / Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro: EPE, 2010. 276 p.

BNDES – **Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social**. Consulta disponível em: <<http://www.bndes.gov.br>>. Acesso em maio de 2011.

CARBONO BRASIL – Disponível em <[www.institutocarbonobrasil.org.br](http://www.institutocarbonobrasil.org.br)>. Acesso em 26/02/2011.

CENTRO NACIONAL DE REFERÊNCIA EM BIOMASSA. **Projeto Expansão de Cana no Estado de São Paulo**. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente, 2006.

CHD VÁLVULAS – **Artigo caldeira aquatubulares**. Consulta disponível em: <[http://www.chdvalvulas.com.br/artigos\\_tecnicos/caldeiras/aquatubulares.html](http://www.chdvalvulas.com.br/artigos_tecnicos/caldeiras/aquatubulares.html)>, acesso em 25/04/2011.

COELHO, S. T. **Mecanismo para implementação da cogeração de eletricidade a partir de biomassa**: um modelo para o Estado de São Paulo. São Paulo, 1999. Tese (Doutorado) – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo.

COMPANHIA NACIOANL DE ABASTECIMENTO. Safra: Cana:2007/2008: Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em 20/01/2011.

CPFL – Companhia Paulista de Força e Luz. Consulta disponível em: <<http://www.cpfl.com.br/>>. Acesso em: maio de 2011.

DANTAS FILHO, Paulo Lucas, **Análise de Custos na Geração de Energia com Bagaço de Cana-de-Açúcar: um Estudo de Caso em Quatro Usinas do Estado de São Paulo**, São Paulo, 2009, 175 p, Dissertação (Mestrado-Programa de Pós Graduação em Energia)-EP/ FEA/ IEE/ IF da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009;

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – **Plano decenal de expansão de energia elétrica 2008/2017**. Acessado em março de 2011. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/PDEE/20081223\\_5.PDF](http://www.epe.gov.br/PDEE/20081223_5.PDF)>.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. Acessado em fevereiro de 2011. Disponível em <[www.epe.gov.br](http://www.epe.gov.br)>

GOVERNO BRASILEIRO - **Desenvolvimento Sustentável**. Consulta disponível em: <<http://www.cop15brasil.gov.br/pt-BR/?page=>>, acesso em 20/04/2011.

GRUPO TONON BIOENERGIA. Consulta disponível em: <<http://www.tononbioenergia.com.br/grupotonon>>. Acesso em maio de 2011.

HOCHSTETLER, R. L. **A reforma do setor elétrico no Brasil: as perspectivas de introdução de competição no segmento de geração**. São Paulo, 1998. 168 p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1998.

LUCON, **Os Aspectos ambientais da cadeia do etanol de cana-de-açúcar**. São Paulo, 2008, 23p. Termo de Referência para o Workshop do Programa de Pesquisa em Políticas Públicas – FAPESP. São Paulo, 2008.

**Matrizes energéticas no Brasil: cenário 2010 a 2030**, XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2008. Consulta disponível em <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2008\\_TN\\_STO\\_077\\_541\\_11890.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2008_TN_STO_077_541_11890.pdf)>, acesso em 24/01/2011.

ONS – Operador Nacional do Sistema. Consulta disponível em <<http://www.ons.org.br>>, acesso em maio de 2011.

PELLEGRINI, M. C. - **Inserção de Centrais Cogeneradoras a Bagaço de Cana no Parque Energético do Estado de São Paulo: Exemplo de Aplicação de Metodologia para Análise dos Aspectos Locacionais e de Integração Energética**. São Paulo. 2002. 187p. Dissertação (Mestrado) – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia – PIPGE (EP/FEA/IEE/IF) 1. Cogeração. 2. Setor Sucroalcooleiro. 3. Simulações com SAEGET e NEWAVE. I. Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo. II. t



SOSA ARNAO, JUAN HAROLD. **Caldeiras aquatubulares de bagaço – estudo do sistema de recuperação e energia** - Campinas, SP, p. 257, 2007. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

SOUZA, ZILMAR JOSÉ DE, **Geração de energia elétrica excedente no setor sucroalcooleiro: entraves estruturais e custos de transação** / Zilmar José de Souza. São Carlos: UFSCar, 2004. 278 p. Tese (Doutorado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2003.

UFSM – Universidade Federal de Santa Maria – RS, Energia e termodinâmica de engenharia – Fundamentos. Disponível em <[http://coralx.ufsm.br/cenergia/arquivos\\_downloads/termodinamica.pdf](http://coralx.ufsm.br/cenergia/arquivos_downloads/termodinamica.pdf)>. Acesso em 20/05/2011.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR, **Ranking de produção de cana, açúcar e álcool: região centro-sul: safra 2007/2008**. Disponível em <<http://www.portalunica.com.br/files/estatisticas/>>. Acesso em 20/01/2011.

UNIJUI, Universidade Regional de Ijuí - RS, **Turbinas a vapor**, Dr. Fábio Ferraz. Disponível em <<http://fabioferrazdr.files.wordpress.com/2008/08/turbinas-a-vapor.pdf>>. Acesso em 27/05/2011.