

A IMPORTÂNCIA DA COGERAÇÃO UTILIZANDO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR  
COMO FORMA DE DIVERSIFICAÇÃO DA MATRIZ ELÉTRICA

Camila da Silva Lobo

PROJETO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO - UFRJ, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO ELETRICISTA.

Aprovada por:

---

Carmen Lucia Tancredo Borges, D.Sc  
(Orientadora)

---

Marcos Vicente de Brito Moreira, D.Sc

---

Sergio Sami Hazan, Ph.D

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

AGOSTO DE 2013

*“Eu gosto do impossível porque lá  
a concorrência é menor”*

*Walt Disney (19 anos de idade)*

## **AGRADECIMENTOS**

O momento que optei pela engenharia foi no mesmo momento em que conheci a pessoa que mudaria pra sempre a minha vida. Sem dúvida, uma das pessoas que mais sonhou com esse dia, juntamente com a minha mãe e minha avó. Por você terei sempre a melhor lembrança e a maior saudade do melhor momento da minha vida. A sua importância e influência são tão presentes que não consigo mais separar o que são pensamentos meus e os que são idéias suas, imbutidas na minha mente interferindo na minha opinião. Agradeço por cada aventura vivida ao seu lado.

A Deus, agradeço por toda proteção e principalmente por ter me dado o prazer de conhecer amigos incríveis como os presentes em minha vida. Pessoas, essas, que admiro, tenho orgulho e compartilho dos sentimentos mais íntimos. A vocês, agradeço por cada noite de estudo que não tive porque estava em suas companhias. Certamente, são os melhores psicólogos sem diplomas que já conheci. Por vocês tenho o amor mais sincero. Agradeço pela liberdade, pela coragem e pelo receio do futuro que cada um de vocês carrega.

O meu terceiro “muito obrigado” é dedicado à minha família, por ter me dado todo o suporte e a estrutura necessária para alcançar meus primeiros objetivos e finalizar mais uma etapa da minha vida.

À empresa Aggreko, por me permitir vivenciar a rotina dos profissionais de engenharia, em conjunto com todo o corpo docente da Escola Politécnica da UFRJ pela consciência da nossa obrigação como engenheiros perante a sociedade.

A todos que de alguma forma passaram na minha vida e compartilharam suas emoções, muito obrigado!

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1: Preço do Barril de Petróleo.....	9
Tabela 1.2: Quantidades de Usinas no Brasil de acordo com a fonte energética .....	13
Tabela 1.3: Participação das Fontes Renováveis .....	23
Tabela 1.4: Número de Projetos do PROINFA.....	24
Tabela 1.5: Limites de emissões de poluentes provenientes da combustão pela queima do bagaço da cana .....	28
Tabela 1.6: Limites máximos de emissões de CO proveniente da combustão do bagaço da cana.....	29
Tabela 1.7: Emissões Evitadas de Poluentes de acordo com a Tecnologia Utilizada .....	30
Tabela 2.1: Redução de Particulados e Alcatrão utilizando diferentes Sistemas de Limpeza .....	46
Tabela 3.1: Resultados do primeiro leilão de fontes alternativas .....	61
Tabela 3.2: Resultados do primeiro leilão de fontes alternativas .....	61
Tabela 3.3: Resultados do segundo leilão de fontes alternativas .....	61
Tabela 3.4: Resultados do terceiro leilão de Reserva .....	62
Tabela 3.5: Resultados do quarto leilão de Reserva.....	62
Tabela 4.1: Capacidade de Produção da Usina Catanduva .....	71
Tabela 4.2: Safra da Usina Catanduva de 2004/05 à 2012/13.....	73
Tabela 4.3: Características Operacionais da Usina Catanduva .....	74
Tabela 4.4: Características Elétricas da Usina Catanduva .....	74
Tabela 4.5: Renda Adicional Fictícia da Usina Catanduva .....	75
Tabela 4.6: Custo Evitado pela Usina devido a Geração de Energia Elétrica .....	76
Tabela 4.7: Custo Operacional da Usina Catanduva .....	77
Tabela 4.8: Índices Econômicos da Usina Catanduva .....	78
Tabela 4.9: Tempo Médio de implantação Usina Catanduva .....	79
Tabela 4.10: Características da Caldeira da Usina Catanduva.....	80
Tabela 4.11: Características da Turbina da Usina Catanduva .....	81
Tabela 4.12: Quantidade de Geradores Elétricos e de Vapor .....	81
Tabela 4.13: Considerações Finais sobre a Usina Catanduva.....	82
Tabela 4.14: Características Operacionais da Geração a Diesel .....	85
Tabela 4.15: Relação Custo/Potência da Geração a Diesel.....	86
Tabela 4.16: Custos Operacionais da Geração a Diesel .....	86
Tabela 4.17: Volume de Óleo Diesel Necessário para Potência de 10MW .....	88
Tabela 4.18: Custo do Combustível para Potência de 10MW .....	88
Tabela 4.19: Custo Total do Combustível .....	88
Tabela 4.20: Poluentes Gerados na Planta a Diesel .....	89
Tabela 4.21: Cronograma de Implantação da Geração a Diesel.....	90
Tabela 4.22: Parâmetros para Construção do Dique de Contenção.....	92
Tabela 4.23: Volume de Combustível Presente em cada Gerador .....	93
Tabela 4.24: Lista de Equipamentos na Geração a Diesel.....	94
Tabela 4.25: Custos de Investimento e Operação da Geração a Diesel.....	97
Tabela 4.26: Custo Final do Combustível.....	97
Tabela 4.27: Emissão de Poluentes por Ano na Geração a Diesel.....	97

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1: Áreas de plantação de cana-de-açúcar.....	9
Figura 1.2: Expansão da cana-de-açúcar.....	10
Figura 1.3: Processo de Produção de Energia.....	12
Figura 1.4: Representação Esquemática da Cana-de-Açúcar .....	16
Figura 1.5: Exemplos de Briquetes.....	18
Figura 1.6: Palha de Cana-de-Açúcar deixada no canavial .....	19
Figura 1.7: Participação das Energias renováveis no ano de 2011.....	23
Figura 3.1: Diagrama Esquemático das Etapas Antes do Leilão de Energia.....	65
Figura 4.1: Imagem de um Típico Container de Geração a Diesel .....	83
Figura 4.2: Curva de Derate do Gerador KTA50 a 60Hz .....	84
Figura 4.3: Site Layout de uma planta de 10MW.....	96

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b>	<b>2</b>
<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>2</b>
<b>CAPÍTULO 2: PERSPECTIVAS DA EXPANSÃO DA COGERAÇÃO A BIOMASSA</b>	<b>5</b>
2. CONTEXTUALIZAÇÃO	5
2.1. O SETOR SUCROALCOOLEIRO BRASILEIRO	8
2.1.1. CARACTERÍSTICAS DO PLANTIO DA CANA NO BRASIL	13
2.2. APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DA CANA-DE-AÇÚCAR	15
2.3. PERSPECTIVAS NA GERAÇÃO DE EXCEDENTES NA COGERAÇÃO	19
2.4. PROJETOS DE INCENTIVOS ÀS FONTES RENOVÁVEIS	22
2.4.1. INCENTIVOS INTERNACIONAIS AO USO DE BIOMASSA	25
2.5. IMPACTOS DA CULTURA CANAVIEIRA	26
<b>CAPÍTULO 3: O PROCESSO DE COGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA</b>	<b>34</b>
3. DEFINIÇÃO DE COGERAÇÃO	34
3.1. CICLOS DE COGERAÇÃO	37
3.1.1. CICLO DE RANKINE	37
3.1.2. CICLO DE BRAYTON	42
3.2. GASEIFICAÇÃO DA BIOMASSA	44
3.2.1. GASEIFICADORES DE LEITO FIXO	47
3.2.2. GASEIFICADOR DE LEITO FLUIDIZADO	49
3.3. CICLOS DE GERAÇÃO COM GASEIFICAÇÃO	50
3.4. CONEXÃO COM A REDE	52
3.5. GERAÇÃO DISTRIBUÍDA	54
<b>CAPÍTULO 4: COMPETITIVIDADE DA BIOMASSA EM RELAÇÃO ÀS DEMAIS FONTES</b>	<b>57</b>
4. CONTRATAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	57
4.1. LEILÃO DE FONTES DE ENERGIA ALTERNATIVA	60
4.1.1. LEILÃO DE RESERVA	62
4.1.2. LEILÕES DE ENERGIA NOVA	63
<b>CAPÍTULO 5: ESTUDO DE CASO – ESTUDO ECONÔMICO ENTRE A GERAÇÃO A BIOMASSA E A GERAÇÃO A DIESEL EM UMA INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA</b>	<b>69</b>
5. METODOLOGIA	70
5.1. HISTÓRICO DA USINA DE CATANDUVA	70
5.2. ANÁLISE ECONÔMICA - CUSTOS E RECEITAS	74
5.3. ANÁLISE OPERACIONAL	80
5.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE A USINA CATANDUVA	82
5.5. ANÁLISE ECONÔMICA DA GERAÇÃO À DIESEL	85
5.6. EMISSÕES DE POLUENTES	88
5.7. CRONOGRAMA DE IMPLANTAÇÃO	89
5.8. ANÁLISE OPERACIONAL	92
5.8. CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE A GERAÇÃO A DIESEL	97
5.9. COMPARAÇÃO DOS DOIS CENÁRIOS: BIOMASSA VERSUS DIESEL	98
<b>6. CONCLUSÃO</b>	<b>102</b>

## **CAPÍTULO 1**

### **INTRODUÇÃO**

O tema proposto à análise neste trabalho de fim de curso se refere à importância da inserção da cogeração utilizando o resíduo da cana-de-açúcar como forma complementar a geração hidrotérmica do país. A característica mais favorável para a segurança energética é a complementaridade da safra da cana-de-açúcar com o regime de chuvas na região Sudeste, onde se concentra a maior capacidade dos reservatórios brasileiros, pois a safra de cana-de-açúcar se concentra nos meses secos da região, onde os níveis de água dos reservatórios das hidrelétricas encontram-se baixos.

O presente estudo retrata a posição de destaque do Brasil no plantio da cana desde os séculos XVI e XVII, tornando-se o maior produtor de açúcar com destaque para os Estados da Bahia, Pernambuco e São Paulo. Hoje, a participação da cana-de-açúcar no cenário econômico está mais abrangente do que nos séculos passados, pois a mesma está se consolidando também nos setores de energia e combustível.

No segundo capítulo deste trabalho é explicada a classificação da cana-de-açúcar no grupo das biomassas, a inserção da cultura canavieira no Brasil, o período da safra e a sua complementação com o regime pluvial no Sudeste. Também são explorados a obtenção do bagaço como resíduo da indústria sucroalcooleira e seus impactos ambientais na utilização como matéria-prima na geração de energia.

O setor sucroalcooleiro tem ganhado espaço no mercado nacional e internacional por conta da importância da diversificação de fontes energéticas. Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB, a produção de cana-de-açúcar no país está em crescimento desde a safra de 1970/71, atingindo a maior produção da história do país na safra de 2010/2011 com 623.905 milhões de toneladas, se consolidando como o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo, além de ser responsável por mais da metade do açúcar comercializado no mundo. [1]

A cultura canavieira é a que mais facilmente poderá ampliar a participação da biomassa na matriz energética, considerando que o Brasil possui o solo e as características climáticas favoráveis para a produção da cana-de-açúcar ao longo de todo ano.

Para que a ampliação do uso do bagaço da cana-de-açúcar na matriz energética seja viável, o Brasil precisa enfrentar diversas barreiras a fim de conseguir aproveitar todo o potencial dessa fonte energética, como dificuldade de acesso à rede de distribuição, o limitado incentivo governamental as fontes alternativas, a baixa eficiência termodinâmica das plantas de cogeração a biomassa quando comparada com as demais, os custos relativamente altos de produção, transporte e a precariedade de informações do seu uso para fins energéticos.

Ainda no segundo capítulo deste trabalho são apresentados os incentivos governamentais a essas novas formas de geração de energia elétrica no país. Embora existam incentivos de aporte financeiro específicos para o setor, criados através do BNDES<sup>1</sup>, programas governamentais como o PROINFA<sup>2</sup> e menores taxas de impostos sobre as fontes consideradas alternativas, essas medidas ainda não foram suficientes para aumentar significativamente a oferta desse tipo de energia. A produção de energia elétrica a partir do bagaço da cana-de-açúcar embora seja um tema muito presente nos dias atuais, ainda representa uma parcela muito pequena na matriz brasileira de geração elétrica.

No terceiro capítulo é abordado o início da cogeração no país, seus benefícios para o Sistema Elétrico e seu uso na Geração Distribuída. São abordados os aspectos técnicos da conexão do autoprodutor à rede elétrica, as turbinas a vapor operando com ciclo de Rankine, o ciclo contrapressão e o ciclo de extração e condensação. Também é inserida a gaseificação da biomassa como uma alternativa de se obter eletricidade a partir do bagaço da cana. Para esse método são utilizadas turbinas a gás e no decorrer do capítulo são apresentados diferentes tipos de gaseificadores e ciclos termodinâmicos.

Segundo as projeções da Empresa de Pesquisa Energética - EPE no Plano Nacional de Energia 2030, o Brasil apresenta algumas vantagens quando comparado ao cenário econômico mundial, como sendo um mercado com elevado potencial de crescimento, potencial de energia renovável não aproveitado a baixos custos relativos e abundância de recursos naturais. De acordo com o Plano Decenal de Expansão de Energia – PDE 2021, o percentual da participação do conjunto das fontes renováveis

---

<sup>1</sup> Banco Nacional de Desenvolvimento Economico e Social

<sup>2</sup> Programa de Incentivo às Fontes Alternativas



crescerá a uma taxa média de 5,1% ao ano na matriz energética brasileira nos próximos dez anos.

Finalizando no quinto e último capítulo é realizado um estudo de caso com a Usina Catanduva, localizada no interior de São Paulo, onde foram considerados dois cenários de operação, um apresentando os custos de implantação e operação para geração de energia elétrica utilizando o bagaço da cana, enquanto no segundo foi considerado a contratação temporária de uma geração a diesel para operar no momento de safra de cana-de-açúcar e alimentar todo o processo produtivo de fabricação sucroalcooleira, sendo analisados a viabilidade e os destaques de cada um considerando os custos com O&M, o tempo de implantação e os impactos ambientais.

O objetivo principal desse trabalho é apresentar a cogeração utilizando o bagaço de cana-de-açúcar como uma alternativa confiável de complementação da geração hídrica do país. As barreiras técnicas, econômicas, legislativas e alguns preconceitos dos especialistas da área constituíram a motivação fundamental para a realização desse estudo. O desenvolvimento de novas tecnologias, como os avanços nos ciclos termodinâmicos, os avanços na gaseificação da biomassa e a criação de um leilão específico para fontes alternativas têm tornado a cogeração via cana-de-açúcar uma alternativa viável ao aumento da oferta de energia elétrica no país.

## **CAPÍTULO 2: PERSPECTIVAS DA EXPANSÃO DA COGERAÇÃO A BIOMASSA**

### **2. CONTEXTUALIZAÇÃO**

De acordo com o conceito abordado pelo CENBIO - Centro Nacional de Referência em Biomassa, a definição de biomassa no ponto de vista energético é: *“biomassa seria todo recurso renovável oriundo de matéria orgânica (de origem animal ou vegetal) que pode ser utilizado para produção de energia.”*

Devido à necessidade de encontrar novas formas de energia que sejam menos agressivas ao meio ambiente e mais sustentáveis, as pesquisas relacionadas a biomassa estão sendo cada vez mais incentivadas, principalmente em relação a aumentar a sua eficiência energética, pois a mesma vem sendo utilizada em sistemas de cogeração para áreas isoladas da rede elétrica.

De acordo com o CENBIO, a biomassa pode ser classificada em três grandes grupos: vegetais lenhosos, vegetais não lenhosos e resíduos orgânicos. Existem diversas classificações diferentes desta, pois alguns autores as classificam considerando a tecnologia empregada para o seu uso, ou a finalidade energética, ou até mesmo a forma com que a mesma é extraída na natureza.

Os vegetais lenhosos são conhecidos popularmente como madeira e foram a primeira fonte energética utilizada pelo Homem para a obtenção do fogo. A lenha pode ser obtida através do extrativismo vegetal de regiões reflorestadas ou de mata nativa. A falta de preocupação com a exploração de forma sustentável ocasionou a devastação de grandes coberturas florestais, causando a degradação do solo, alteração do regime de chuvas, desertificação e outras alterações ecológicas.

Uma das maneiras de minimizar os estragos causados pela exploração irresponsável é o crescimento de áreas de reflorestamento, sendo o eucalipto a principal destinada a esse fim, e plantações para fins energéticos. As de fim energético têm como objetivo o maior número de árvores por hectare, tendo como finalidade somente a produção de um maior volume de biomassa em um curto espaço de tempo, enquanto o reflorestamento tem como objetivo a sustentabilidade agrícola e ecológica.

De acordo com o CERPCH – Centro Nacional de Referência em Pequenas Centrais Hidrelétricas cerca de 40% da lenha produzida no Brasil é transformada em carvão vegetal. O carvão vegetal é oriundo da queima da madeira em fornos que atingem uma temperatura média de 500°C. O Brasil tem uma posição de destaque nessa fonte de energia, consagrando-se como o maior produtor mundial desse insumo energético. Cerca de 30% desse carvão é obtido de reflorestamento e cerca de 70% é obtido do desmatamento de áreas em Minas Gerais, Bahia, Pará e Maranhão. [2]

Já os vegetais não lenhosos apresentam maior umidade em relação aos vegetais lenhosos e ainda apresentam cinco subdivisões, sendo a cana-de-açúcar classificada no subgrupo dos sacarídeos. A cana-de-açúcar, objeto de estudo deste trabalho, é originária da Ásia e foi introduzida na América por Cristóvão Colombo. Devido à sua importância histórica, a cana é um dos principais produtos agrícolas do Brasil, sendo a mesma a principal fonte de biomassa energética do país. A cana-de-açúcar será abordada com mais detalhes no decorrer deste trabalho. Além do subgrupo dos sacarídeos ainda existem os celulósicos, amiláceos, aquáticos e as oleaginosas.

O último grupo de classificação da biomassa é conhecido como resíduos orgânicos. Os resíduos orgânicos podem ter origem agropecuária, urbana ou agroindustrial. Os rejeitos da agropecuária são basicamente os dejetos dos animais, que podem servir para a produção de biogás através da digestão anaeróbica em biodigestores. Os resíduos urbanos são oriundos dos ambientes domésticos e comerciais, sendo compostos por matéria orgânica, como restos de alimentos e matérias inorgânicas. Os agroindustriais normalmente possuem um valor energético associado a ele, possibilitando seu aproveitamento na geração de vapor ou eletricidade, como é o caso do bagaço da cana, fonte de estudo deste trabalho. Segundo pesquisa realizada pelo IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada a cana-de-açúcar é a cultura que mais gera resíduos no país.

Um grande desafio de fontes energéticas como a biomassa é a expansão controlada da indústria canavieira para que não haja a degradação nos ecossistemas como Cerrado, Pantanal, Mata Atlântica e a Amazônia. Caso essa expansão ocorra de forma desordenada as consequências podem alterar todo o ecossistema da região. Além disso, a recolha e o transporte da biomassa até a usina são feitos com combustíveis fósseis, desequilibrando a neutralidade de emissões de gás carbônico, podendo ser

substituído por biocombustível ao invés de derivados de petróleo, aumentando ainda mais a sustentabilidade.

O Brasil, para conseguir se inserir de forma significativa no setor de fontes renováveis necessita de uma política efetiva de incentivo industrial e de incentivo do uso comercial dessas fontes. A expansão energética deve ser feita de forma planejada, de forma a garantir o abastecimento e com grande participação de fontes renováveis. A geração elétrica brasileira provém majoritariamente de hidrelétricas, ou seja, depende do regime hídrico do local onde estão instaladas as usinas.

Para diminuir a dependência do sistema elétrico com o regime hídrico são utilizados reservatórios de armazenamento de água e participação de centrais térmicas nos períodos mais secos. Nos períodos mais críticos de ausência de chuva, o acionamento das usinas térmicas encarece o preço da energia e aumenta a poluição, pois os combustíveis utilizados nas termoelétricas em uma grande maioria são combustíveis fósseis.

A concentração das principais centrais hidrelétricas em localidades próximas ocasiona ciclos hidrológicos semelhantes entre elas, aumentando a dependência dos reservatórios. Porém, devido aos impactos socioambientais, as usinas mais novas estão sendo construídas a fio d'água, ou seja, sem reservatórios, para diminuir a inundação de terras vizinhas ao leito do rio e minimizar os impactos no ecossistema. Em contrapartida, essa atitude fragiliza a regularidade de fornecimento de energia, pois sua geração sofre grande variação em função da vazão de água do rio ao longo do ano, diminuindo a produção no período de estiagem, enquanto as com reservatórios propiciam um maior controle das cheias dos rios.

Devido à predominância de fontes hidrelétricas na matriz brasileira, cerca de 70% de acordo com os dados da EPE, o Brasil recebe uma posição de destaque quando comparado aos demais países pela predominância de fontes renováveis na sua matriz. O aumento da participação de fontes consideradas alternativas, como eólica, biomassa e PCH's (Pequenas Centrais Hidrelétricas), aumenta a confiabilidade do sistema e reduz a emissão de gases poluentes.

A biomassa de cana-de-açúcar se destaca das demais fontes energética em relação aos gases poluentes emitidos na atmosfera, pois o CO<sub>2</sub> emitido na queima do

combustível nas caldeiras é absorvido pela própria plantação de cana-de-açúcar, que o utiliza durante o seu crescimento vegetativo. Mas como não é emitido somente CO<sub>2</sub> quando a biomassa é queimada nas caldeiras, devemos nos preocupar com as emissões de outros poluentes, como óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), hidrocarbonetos não queimados e materiais particulados. O óxido de nitrogênio, por exemplo, é um dos principais causadores da chuva ácida, necessitando-se assim ter um controle dos gases que estamos emitindo na atmosfera.

## **2.1. O SETOR SUCROALCOOLEIRO BRASILEIRO**

O cultivo da cana foi introduzido no Brasil no período colonial devido a necessidade dos portugueses em colonizar um território até então sem muita importância econômica para Portugal. A escolha do produto agrícola se deve a diversos fatores, entre eles, a existência do solo de massapê<sup>3</sup> no Brasil, a experiência dos portugueses com esse produto e a grande aceitação do produto pela Europa.

Inicialmente, a monocultura canavieira limitou-se às regiões litorâneas ou próximas do litoral devido aos baixos recursos tecnológicos, humanos e de logística para a produção e exportação de açúcar, com destaque para as capitanias de São Vicente e Pernambuco. Atualmente, a maioria dos estados brasileiros produz cana-de-açúcar, mas o Estado de São Paulo é responsável por 60% da produção nacional, além de desenvolver o maior número de pesquisa na produção de bioenergia. [3]

A década de 70 foi uma época importante para a agroindústria canavieira, pois foram criados três programas de incentivo ao cultivo de cana-de-açúcar: Programa de Racionalização da Indústria Açucareira; Programa de Apoio à Indústria Açucareira; Programa de Melhoramento da Cana-de-Açúcar. Em 1973, ocorreu a Crise do Petróleo, triplicando o preço do produto no ano seguinte. Em 1975, o Governo Federal criou o “Projeto Proálcool” que tinha como um dos objetivos diminuir a importação de petróleo. Quatro anos após a criação do Proálcool o número de usinas de açúcar permaneceu praticamente estagnada, mudando de 206 unidades para 203, enquanto o número de destilarias aumentaram em 166 unidades, a maioria produtora de etanol a partir da cana-de-açúcar.[4]

---

<sup>3</sup> Massapê é um tipo de solo encontrado principalmente no litoral do Nordeste brasileiro indicado para agricultura

O preço do barril de petróleo cresceu exponencialmente, resultando na criação da segunda fase do Proálcool. Nesta segunda fase, a produção de etanol no Brasil cresceu significativamente, resultando nos primeiros 10 anos do programa um crescimento de 35% ao ano, representada na Tabela 1.1. [5]

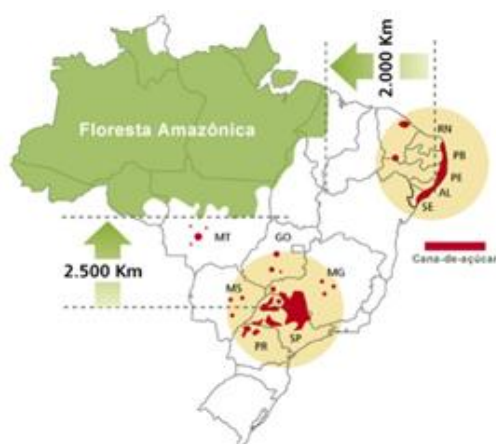
**Tabela 1.1: Preço do Barril de Petróleo**

Fonte: O mundo contemporâneo [6]

Anos	Valor do barril (US\$)	Anos	Valor do barril (US\$)
1950	1,75	1978	12,70
1970	1,80	1979	13,34
1973	2,18	1980	26,00
1974	10,84	1981-82	34,00

Na década de 80, o Brasil já se consagrava como o segundo maior exportador de açúcar do mundo, precedido apenas por Cuba. O final desta década foi marcada pela terceira fase do Proálcool, e diferentemente da anterior, não foi bem sucedida. Nesta fase houve um desinteresse do Governo Federal em continuar a expansão do programa, limitando-se apenas a 3% dos investimentos totais no programa e a queda no preço do petróleo no mercado internacional.

Conforme publicado pela UNICA - União da Indústria de Cana-de-Açúcar, as áreas que se destinam a plantações e usinas produtoras de açúcar e etanol estão representadas em vermelho no gráfico abaixo segundo os dados do IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas e CTC – Centro de Tecnologia Canavieira



**Figura 1.1: Áreas de plantação de cana-de-açúcar**

Fonte: Portal ÚNICA

A maior área de cultivo de cana-de-açúcar é a região Centro-Sul, representando de acordo com a CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento, cerca de 90% da produção nacional de açúcar, e o volume acumulado de cana-de-açúcar processado nessa região de 31 de dezembro de 2012 até o início da safra 2012/2013 (segunda quinzena de fevereiro) foi de 531,35 milhões de toneladas.

Na Figura 1.2, consegue-se perceber a expansão do cultivo de cana-de-açúcar na região Centro-Sul, quando comparada a safra de 2003/2004 com a atual safra de 2012/2013.



**Figura 1.2: Expansão da cana-de-açúcar**

Fonte: Portal UNICA

O período de safra na região Centro-Sul ocorre de abril a novembro, coincidindo com o período seco na região, onde localiza-se a maioria dos reservatórios brasileiros. [7]

Existem diversos agentes interessados em financiar o desenvolvimento e a pesquisa sobre o cultivo da cana. Os principais financiadores são o BNDES, Banco do Brasil, BID - Banco Interamericano de Desenvolvimento, FIESP<sup>4</sup>, FAPESP<sup>5</sup>, dentre outros, sendo o BNDES o mais ativo no setor sucroalcooleiro.

O principal destino de produção de cana no Brasil é para fabricação de açúcar e álcool. O bagaço da cana é o resíduo da moagem da cana-de açúcar e a proporção

<sup>4</sup> Federação das Indústrias do Estado de São Paulo

<sup>5</sup> Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo

dele depende do tipo de cana utilizada. O mesmo, além da geração de energia ainda pode ser utilizado na ração animal, em fertilizantes e na indústria química em geral. Com o aumento da mecanização no campo devido às pressões ambientais contra o método de queimada, a quantidade de palha nos canaviais cresce significativamente a cada ano, podendo também ser utilizada nas caldeiras das usinas junto com o bagaço para aumentar a eficiência da planta.

A combustão do bagaço da cana-de-açúcar para geração de energia pode garantir auto-suficiência elétrica para os empreendedores do setor, dependendo da quantidade de cana processada, além de se tratar de uma forma descentralizada de geração, próxima aos centros de carga, reduzindo os custos com transmissão e distribuição de energia, utilizando um combustível 100% nacional que não contribui para o efeito estufa. Sendo um combustível nacional, encontra-se imune às variações internacionais do petróleo e do dólar.

O processo de corte, transporte e moagem da cana-de-açúcar é um processo muito importante, pois a cana está sujeita a fácil deterioração. Esse processo é realizado da maneira mais rápida possível. Caso a colheita seja realizada de forma mecanizada, as colhedoras funcionam 22 horas por dia, enquanto na colheita manual um adicional é colhido diariamente para que a usina funcione sem interrupção. Antes o canavial era queimado para facilitar a retirada da cana-de-açúcar e para a limpeza do terreno. Hoje, a cana é retirada sem a queima por uma “colheitadeira”, preservando a palha. A cana deve ser moída até 72h depois do corte, caso contrário ocorre a infestação de fungos e bactérias e perda de parte da sacarose.

Antes da moagem é feita uma limpeza para retirada de terra devido as impurezas da lavoura. Após a limpeza, a cana passa por picadores e desfibradores que trituram os colmos. Abrem-se as células da cana, mas sem a perda do caldo. Depois desse preparo a cana desfibrada é levada à moenda.

Na moenda ela passa por rolos para a retirada do caldo. Esses rolos exercem uma pressão de aproximadamente 250 kg/cm<sup>2</sup>. Esse processo é repetido diversas vezes com o acréscimo de água. A água serve para diluir o açúcar da cana, com isso consegue-se uma maior eficiência de extração. Extrai-se cerca de 96% do açúcar contido na cana. [8]



O bagaço que sai da moenda representa 25% do peso da cana. Ele é transportado para as caldeiras onde é queimado para gerar vapor. Esse vapor é direcionado para as turbinas que acionarão os geradores da usina, mas dependendo da configuração esse vapor pode também ser direcionado para alimentar outras turbinas, como por exemplo, as responsáveis pelos picadores, moendas, desfibradores e etc. Em relação aos aspectos ambientais, as cinzas produzidas pela queima do bagaço de cana-de-açúcar são menos agressivas ao meio ambiente que as demais cinzas oriundas de combustíveis fósseis.

O vapor de saída dessas turbinas pode ser utilizado para a geração de calor no processo de fabricação de açúcar e álcool. O caldo extraído da moenda precisa passar por um processo de clarificação para a retirada dos sólidos em suspensão, para assim poder ser empregado para a produção de açúcar ou álcool. O bagaço ainda pode ser vendido para outras indústrias, pois o mesmo é o combustível para todo o processo de produção.

O setor sucroalcooleiro é 100% privado. Os maiores grupos produtores de açúcar e álcool são: Balbo, Carlos Lyra, Copersucar, Cosan, Crystalsev, Zillores, Guarani e Irmãos Biaggi. Entre eles, o maior grupo é o Cosan. Além desses grupos, outros como Brenco, Infinity, ETH (Oderbrecht), Bunge, Abengoa Bioenergia, dentre outros, têm demonstrado interesse na indústria canavieira.



**Figura 1.3: Processo de Produção de Energia**

Fonte: EPE

De acordo com o BIG – Banco de Informações de Geração da ANEEL, no ano de 2013 existem 364 usinas em operação no país que utilizam a biomassa de cana-de-açúcar.

**Tabela 1.2: Quantidades de Usinas no Brasil de acordo com a fonte energética**

Fonte: BIG ANEEL

Empreendimentos em Operação							
Tipo		Capacidade Instalada			Total		
		Nº de usinas	(kW)	%	Nº de Usinas	(kW)	%
Hidro		1047	84.535.689	64,62	1047	84.535.689	64,62
Gás	Natural	108	11.832.030	9,05	147	13.515.693	10,33
	Processo	39	1.683.663	1,29			
Petróleo	Óleo Diesel	996	3.466.701	2,65	1030	7.717.348	5,90
	Óleo residual	34	4.250.647	3,25			
Biomassa	Bagaço de cana	364	8.487.612	6,49	450	10.223.800	7,82
	Licor Negro	14	1.246.222	0,95			
	Madeira	45	379.235	0,29			
	Biogás	18	74.298	0,06			
	Casca de Arroz	9	36.433	0,03			
Nuclear		2	2.007.000	1,53	2	2.007.000	1,53
Carvão Mineral	Carvão Mineral	12	2.664.328	2,04	12	2.664.328	2,04
Eólica		90	1.964.538	1,50	90	1.964.538	1,50

### 2.1.1. CARACTERÍSTICAS DO PLANTIO DA CANA NO BRASIL

A cana utilizada na indústria tem um período de crescimento em torno de 18 meses, sendo chamada de cana de um ano e meio, embora o corte não aconteça em um ano e meio. A região Centro-Sul é a região mais adequada para o plantio da cana-de-açúcar devido aos aspectos geográficos, pois apresenta durante o período de crescimento da cana uma grande quantidade de água e sol, e apresenta uma diminuição dos mesmos na época de fixação da sacarose. Deve-se evitar a perda de sacarose colhendo a cana no momento exato de maturação. O período adequado para o plantio nessa região acontece de janeiro a março, ocorrendo o corte em maio do ano seguinte.[7] [9] [10]

Nessa forma de plantio de 18 meses é necessário deixar a terra descansar após a última colheita. Isso pode ser feito através do plantio de alguma leguminosa que ajude a nitrogenar o solo para reciclar os nutrientes.

Na região Centro-Sul são realizadas cerca de 5 a 7 cortes, sendo depois disso necessário arar a terra para iniciar um novo cultivo da planta. Para evitar a paralização da usina o canavial é reformado cerca de 16% a 20% a cada ano. As colheitas da cana ocorrem anualmente de maio a novembro. A primeira colheita é chamada de “soca”, as demais são chamadas de “ressocas”. Já na Região Norte-Nordeste a época do plantio acontece de maio a julho. Para evitar a proliferação de pragas e doenças é comum o cultivo de diversas variedades em um mesmo canavial.

O tempo de estocagem da biomassa influencia nas propriedades físicas e químicas da mesma, influenciando assim, nos custos operacionais da geração de energia. A estocagem é influenciada por diversos fatores, como o local onde a biomassa é armazenada, a época do ano, alterações climáticas, o tipo da composição da biomassa, dentre outros.

O tempo de estocagem da biomassa deve ser suficiente para reduzir o teor de umidade do bagaço da cana-de-açúcar, sem ocasionar a perda de massa seca, pois essa última é responsável pela geração de energia. O objetivo é conseguir a menor umidade com pouca perda de massa seca, no menor tempo possível.

A maior parte da secagem acontece nos primeiros meses de estocagem, porém, se o período de estocagem se estender além de um período pré-definido, a umidade das palhas aumenta devido a quebra da estrutura lignocelulósica.

O principal efeito da umidade na biomassa é a perda do poder calorífico do combustível, diminuindo a quantidade de energia gerada pelo mesmo. A usina pode ter o seu próprio plantio ou comprar de terceiros. O preço da cana-de-açúcar é estipulado pelo Consecana. A expectativa para a safra 2012/2013 é de crescimento de 6,2% em relação a safra de 2011/2012, indo para 595,36 milhões de toneladas.

A cultura canvieira ocupa hoje a terceira maior área de plantio no Brasil, sendo precedida apenas pela soja e em seguida pelo milho. O Brasil vem se destacando no cenário mundial em biocombustíveis, pois hoje ocupa a segunda posição como maior

produtor de etanol no mundo. O primeiro lugar é ocupado pelos Estados Unidos cuja produção é baseada no milho com um *FER* de 1,4. Embora os Estados Unidos ocupem o primeiro lugar no ranking, o etanol brasileiro é mais competitivo, possuindo um *FER* de 8,3. [11]

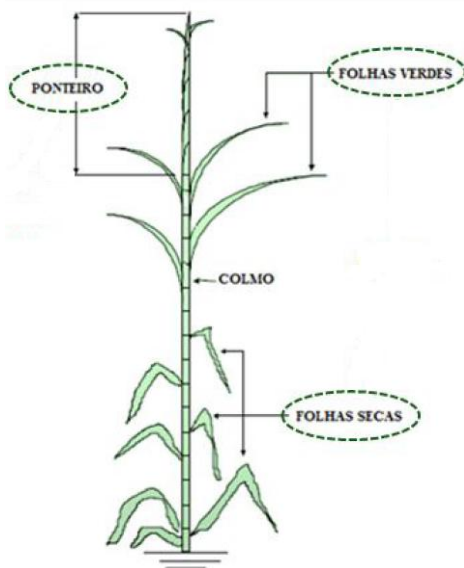
O *FER* - “Fóssil Energy Ratio” é a razão entre a energia contida no etanol e a energia de origem fóssil empregada para produzi-lo, como o diesel utilizado nos tratores, fertilizantes e etc. Ou seja, são produzidos cerca de 8 barris de energia renovável para cada barril de energia não-renovável utilizada como insumo. Nos Estados Unidos o etanol é produzido a partir do milho e possui um *FER* de 1,2, cerca de 7 vezes menos eficiente que a cana-de-açúcar.

Cada tonelada de cana-de-açúcar moída, ou seja depois da extração do caldo, rende cerca de 250 Kg de bagaço. Em média a composição do bagaço é 50% umidade, 48% de fibras e 2% de sólidos solúveis. Para se ter uma referência, 1 barril de petróleo tem  $1386 \times 10^3$  Kcal. Ou seja, 1 ton cana = 1,2 barris de petróleo em termos energéticos. [12] [13]

## **2.2. APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DA CANA-DE-AÇÚCAR**

A cana-de-açúcar é composta pelo colmo, folhas e ponteiro. Denomina-se “palha da cana” toda a planta menos os colmos, ou seja, a palha é composta por folhas e ponteiros. O colmo é utilizado pelas usinas sucroalcooleiras para a extração do caldo. Durante muitos anos o bagaço, subproduto da obtenção do caldo, foi descartado e utilizado como lixo pelos usineiros, mas desde a década de 80 o mesmo vem adquirindo maior importância, sendo usado como fertilizante agrícola, matéria prima para a indústria do papel, insumo energético, dentre outros.

Devido à prática usual da queima da cana antes da colheita, as palhas nunca foram utilizadas pelas indústrias. Esta prática de queimada vem sofrendo restrições e até mesmo proibições devido ao forte impacto ambiental. Atualmente vem se empregando o uso da palha da cana-de-açúcar como combustível adicional ao bagaço de forma a aumentar a geração energética da usina.



**Figura 1.4: Representação Esquemática da Cana-de-Açúcar**

Fonte: [26] (Figura modificada pela autora)

Os principais entraves no uso do bagaço como fonte energética se devem à baixa densidade energética, alta umidade quando in natura, difícil armazenamento, ser poluente, pois a decomposição do bagaço da cana gera metano na atmosfera, gás extremamente poluente, e transporte caro.

“Briquetagem” é um processo industrial no qual se compacta por pressão externa a matéria prima de forma a se obter um produto único de menor tamanho, alta resistência mecânica, alta densidade e alto poder calorífico. Os produtos após esse processo recebem o nome de “briquetes”.

Com esse processo o valor comercial agregado ao produto aumenta, pois o bagaço que possui aproximadamente um poder calorífico de 1800 Kcal/kg passa a ter 4700 Kcal/kg. A “briquetagem” ainda é pouco conhecida e empregada no Brasil. A técnica consiste em triturar e compactar a biomassa a altas pressões e temperatura, em torno de 100°C. O processo se divide basicamente em quatro etapas como: obtenção da matéria-prima, peneiramento, secagem e compactação. [15]

Além das vantagens econômicas, também há a facilidade no manuseio e transporte do mesmo, devido a redução do volume do material comprimido e a uniformização dos tamanhos dos briquetes. Para se conseguir um aumento da resistência mecânica nos briquetes, após a sua formação os mesmos são aquecidos e resfriados lentamente com uma velocidade controlada durante o processo de resfriamento.

Para se otimizar a produção de briquetes, o bagaço da cana deve ser previamente seco até aproximadamente 15% de umidade. Caso essa umidade seja inferior a 12% há uma dificuldade de operação por parte das máquinas e o resultado não é o desejado, pois o briquete se torna quebradiço, dificultando o manuseio. Caso a umidade do bagaço esteja acima de 20% os briquetes desintegram-se logo após a compactação.[15]

Existe também a possibilidade de se trabalhar com briquetes compostos, sendo esses produzidos a partir de mais de um tipo de subproduto. A vantagem do briquete composto é o direcionamento que pode ser dado às suas características de acordo com a finalidade do produto, além de se estabelecer uma menor dependência com um único produto, tornando-se mais viável em épocas de escassez de determinado componente. O processo de produção é basicamente o mesmo dos briquetes simples, exceto pela inclusão de uma mistura das matérias-primas. Em relação à cana-de-açúcar, o briquete composto é composto por bagaço e palha de cana.

De acordo com os dados da UNICA – União da Indústria de Cana-de-Açúcar, a safra de cana-de-açúcar no ano de 2011/2012 atingiu 493.159 mil toneladas, ou seja, o Brasil apresenta um grande potencial para o aproveitamento mais racional dessa forma de energia.

O briquete é um produto 100% reciclado, aumenta a eficiência da produção, facilita o transporte entre o canavial e a usina, gera pouca fumaça e ocupa menos espaço que o armazenamento do bagaço “in natura”, podendo ser estocado até 24 meses, constituindo-se em uma excelente forma de se obter, armazenar e transportar o bagaço da cana-de-açúcar.[15]

A precaução que deve ser tomada em relação ao armazenamento dos briquetes é evitar locais úmidos, pois o briquete pode perder a sua utilidade. O briquete pode ser queimado em qualquer caldeira, não sendo necessário nenhum equipamento diferenciado, podendo ser utilizado em pizzarias, padarias, aquecedores, dentre outros estabelecimentos.



**Figura 1.5: Exemplos de Briquetes**

Fonte: [15]

Torna-se relevante salientar que há alguns anos o setor sucroalcooleiro ignorava a possibilidade de aproveitamento do bagaço na geração, comprando energia da concessionária local e usando o óleo diesel como combustível. Hoje, não somente o bagaço apresenta uma boa opção de aproveitamento, mas a palha da cana-de-açúcar também tem apresentado grande potencial na geração de energia elétrica.

Com o aumento da mecanização na colheita e a eliminação das queimadas nos canaviais há um aumento significativo de palha de cana-de-açúcar nas lavouras. O ideal é a sua utilização juntamente com o bagaço da cana, permitindo um aumento de energia gerada. De acordo com a UNICA, se o setor sucroalcooleiro atingir 1 bilhão de toneladas de cana em 2020, como está previsto pelos cálculos da entidade, e aproveitar 50% da palha e 75% do bagaço para gerar energia excedente, teríamos um potencial de geração de 28.000MW. [16]

A maior dificuldade por enquanto está no tamanho das palhas, pois apresentam um tamanho grande e com fibras longas, não podendo ser queimadas nas caldeiras tradicionais. Uma solução é o uso de um picador de palhas, um rotor com facas, que diminui o tamanho da palha para que possa ser usada juntamente com o bagaço nas caldeiras convencionais. [16]



**Figura 1.6: Palha de Cana-de-Açúcar deixada no canavial**

Fonte: SILONI, João. [17]

### **2.3.PERSPECTIVAS NA GERAÇÃO DE EXCEDENTES NA COGERAÇÃO**

A geração de energia elétrica é de fundamental importância no desenvolvimento econômico dos países em desenvolvimento. O Brasil, especificamente, possui algumas vantagens quando comparado aos demais devido à possibilidade de planejar sua matriz energética com o uso majoritário de fontes renováveis. Embora o Brasil lidere o setor sucroalcooleiro desde a época colonial, o uso do bagaço da cana não é utilizado em todo o seu potencial energético para a comercialização de energia.

No Plano Decenal de Energia 2021, percebe-se que a matriz elétrica brasileira é fundamentada principalmente em duas fontes primárias de energia: Hidroeletricidade e combustíveis fósseis. No mesmo relatório, as projeções indicam a importância dessas fontes na atual estrutura do setor elétrico e a grande participação das mesmas nos próximos anos. Porém, é destacada a necessidade da implementação de uma política que busque ampliar a confiabilidade na oferta de energia. Um dos destaques da bioeletricidade sucroalcooleira em relação as demais fontes renováveis de energia é a utilização do resíduo da produção de álcool e açúcar como combustível.

*“[...] o potencial técnico de produção para o SIN de energia elétrica a partir da biomassa de cana-de-açúcar, considerando apenas o bagaço, deve superar os 10 GW médios até 2021, dos quais cerca de 1,4 GW médio já contratado nos leilões e com início de suprimento até 2016. O potencial desta fonte está localizado principalmente nos estados de SP, GO, MS e PR, portanto próximo dos maiores centros consumidores de energia.” (Plano Decenal de Energia 2021 – EPE)*



Há também uma complementariedade entre a energia gerada a partir da biomassa de cana-de-açúcar com a energia gerada pelas hidrelétricas na região Sudeste, onde se concentra a maior capacidade dos reservatórios brasileiros. O regime de chuvas nessas regiões se concentra entre novembro e abril, sendo reduzido nos demais meses do ano os índices de água nos reservatórios das hidrelétricas, diminuindo a produção de eletricidade e obrigando o acionamento de usinas termoelétricas movidas a combustíveis fósseis. Na cultura canavieira a safra da região Sudeste ocorre entre abril e novembro, coincidindo no período de seca da região, demonstrando estrategicamente a importância da cogeração a partir do bagaço da cana no setor elétrico. [18]

*“Em 2012, a energia elétrica gerada a partir do bagaço e da palha de cana de açúcar totalizou aproximadamente 1.400 MW médios fornecidos para o Sistema Interligado Nacional (SIN), representando um crescimento de mais de 20% em relação a 2011, de acordo com o Ministério de Minas e Energia. Essa geração fornecida à rede seria equivalente a poupar 6% da água nos reservatórios da Região Sudeste e Centro-Oeste no período seco e crítico para o sistema.(Portal ÚNICA, BIOELETRICIDADE DA CANA POUPA 6% DA ÁGUA EM RESERVATÓRIOS EM 2012, 22/04/13)*

*“A indústria sucroenergética é autossuficiente em energia elétrica durante a safra, portanto ela não precisa adquirir energia elétrica nesse período. Se somarmos a geração para o consumo próprio e contabilizarmos como uma compra evitada junto ao SIN, a bioeletricidade sucroenergética no ano passado seria equivalente à economia total de 12% da água nos reservatórios da Região Sudeste e Centro-Oeste durante o período seco,” (Zilmar de Souza, Gerente em Bioeletricidade da União da Indústria de Cana-de-Açúcar (UNICA))*

Na dissertação [19], foi elaborado um formulário das usinas sucroalcooleiras do Estado de São Paulo no período de dezembro de 2005 a maio de 2006. Foram escolhidas 22 usinas, representando cerca de 15% das usinas presentes no Estado de São Paulo na época da pesquisa<sup>6</sup>. As usinas escolhidas tiveram na safra de 2005/2006 uma produção entre 430 mil e 7,1 milhões de toneladas de cana-de-açúcar

---

<sup>6</sup> De acordo com a ÚNICA existiam 144 usinas em operação no momento da pesquisa

processada e um número de colaboradores atuando na área industrial entre 150 e 850, compreendendo usinas de pequeno e grande porte.

Como resultado da pesquisa, a maioria das usinas declarou que eliminam o bagaço da cana-de-açúcar através da queima e utiliza a venda do excedente como forma de renda adicional. Apenas uma minoria não utilizava a venda do excedente como uma fonte de renda adicional, mas também não considerava o bagaço gerado na produção de açúcar um problema adicional, pois conseguem facilmente descartá-lo, vendendo ou simplesmente queimando, sem a necessidade de fazerem novos investimentos.

No âmbito da comercialização da energia elétrica, por 41% das usinas pesquisadas já realizavam a comercialização, sendo que 73% delas afirmaram que a atividade é considerada como uma oportunidade de novos negócios para a empresa e as demais consideram somente como uma forma de reduzir seus gastos.

Nota-se também que os clientes da venda de energia elétrica dessas usinas são as concessionárias de energia locais, onde encontram-se instaladas essas usinas, sendo somente duas entre as pesquisadas que fazem parte do PROINFA, vendendo portando a energia gerada para a Eletrobrás, e não para concessionária local<sup>7</sup>.

*“A venda realizada apenas para as concessionárias locais e para a ELETROBRÁS demonstra que o fornecimento de energia elétrica diretamente aos consumidores finais, como previsto no “Novo Modelo do Setor Elétrico”, instituído pelo Ministério das Minas e Energia no ano de 2003, na prática, ainda não se concretizou entre as usinas pesquisadas, pois a maioria está comercializando energia elétrica apenas em âmbito local. Este fato provavelmente está relacionado com o pequeno período em que esta atividade está regulamentada. Acredita-se que no futuro as vantagens oferecidas por este novo modelo serão melhor aproveitadas pelos produtores.”*  
(MENEGUELLO, Luiz Augusto. O setor sucroalcooleiro e a utilização da biomassa da cana-de-açúcar como fonte alternativa de energia)

Diante das projeções positivas para a expansão de usinas a biomassa, 68% indicaram interesse em comercializar a energia excedente, sendo que metade desse número já comercializava essa produção, e dos interessados, 59% tinham a intenção de fazer

---

<sup>7</sup> As usinas do PROINFA são comprometidas em vender a energia gerada somente para a Eletrobras

investimentos imediatos para aumentar a sua capacidade de geração. Os que optaram por não fazer investimentos imediatos alegaram o alto investimento como motivo central da falta de interesse ou a preferência por manter o foco da empresa na produção de açúcar e álcool.

Com exceção das duas usinas que já participam do PROINFA, as demais não tem interesse em participar devido ao baixo preço oferecido pelo MWh. Em contrapartida, 45% das usinas pesquisadas já participam do Mercado de Créditos de Carbono estabelecido pelo Protocolo de Quioto e as que ainda não participam, 50% delas tem interesse em participar futuramente. Ou seja, o Mercado de Créditos de Carbono está sendo encarado pelos empreendedores como mais uma oportunidade de fonte de renda.

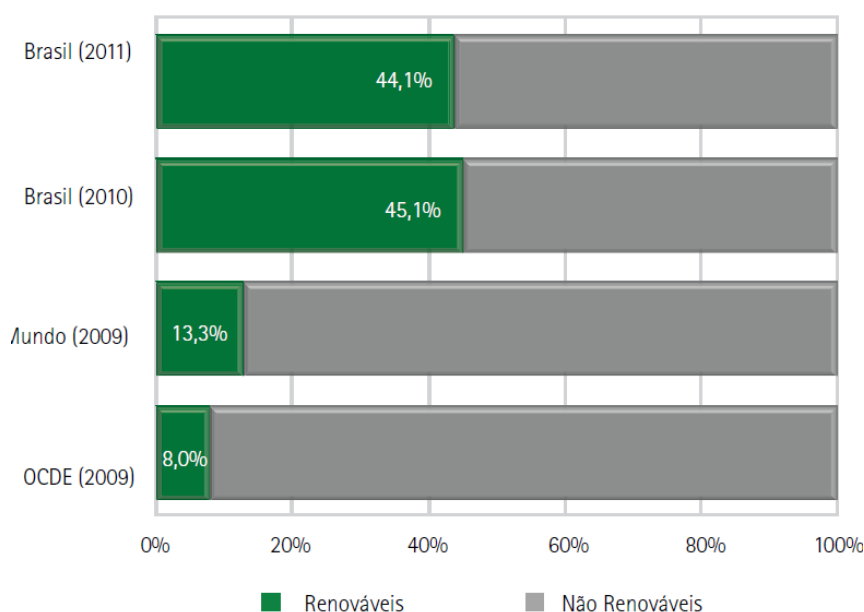
#### **2.4. PROJETOS DE INCENTIVOS ÀS FONTES RENOVÁVEIS**

No Brasil, a primeira iniciativa para o uso da biomassa foi com a Copener Energética S.A., próximo a Salvador - Bahia. A empresa foi criada em 1980 com o intuito de produzir eletricidade a partir da madeira de eucalipto para atender a demanda do complexo petroquímico da Petrobrás em Camaçari. Porém, com a redução dos preços do petróleo a empresa modificou os seus objetivos.

Em 1991, com o desenvolvimento da gaseificação da biomassa foi criado o Projeto Sigame - Sistema Integrado de Gaseificação de Madeira para Produção de Eletricidade, com a participação da empresa Companhia Hidrelétrica do São Francisco (CHESF) e do Banco Mundial. O objetivo do projeto era mostrar a viabilidade técnica e comercial do uso da biomassa para geração de eletricidade. A unidade seria implantada no município de Mucuri – Bahia, mas antes de se iniciar a construção o projeto foi paralisado pela dificuldade de enquadrá-lo no modelo do setor elétrico da época e pelo preconceito com as unidades de geração de pequeno porte.

O Brasil detém uma posição de liderança na geração de energia limpa comparado com os demais países. No ano de 2011, houve uma redução na participação das energias renováveis na matriz energética brasileira devido a diminuição da oferta de biomassa (safra diminuiu 9,8%). A queda no consumo da biomassa foi compensada com o aumento do consumo de petróleo e energia hidráulica. Mesmo assim, o Brasil

conseguiu manter um patamar elevado comparado ao restante do mundo com 44,1% de participação de renováveis. [20]



**Figura 1.7: Participação das Energias renováveis no ano de 2011**

Fonte: Balanço Energético Nacional 2012 – EPE

Embora a participação de fontes renováveis tenha diminuído na matriz energética brasileira, a participação da mesma na matriz elétrica atingiu 88,8%, considerando a participação das hidrelétricas. Em 2011, a demanda de energia interna do país aumentou 1,3% em relação a 2010, enquanto o PIB - Produto Interno Bruto expandiu 2,7% de acordo com o IBGE. Isso significa que a economia brasileira economizou energia elétrica, mas o consumo de energia per capita aumentou 0,5% do ano de 2010 para o ano de 2011. [20]

**Tabela 1.3: Participação das Fontes Renováveis**

Fonte: Balanço Energético Nacional 2012 [20]

Fonte	2011 (Mtep)	2010 (Mtep)
Renováveis	120,1	121,2
Energia hidráulica e eletricidade	39,9	37,7
Biomassa da cana	42,8	47,1
Biomassa tradicional	26,3	26,0
Outras renováveis	11,1	10,4
Não Renováveis	152,2	147,6

O Proinfa, o maior programa de incentivos às fontes renováveis, foi criado em abril de 2002 e previa a operação de 144 usinas, totalizando 3.300 MW de capacidade instalada. O programa tinha como objetivo aumentar a participação de empreendimentos com fonte Eólica, Biomassa e Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH), no Sistema Interligado Nacional. Os 3.300 MW contratados estariam divididos igualmente entre as fontes, sendo 1.100 MW proveniente de cada fonte energética. Toda energia elétrica produzida no programa tinha a contratação garantida durante 20 anos pela Eletrobras.

Na época o programa foi uma das poucas oportunidades para a venda de eletricidade, servindo como incentivo principal para essa fonte energética. O programa proporciona a redução da emissão de gases de efeitos estufa da ordem de 2,5 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>/ano ao incluir as fontes limpas na produção de energia elétrica no país. O cronograma do PROINFA sofreu diversos atrasos devidos principalmente a dificuldade na obtenção de financiamentos, exigências ambientais e insuficiência de equipamentos. O programa estava previsto para entrar em funcionamento até 30 de Dezembro de 2006. No entanto, esse prazo foi prorrogado primeiramente para 2008 e em seguida para 2010.

Em janeiro do ano de 2011, o Presidente Luis Inácio Lula da Silva prorrogou o prazo para Dezembro do mesmo ano. Segue na Tabela 1.4 os números totais do projeto até 2011.

**Tabela 1.4: Número de Projetos do PROINFA**

Fonte: Portal Eletrobras

Fontes	Nº de Projetos	Capacidade Instalada (MW)
Eólicas	41	963,99
Biomassa	19	533,34
PCH	59	1.152,54
Total	119	2.649,87

No Estado de São Paulo, onde se encontra a maior parte das usinas sucroalcooleiras brasileiras, foi assinado em 2007 um convênio no valor de cem milhões de reais para o desenvolvimento de pesquisas no setor sucroalcooleiro, além da criação do Programa Paulista de Cogeração de Energia, que busca linhas de créditos para o crescimento do setor. [16]

À nível nacional existe ainda o incentivo fiscal com a lei 9.427 de 1996 que estipula a redução de 50% nas tarifas TUST<sup>8</sup> e TUSD<sup>9</sup> para os empreendimentos de geração à biomassa, solar e eólica com a injeção de potência inferior a 30MW e hidrelétricas com capacidade inferior a 1MW. Além de suspender a exigência de contribuição para o PIS/PASEP<sup>10</sup> e da COFINS<sup>11</sup> para projetos de geração de energia aprovados e realizados no período de cinco anos a partir da promulgação da Lei.

Outra vantagem estipulada pela mesma lei é a possibilidade de comercialização com consumidores especiais, ou seja, consumidores com carga não superior a 500kW. Existe também além dessas isenções a possibilidade de incentivos locais, dependendo do interesse de cada estado em atrair esse tipo de investimento.

#### **2.4.1. INCENTIVOS INTERNACIONAIS AO USO DE BIOMASSA**

O uso da biomassa como fonte de energia tem se destacado mundialmente devido às pressões ambientais para aumentar as fontes renováveis. Na União Européia, os países que mais incentivam as fontes renováveis são Finlândia, Suécia, Áustria, Dinamarca e Alemanha. Uma das razões da Finlândia e a Suécia estarem na vanguarda da bioeletricidade é porque possuem as maiores áreas florestadas da Europa, além de possuírem diversos programas para o incentivo de fontes renováveis. Na Alemanha, por exemplo, existe o programa “Biomass Law”, que incentiva o uso da biomassa na geração de usinas até 20MW.

Outro programa que merece destaque é o *Arable Biomass Renewable Energy-ABRRE*, implantado no Reino Unido. A finalidade do programa é se tornar a primeira planta comercial, de 10MW, a partir da gaseificação integrada da biomassa em ciclos combinados.

As principais fontes de biomassa nesses países são os resíduos florestais, árvores pequenas e resíduos gerados na indústria de base florestal. As espécies de biomassa

---

<sup>8</sup> Tarifa de Uso dos Sistemas de Transmissão

<sup>9</sup> Tarifa de Uso dos Sistemas de Distribuição

<sup>10</sup> As siglas PIS/PASEP significam, respectivamente, Programa de Integração Social e Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público. Os dois programas foram unificados em 1976 e são fundos financeiros constituídos pela arrecadação dos trabalhadores.

<sup>11</sup> Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS) é uma contribuição Federal Brasileira incidente sobre a receita bruta das empresas em geral, destinada a financiar a seguridade social.

mais difundidas pelo mundo são: o eucalipto (*Eucalyptus*), willow (*Salix*) e poplars (*Populus*), algaroba (*Prosopis*), leucena (*Leucaena leucocephala*), acacia (*Acacia*), bracatinga (*Mimosa scabrella*) e gmelina (*Gmelina*).

Os países que mais utilizam a biomassa como fonte de energia são: Nicarágua, Austrália, Índia, Estados Unidos, Canadá, Suécia, Reino Unido e Brasil. Na Nicarágua, o setor açucareiro é o setor de maior destaque na economia, sendo os engenhos de açúcar auto-suficiente em geração de energia elétrica. Essa energia é produzida a partir do bagaço da cana em ciclos de Rankine a vapor. Porém, em períodos de entressafra, os engenhos ficam inativos.

Nos Estados Unidos, Canadá, Suécia e Reino Unido a espécie mais utilizada é o “willow”, em função da adaptação às condições ambientais e sua produtividade. Nos Estados Unidos, foi criada uma organização chamada *Salix Consortium*, que promove o cultivo do “willow” para a produção de biomassa para ser utilizado nas usinas térmicas.

## **2.5.IMPACTOS DA CULTURA CANAVIEIRA**

### **IMPACTOS GEOGRÁFICOS**

Embora o Brasil seja líder no mercado sucroalcooleiro, essa liderança não se reflete na mesma proporção nas áreas ambiental e social que são impactadas pela exploração da cana-de-açúcar. A monocultura, modelo utilizado pelo plantio da cana, é criticada por alguns movimentos sociais por reconfigurar a geografia local e modificar o hábito da agricultura familiar, causando desigualdades no campo. A mesma ocupa o terceiro lugar em relação a área plantada, atrás somente do milho e da soja. [21]

Após a criação do Proálcool houve um incremento no plantio da cana-de-açúcar através do aumento da área cultivada para atender a demanda por etanol, sem adotar as medidas necessárias para a utilização dos recursos naturais. Atualmente, o crescimento da cultura canavieira ainda está relacionado com incorporações de novas terras, substituindo a vegetação nativa e outros cultivos do espaço rural pela monocultura canavieira, resultando na redução da plantação de tomate, laranja, café e deslocando áreas que antes eram destinadas a pecuária. Em defesa ao crescimento

da cana-de-açúcar, a UNICA ressalta que a expansão ocorre principalmente em pastos degradados, e nem sempre em substituição a outras culturas.

*"Nos diálogos da Cana, que participamos com a Unica, nós estamos propondo que a cana abra espaço para alimento básico, como se fazia na época do café. Na época da expansão do café, os colonos plantavam milho, feijão e outras culturas no meio do café, e o município não ficava dependendo do abastecimento externo. Com a cana, o desafio de produzir alimentos é maior, por ser uma cultura densa. Mas ela pode abrir espaços específicos para esse fim" (Mario Menezes, diretor-adjunto da organização Amigos da Terra - Amazônia Brasileira, Reportagem publicada em 23/07/2009 por Amazonia.org.br)*

*"Se compararmos a evolução da cana nos anos de 2003 a 2006, veremos que a quantidade de cana-de-açúcar produzida aumentou 48% em **São José do Rio Preto** e 37% em **Araçatuba**, dados do último Censo Agropecuário. No **Triângulo Mineiro**, **Uberlândia** teve 13% de aumento e **Uberaba**, 99%. No mesmo período, essas duas regiões sofreram redução de seus rebanhos: **São José do Rio Preto** perdeu 13%, **Araçatuba**, 14%, **Uberaba**, 18% e **Uberlândia**, 6%." (Bruno Calixto, Reporter, Reportagem publicada em 23/07/2009 por Amazonia.org.br)*

De acordo com as condições favoráveis do local, a valorização da terra, a possibilidade de produção agrícola intensiva e o elevado custo de arrendamento levam os pecuaristas a optarem por venderem suas terras e reiniciarem suas atividades em regiões mais remotas, com menores custos de arrendamento e preservando ainda o caráter de pecuária extensiva.

*"Se o rebanho caiu no Sudeste e aumentou no âmbito nacional, alguma região passou a ter mais gado. Quando cruzamos os números da expansão da cana e da criação de gado, temos um indício de que a Amazônia pode estar recebendo parte significativa desse rebanho. A Amazônia estaria `importando` gado", (Mario Menezes, diretor-adjunto da organização Amigos da Terra - Amazônia Brasileira, Reportagem publicada em 23/07/2009 por Amazonia.org.br)*



## ASPECTOS AMBIENTAIS

Os impactos ambientais na geração de energia elétrica podem atingir três níveis diferentes: local, regional e global. A poluição local prejudica a qualidade do ar somente no local do empreendimento. No caso do setor sucroalcooleiro, a poluição local é decorrente dos materiais particulados emitidos pelas chaminés na queima do bagaço da cana-de-açúcar nas caldeiras e o impacto regional é devido as emissões de  $\text{NO}_x$ , formado a partir do nitrogênio presente no combustível com o oxigênio necessário para a combustão.

O  $\text{NO}_x$  afeta as vias respiratórias e na presença da luz solar forma o ozônio troposférico –  $\text{O}_3$ . Na poluição regional, diferentemente da local, os poluentes se deslocam para outros lugares devido às ações dos ventos e são os principais responsáveis pela chuva ácida e formação de ozônio. O ozônio poluente é formado pela reação de compostos orgânicos voláteis com óxidos de nitrogênio -  $\text{NO}_x$  interagindo com a luz solar. O ozônio serve como uma camada protetora somente quando se encontra na alta atmosfera, em nível do solo o ozônio é um poluente prejudicial à saúde humana, atacando os olhos e as mucosas do sistema respiratório.

O controle desse poluente é complexo, pois ele não é emitido diretamente das fontes geradoras, sendo necessário controlar então os seus formadores, como o  $\text{NO}_x$ . No setor sucroalcooleiro a emissão de  $\text{NO}_x$  é a maior dificuldade na obtenção de licenciamentos. No Brasil, a emissão do  $\text{NO}_x$  é controlada pelo CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. O mesmo definiu em 2011 pela resolução nº 436 os níveis de emissões permitidos na combustão externa do bagaço da cana-de-açúcar para geração de calor. Segue na Tabela 1.5 os índices permitidos.

**Tabela 1.5: Limites de emissões de poluentes provenientes da combustão pela queima do bagaço da cana**

Fonte: Resolução nº 436 emitida pelo CONAMA

Potência Térmica Nominal (MW)	Material Particulado (mg/Nm <sup>3</sup> )	$\text{NO}_x$ (mg/Nm <sup>3</sup> )
Menor que 50	520	N.A
Entre 50 e 100	450	350
Maior que 100	390	350

A terceira coluna da tabela representa a soma das concentrações de monóxido de nitrogênio -  $\text{NO}$  e dióxido de nitrogênio -  $\text{NO}_2$ . Os níveis de poluentes são definidos de acordo com a máxima operação da unidade geradora.

Para unidades geradoras com até 10MW de potência, o órgão ambiental define o limite máximo de monóxido de carbono (CO) de acordo com a Tabela 1.6.

**Tabela 1.6: Limites máximos de emissões de CO proveniente da combustão do bagaço da cana**

Fonte: Resolução nº 436 emitida pelo CONAMA

Potência Nominal (MW)	CO (mg/Nm <sup>3</sup> )
Até 0,05	6500
Entre 0,05 e 0,15	3250
Entre 0,15 e 1	1700
Entre 1 e 10	1300

Já a poluição global atinge a atmosfera como um todo, afetando todas as regiões do planeta. Nela, os poluentes são os causadores do efeito estufa. No caso específico da geração a biomassa de cana-de-açúcar, a geração de eletricidade não influencia no efeito estufa, pois a quantidade de carbono emitido no momento da queima do combustível é retirada da atmosfera no momento da fotossíntese da planta. [22]

Uma técnica muito comum em áreas de plantio de cana para a limpeza do terreno são as queimadas. Na Legislação brasileira essa prática é proibida pelo Código Florestal Lei 4.771/1965, artigo 27, mas somente o estado de São Paulo possui fiscalização para a eliminação gradativa dessa técnica. Essa prática vem sendo proibida no Estado de São Paulo pela Lei Estadual 11.241/2002 que prevê até 2031 a eliminação de 100% das queimadas.

Ao se realizar a queimada, o agricultor altera as características de todo o ecossistema e não somente da área de plantação. Por ser um recurso que não requer investimentos financeiros, tal prática é bastante comum até os dias de hoje, principalmente pelos pequenos agricultores. Essa ação causa o empobrecimento do solo pela eliminação dos microorganismos, altera os níveis de cálcio, enxofre e potássio no solo deixando-o desprotegido e modificando o ciclo de carbono e o ciclo hidrológico.

No ciclo hidrológico, parte da água da chuva era captada pela vegetação e outra parte era absorvida pelo solo, tendo como destino o lençol freático. Sem essa vegetação, o solo fica ressecado e não acontece esse processo de infiltração. No ciclo de carbono,

a queimada libera gases como gás carbônico - CO<sub>2</sub> e metano - CH<sub>4</sub>, sendo ambos bloqueadores de calor e seu acúmulo na atmosfera aumenta a temperatura média do planeta. Segundo estudos do Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas em 2009, a Amazônia é responsável por 60% do dióxido de carbono gerado no país devido as queimadas.

Um estudo estima as emissões evitadas quando projetos de geração termoelétrica a carvão e a gás natural forem substituídos por termoelétricas a biomassa de cana de açúcar utilizando as tecnologias CEST<sup>12</sup> e BIGSTIG<sup>13</sup>, tecnologias essas abordadas no Capítulo 2 deste trabalho. [23]

**Tabela 1.7: Emissões Evitadas de Poluentes de acordo com a Tecnologia Utilizada**  
 Fonte: Análises de Opções Tecnológicas para Projetos de Co-geração no Setor Sucro-Alcooleiro [23]

Tecnologia de Co-geração com Bagaço de Cana	Emissões Evitadas			
	Emissões de carbono (ton/ton.CANA)	Emissões de Monóxido de Carbono CO (Kg/ton.CANA)	Emissões de Metano CH <sub>4</sub> (Kg/ton.CANA)	Emissões de Compostos Nitrogenados NO <sub>x</sub> (kg/ton.CANA)
	Usina Termoelétrica a Gás Natural			
CEST	47,5	94,6	16,6	183,5
BIGSTIG	184,3	367,4	64,4	712,4
	Usina Termoelétrica a Carvão			
CEST	75,0	255,2	2,1	555,8
BIGSTIG	290,9	990,7	8,2	2.157,5

De acordo com o IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, o Cerrado é o segundo maior bioma brasileiro, atrás somente da Amazônia, e está presente em 33% do Estado de São Paulo, maior produtor de cana-de-açúcar. A expansão dos canaviais e a utilização da queimada para facilitar a colheita tornam-se mais preocupante com a vegetação seca do Cerrado, pois o fogo se propaga mais facilmente. Os malefícios ambientais atingem não somente a flora local, mas como também a fauna e causa o empobrecimento do solo. Para que a lei consiga ser cumprida é necessário um sistema de monitoramento da cobertura vegetal, fiscalizando os limites de desmatamento estabelecidos pelo Código Florestal.

<sup>12</sup> CEST - Condensing Extraction Steam Turbine são ciclos a vapor com condensação e extração

<sup>13</sup> Ciclo integrado de turbina a gás com gaseificação de biomassa e injeção de vapor

A plantação em grande escala apresenta impactos sobre o solo, como erosão, riscos de contaminação dos recursos hídricos pelo uso de fertilizantes, defensivos agrícolas e disposição inadequada do vinhoto. A água utilizada para lavagem da cana antes da moagem, assim como as provenientes dos condensadores, também contém teores de sacarose, matéria mineral e vegetal que necessitam de uma gestão adequada para não comprometer os cursos d'água no entorno das usinas.

O vinhoto é um subproduto do processo de fabricação de açúcar e álcool altamente poluidor. Caso o mesmo seja despejado em cursos d'água, provocam a morte da fauna e da flora aquática, além de tornar imprópria para a utilização humana devido às altas taxas de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO). [21]

Embora o vinhoto seja um componente poluidor, o seu uso cru reduz a necessidade de fertilizantes químicos na produção da cana. A Portaria Ministerial nº 323 proibiu o deposição direta do vinhoto em corpos d'água, e desde então, o mesmo tem sido utilizado de maneira mais racional, buscando a maior produtividade agrícola. Em alguns canaviais a sua dispersão é desigual nos campos produtivos, os mais próximos recebendo quantidades excessivas e os mais distantes não recebendo uma quantidade adequada. Essa prática pode ocasionar a contaminação das águas subterrâneas e deve ser evitada.

A tecnologia que dispomos no setor canavieiro é extremamente capaz de minimizar os impactos ambientais no modelo de produção que temos atualmente, porém, o desrespeito a algumas normas ambientais ainda tem se mostrado lucrativa para alguns empreendedores, como as queimadas e o desrespeito com as delimitações legais de mata nativa.

A solução não está em criações de novas leis ambientais, e sim, na fiscalização das mesmas. O tratamento dessas leis não deve ser somente questões de legislação estadual, mas questões de nível local, pois são a comunidade local e a prefeitura que convivem com essa realidade diária.

Diante dessa situação, cabe a sociedade civil cobrar pela fiscalização e cumprimento dessas leis e pelo aperfeiçoamento das políticas ambientais existentes.

## QUESTÕES SOCIAIS

A opção pela mão-de-obra barata e migrante também representa mais um entrave na cultura canavieira. Com a estratégia de baixar os custos de produção, a admissão dos trabalhadores rurais é feita sem registro trabalhista, sem acesso a sindicatos e os trabalhadores são alojados em casebres dentro do próprio canavial. O pagamento é feito por produção, pois facilita o processo de seleção e estimula o aumento de produtividade. Estima-se que um trabalhador normal consiga cortar em média nove toneladas de cana queimada e 3/4 de tonelada de cana crua. [21]

*“A pessoa trabalha é noite e dia ai sem parar e não ganha nada... Agora é que a cana ta ai um real e setenta e cinco... a tonelada hein! Você corta ai sete, oito, nove tonelada... os mais bão chegam a ter quinze, dezesseis tonelada, mas quando você chega a cortar isso ao, você já perdeu mais de oito litros de água por dia de suor... moia camisa, calça, tem vez que o sapatão chega a encher de água, de tanto que você soa... pra ganhar o quê? Dezessete, dezoito contos!” (Depoimentos apresentados por GONÇALVEZ(2005))*

*“Eu já me cortei no caso de chover e eu continuar cortando cana. Então, o cabo do facão fica muito liso... A gente querendo trabalhar para não perder o dia, escorrega...” (Depoimentos apresentados por GONÇALVEZ(2005))*

O trabalhador é forçado constantemente a atingir a meta de trabalho, optando muitas vezes em envolver sua esposa e filhos como força de trabalho complementar, embora a participação das mulheres nos canaviais têm decaído devido ao aumento de exigência nos níveis de produção e esforço físico. Em alguns casos são exigidos ainda atestados de ligaduras de trompas para evitar o pagamento dos direitos no caso de gestação.

Embora o Brasil tenha assinado em 12 de setembro de 2000 as recomendações nº 182, 138 e 146 da Organização Internacional do Trabalho sobre a Proibição das Piores Formas de Trabalho Infantil e a Ação Imediata para sua Eliminação, ainda se observa o trabalho infantil e trabalho escravo nos canaviais.

A mecanização do campo também não ajudou a diminuir a insalubridade nem o número de queimadas, ainda sendo comum a queima dos canaviais antes da colheita mecanizada, pois as colheitadeiras mais antigas e menos potentes têm um rendimento maior nessas condições. A mecanização aumentou os índices de desemprego e intensificou ainda mais a preocupação dos trabalhadores em aumentarem seus rendimentos, pois uma colheitadeira moderna consegue substituir até 100 trabalhadores no corte da cana.

A ameaça pelo desemprego conduz a aceitação de condições desumanas nos ambientes de trabalho, a possibilidade de redução da expectativa de vida pela grande exposição de fuligem, intoxicação por agrotóxicos, falta de equipamento de proteção individual, transporte inseguro e falta de regulamentação na jornada de trabalho.

O Brasil durante a maior parte de sua história destacou-se somente no setor primário da economia, com a agropecuária e extrativismo vegetal, mineral e animal. Hoje, ocupa o 6º lugar na economia mundial segundo ranking do Banco Mundial, divulgado no dia 04/06/13 os dados do PCI Programa de Comparação Internacional - PCI, que analisa as economias de 146 países. [24]

Frente a esse crescimento econômico e a incapacidade de resolver situações como o agravamento de problemas sociais e ambientais em pleno século XXI, emerge o conceito de desenvolvimento de políticas sustentáveis. A questão social tem dois grandes desafios perante a indústria canaveieira: Combater o crescente desemprego e a má qualidade das condições de trabalho.

O aumento crescente do desemprego devido ao aumento da mecanização nos canaviais, principalmente no corte da cana-de-açúcar, tem exigido uma qualificação da mão-de-obra, significando que esses trabalhadores precisarão ser reinseridos no mercado de trabalho através de programas sociais de qualificação e geração de novos empregos.

Uma das formas de reconfigurar essa situação é a formação de centros de formação tecnológica, como foi realizado no município de Pradópolis, São Paulo, sede da maior usina canaveieira do Brasil. Como os trabalhadores que operam nos canaviais são homens e mulheres de diferentes idades, seria interessante associar programas de alfabetização aos jovens e bolsas de estudos para os já alfabetizados. Uma parceria

similar a essa foi criada na região de Bauru, em São Paulo, onde foi criada a “Universidade Popular” para a mão-de-obra local, sendo basicamente canavieira.

Algumas prefeituras têm realizado parceria com instituições privadas, como SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio à Micro e Pequenas Empresas, Projeto SENAR – Serviço Nacional de Aprendizado Rural e Projeto SARA – Serviço de Aprendizagem Rural ao Adolescente com a finalidade de reinserir os trabalhadores no mercado de trabalho. [25]

## **CAPÍTULO 3: O PROCESSO DE COGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

### **3. DEFINIÇÃO DE COGERAÇÃO**

*“Cogeração é a produção simultânea e de forma seqüenciada, de duas ou mais formas de energia a partir de um único combustível. O processo mais comum é a produção de eletricidade e energia térmica [...]” (Portal da Associação da Indústria de Cogeração de Energia – COGEN, 20/04/12)*

No início do século XX, era comum os médios e grandes consumidores de eletricidade instalarem seus próprios sistemas de geração, favorecendo a implementação da co-geração. Mais adiante com o surgimento das concessionárias de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, essas plantas de co-geração foram perdendo sua participação no mercado. A melhoria na confiabilidade e disponibilidade de energia elétrica pelas concessionárias contribuiu para que a co-geração fosse utilizada em casos bastante específicos. [26]

Antigamente com a existência de um único comprador (a distribuidora de energia elétrica), a sazonalidade na produção (só há excedente na época de safra) e a insegurança dos pequenos produtores em negociar com as empresas de eletricidade dificultaram o avanço tecnológico e o incentivo a pesquisa na área. A principal crítica das distribuidoras era a desconfiança com os agricultores de pequeno porte em relação ao cumprimento dos prazos.

A utilização do bagaço como forma de matéria-prima para a geração de vapor foi se tornando mais atraente e vem ganhando destaque desde o século XX. No ano de 2011 a participação da bioeletricidade no período de maio a setembro na geração termelétrica do país foi de 31%, seguida pelas usinas nucleares com 26%, gás natural

com 25% e por último carvão mineral e óleo combustível com 5% cada um. Considerando os doze meses do ano a participação total da biomassa foi de 10.903GWh. [27]

Os sistemas de cogeração podem se conectar com a rede elétrica para exportar sua energia excedente e para receber energia adicional em momentos emergenciais ou de maior consumo energético. Normalmente, um autoprodutor que exporta excedente de energia elétrica de acordo com a sua disponibilidade está conectado à rede de baixa tensão da distribuidora local, enquanto o que objetiva vender toda a potência gerada está conectado ao sistema de transmissão de alta tensão.

Independente do caso, devem ser adotadas medidas de proteção para evitar possibilidades de riscos. O co-gerador deve possuir a opção, através de dispositivos, de manter a sua operação independente da rede caso a mesma venha a falhar, não propagar as falhas do seu sistema para a rede elétrica e consumir energia da rede caso ocorram falhas em seu sistema. Dispositivos de estabilização e sincronização para conectar e desconectar a unidade co-geradora do sistema de distribuição ou transmissão também devem ser utilizados.

Essas unidades pequenas quando conectadas a rede elétrica proporcionam benefícios localizados, como melhoria no nível de tensão ao longo da rede e suprimento dos consumidores próximos, postergando assim, investimentos no sistema e evitando custos de expansão. Mas caso essa geração ultrapasse as necessidades ou capacidades do sistema elétrico da região, impõe-se restrições de injeção de potência oriunda desses co-geradores e autoprodutores. Nessas situações são utilizados medidores de transferência de energia exportada e importada.

A cogeração possibilita o aproveitamento de diversas formas de combustíveis que antes eram desperdiçados ou não eram aproveitados completamente, como o lixo agrícola, dejetos industriais e etc. Por apresentar menores perdas no transporte e distribuição de energia, representa maior segurança no abastecimento local e geral. A cogeração certamente é uma maneira mais eficiente de aproveitar a energia contida nos combustíveis. A maior dificuldade na sua implementação ocorre por problemas de barulho, poluição local e alto investimento inicial.



Os sistemas de co-geração são separados em dois grandes grupos de acordo com a sequência de utilização da energia nos sistemas termodinâmicos. [28]

- Configuração Topping: O combustível é queimado para a produção de energia elétrica ou mecânica, onde o calor rejeitado é recuperado para ser utilizado no sistema térmico, como aquecimento por exemplo. Esse modelo termodinâmico é mais difundido e possui um emprego mais amplo.
- Configuração Bottoming: A energia térmica presente nos gases proveniente de fornos, caldeiras e máquinas térmicas é aproveitada em caldeiras recuperadoras para gerar vapor. Esse vapor é utilizado para acionar turbogeradores para produzir energia mecânica

As principais vantagens da cogeração é a maior eficiência em relação as demais fontes de geração elétrica. Na geração térmica convencional, a maior parte da energia contida no combustível é perdida para o meio ambiente, diferentemente da cogeração em que o rendimento pode chegar a 80%. [29]

Outra vantagem é em relação aos aspectos ambientais, pois há uma menor quantidade de gases sendo lançados na atmosfera e uma redução do consumo de combustíveis. Já em relação aos aspectos econômicos as vantagens são o aumento de empregos em níveis locais, pois a cogeração é uma forma de geração descentralizada, e o auxílio na estabilidade das redes elétricas para atender os consumos de ponta.

Nas usinas térmicas existe a possibilidade de se usar a turbina a vapor ou a turbina a gás. A principal diferença entre elas está no fato da turbina a vapor ser uma máquina de combustão externa, enquanto a turbina a gás exige uma combustão interna.

A eficiência da usina está diretamente relacionada com o rendimento das turbinas. A eficiência máxima de uma máquina térmica é verificada pela máquina de Carnot, em que toda energia fornecida é transformada em trabalho, obtendo-se 100% de rendimento total. A 2ª lei da Termodinâmica estabelece que nenhuma máquina real é capaz de ter um rendimento de 100%, de modo que todo o calor fornecido seja convertido em trabalho útil, não se obtendo nenhuma perda. O objetivo dos engenheiros consiste em conseguir o menor valor na razão  $T_2/T_1$ , de forma a

minimizar as perdas para o meio ambiente, sendo  $T_1$  a temperatura na entrada da máquina e  $T_2$  a temperatura na saída da mesma. O rendimento de uma máquina térmica que opera segundo o ciclo de Carnot é  $\eta = 1 - T_2/T_1$ .

A busca pela maior temperatura possível em  $T_1$  exige também um avanço tecnológico em outras áreas, como por exemplo, da engenharia de materiais para o desenvolvimento de aços e matérias mais resistentes. Esses sistemas que produzem potência operam em ciclos, podendo ser ciclos a gás ou a vapor. No setor sucroalcooleiro utilizam-se principalmente os ciclos a vapor, em que o fluido de trabalho existe em uma parte do processo na fase de vapor e em outra etapa na fase líquida. Os ciclos termodinâmicos representam uma sequência de processos em que a matéria passa por diversas modificações de pressão, volume e temperatura, retornando no final do ciclo ao seu estado inicial. O ciclo de Rankine será abordado abaixo, pois é um ciclo de potência muito utilizado nas usinas térmicas, principalmente no setor sucroalcooleiro.

### **3.1. CICLOS DE COGERAÇÃO**

#### **3.1.1. CICLO DE RANKINE**

A turbina a vapor se tornou conhecida no final do século XIX, mas seu desenvolvimento permanece estagnado desde a década de 60. Na turbina a vapor os combustíveis são consumidos em uma caldeira, usada para aquecer a água por combustão externa<sup>14</sup>, podendo ser utilizados diversos combustíveis para aquecê-la como carvão, lenha e nesse trabalho a possibilidade de uso do bagaço de cana-de-açúcar. Um dos inconvenientes dos ciclos a vapor é a baixa eficiência nos processos termoelétricos, pois quando conseguimos alcançar maiores níveis de eficiência, diminuimos a viabilidade econômica do processo. [30]

Nas usinas térmicas a biomassa de cana-de-açúcar, o processo de obtenção de energia mais difundido são as turbinas a vapor utilizando ciclo de Rankine. As usinas térmicas são compostas pelas unidades de geração de vapor (onde se localiza a caldeira, e a unidade de geração, onde se encontra o gerador de energia elétrica e a turbina.

---

<sup>14</sup> O fluido de trabalho, nesse caso a água, não entra em contato com o combustível, sendo aquecido pela combustão de uma fonte externa

A queima do bagaço da cana-de-açúcar é utilizado como combustível para aquecer a água da caldeira, sendo comumente utilizada a palha da cana juntamente com o bagaço para aumentar o potencial da geração. A caldeira é o local onde a água é vaporizada a pressão constante, sendo esse vapor utilizado para movimentar as turbinas, onde o vapor sofre uma expansão, reduzindo sua temperatura e pressão.

Em seguida, o vapor é resfriado a pressão constante em um condensador, tornando-se líquido, sendo o calor liberado durante esse processo expelido para a atmosfera. Ou seja, existem quatro etapas no ciclo de Rankine:

- Compressão: Utiliza-se uma bomba para comprimir a água até a pressão de operação e bombeá-la para a caldeira.
- Transferência de calor: O fluido a alta pressão é aquecido em uma caldeira a pressão constante transformando-se em vapor superaquecido.
- Expansão: O vapor superaquecido que sai da caldeira se expande na turbina produzindo trabalho, girando o eixo conectado a um gerador. Durante esse processo, a pressão e a temperatura diminuem.
- Transferência de calor: Como o ciclo de Rankine opera em um ciclo fechado, o fluido de trabalho que se encontra no estado líquido no condensador é bombeado para a caldeira, retornando ao início do processo.

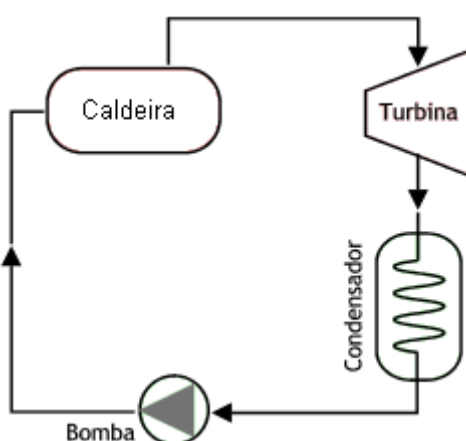


Figura 2.1: Diagrama Esquemático do Ciclo de Rankine

Fonte: Elaboração própria

A geração a biomassa através do ciclo de Rankine é também chamada de uso da biomassa por meio da combustão direta, pelo fato da biomassa ser queimada diretamente nas caldeiras. Uma das formas de se aumentar a eficiência desse processo seria utilizar turbinas de múltiplos estágios. Existem duas configurações fundamentais das turbinas a vapor: [31]

- Sistemas de Cogeração com Turbinas de Contrapressão

- Sistemas de Cogeração com Turbinas de Extração-Condensação

Na indústria sucroalcooleira, o sistema mais adotado é a cogeração com turbinas de contrapressão. Nele a pressão de saída da turbina é maior que a atmosférica. Quando se necessita de diferentes níveis de pressão, o processo adequado seria com turbinas de contrapressão e condensação, pois esse modelo permite uma maior flexibilidade na geração de energia elétrica, embora tenha um custo mais elevado que o anterior.

Atualmente, com o aumento dos resíduos agrícolas e as pressões ambientais para o seu descarte adequado, a geração elétrica a partir da biomassa tem se destacado. Tradicionalmente, as usinas de açúcar e álcool utilizam a co-geração topping a vapor em contrapressão.

No sistema a contrapressão, o bagaço da cana-de-açúcar é queimado diretamente na caldeira. A energia térmica resultante no processo é utilizada na produção de vapor, que acionará turbinas de acionamento mecânico e turbinas de geração elétrica. Os gases expelidos das turbinas, são direcionados ao atendimento das necessidades térmicas do processo produtivo. Como esse sistema não possui condensadores, o vapor de escape retorna ao seu estado líquido durante o processo produtivo, para então ser bombeado para a caldeira, fechando o ciclo termodinâmico.

A principal característica desse sistema é o reduzido desempenho energético, mas a possibilidade de comercialização de excedente de energia elétrica está fomentando o desenvolvimento de ciclos de trabalho mais eficazes que o tradicional ciclo de contrapressão. Algumas modificações que elevam a potência gerada nos ciclos a vapor em contrapressão são a substituição das turbinas a vapor de simples estágio por turbinas de múltiplos estágios, caldeiras geradoras de vapor com baixa pressão por caldeiras com pressão superior, constituídas por superaquecedores de vapor, preaquecedores de ar, secadores de bagaço, dentre outros.

A partir da década de 90, as usinas geradoras a biomassa começaram a sentir interesse em aumentar a sua produção para a venda de energia excedente. A maior parte da energia da cana-de-açúcar é perdida quando se utiliza o bagaço em usinas de baixa pressão, pois o mesmo só consegue suprir a energia da própria usina. As usinas geradoras que utilizam caldeiras de baixa pressão costumam ter um excedente de bagaço que normalmente é negociado entre as usinas. Atualmente as unidades geradoras procuram utilizar caldeiras de média e alta pressão. [32]

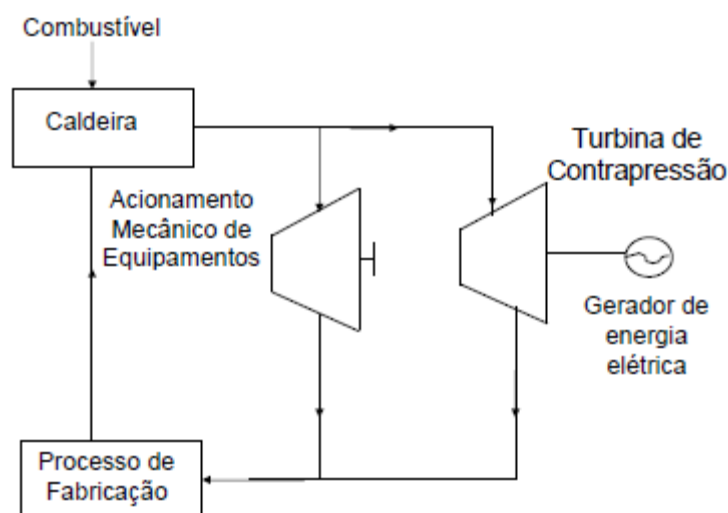


Figura 2.2: Diagrama Esquemático do Ciclo à Vapor com Turbina de Contrapressão

Fonte: [33]

No Sistema de Cogeração com turbinas de Extração-Condensação, o objetivo principal é a venda de energia excedente. Esse sistema trabalha também no período de entressafra, utilizando combustíveis complementares.

### CICLO DE EXTRAÇÃO E CONDENSAÇÃO

Esse processo é conhecido pela sigla CEST – *Condensing Extraction Steam Turbine*, onde o vapor após ter realizado trabalho na turbina é parcialmente ou totalmente condensado. A parcela de vapor necessária ao atendimento térmico e mecânico do processo produtivo é extraída da turbina em pontos intermediários.

A diferença fundamental desse ciclo para o de contrapressão pura é a existência de um condensador na saída da turbina e a utilização do vapor extraído em vários

estágios da turbina no aquecimento da água na caldeira. Esses acréscimos aumentam a eficiência do ciclo termodinâmico.

A presença do condensador permite uma maior flexibilidade de operação, pois desvincula a geração elétrica da demanda térmica do processo produtivo. Nos períodos fora da safra, a planta pode continuar operando gerando somente eletricidade, enquanto nos períodos de safra ocorre também a produção de açúcar e etanol. Nos períodos de safra, o ciclo opera com condensação e extração (co-geração) e nos períodos fora de safra apenas com condensação. Portanto, a geração de excedente de energia elétrica quando a planta está operando em co-geração é menor, devido à extração de vapor antes da expansão total até o condensador.[23]

Existe ainda a possibilidade de se aumentar a eficiência do ciclo *topping* a vapor de condensação e extração com a elevação da pressão e temperatura do vapor gerado nas caldeiras, uso de câmaras de combustão, trocadores de calor, como preaquecedores de ar, superaquecedores, aquecedores intermediários de água das caldeiras, reaquecedores, dentre outros.

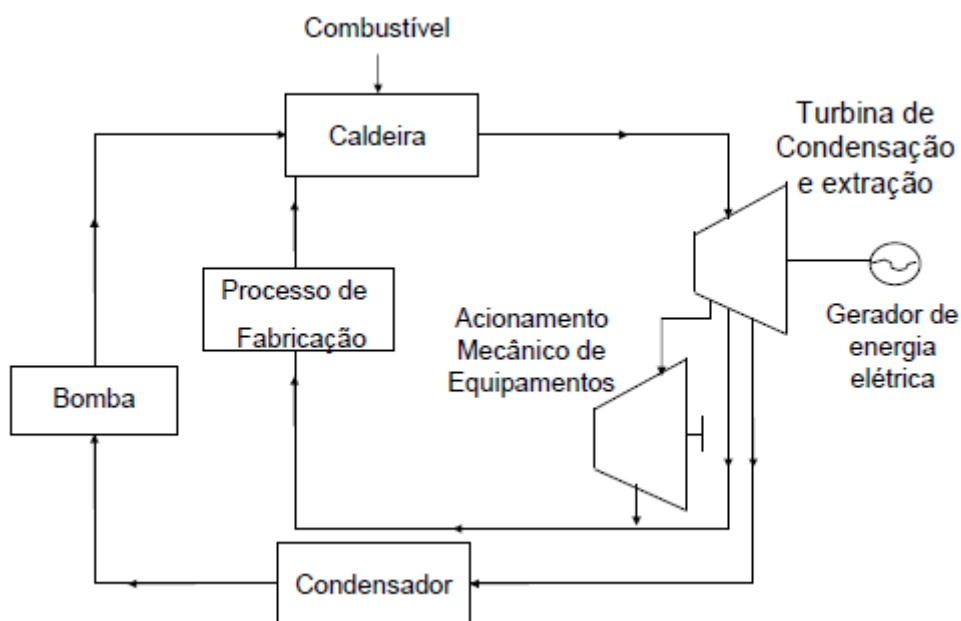


Figura 2.3: Diagrama Esquemático do Ciclo de Extração e Condensação

Fonte: [33]

### 3.1.2. CICLO DE BRAYTON

Os ciclos a gás encontram-se em um estágio mais desenvolvido quando comparado aos ciclos a vapor, pois apresentam maiores eficiências térmicas e menores impactos ambientais. As turbinas a gás são utilizadas nos processos de combustão interna e tem como característica ser um motor leve e compacto. Esse motor foi muito utilizado na indústria aeronáutica, sendo na década de 80 aplicado em outras áreas, como geração de energia em horário de ponta, geração em ocorrência de falhas ou emergências, devido a sua portabilidade, sua rapidez de partida e sua capacidade de suportar bruscas variações de carga. [29] [34]

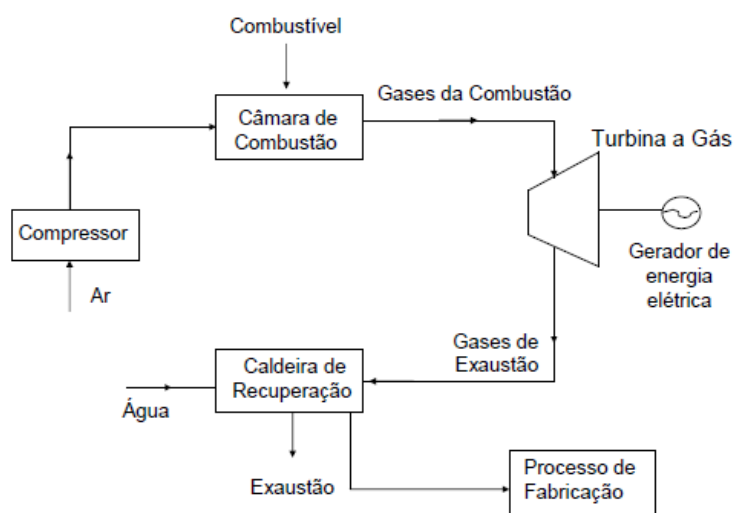
O principal desafio para o desenvolvimento tecnológico da turbina a gás está na temperatura de entrada dos gases, conhecida pela sigla TEG no primeiro estágio da turbina. Quanto maior a temperatura de operação do ciclo termodinâmico, maior a eficiência. Entretanto, conforme elevamos a temperatura de operação, aumentamos a necessidade de materiais mais resistentes e o desenvolvimento de um sistema de refrigeração das palhetas das turbinas. [35]

No caso das turbinas a gás, o tipo de combustível influencia diretamente nas características da combustão, na velocidade de rotação e na eficiência. O combustível escolhido deve satisfazer os aspectos econômicos, as restrições ambientais e a viabilização da combustão. Uma das principais características do combustível é o seu poder calorífico. [36]

A maioria das turbinas a gás utiliza o ar como forma de aquecimento do fluido de trabalho. Esse ciclo termodinâmico é chamado Brayton. O processo está detalhado em três etapas apresentadas a seguir:

- Compressão: O ar é comprimido a uma temperatura ambiente sobre uma compressão adiabática e isentrópica. Esse ar comprimido é então direcionado para a câmara de combustão.
- Câmara de combustão: Nesse local ocorre o contato do ar com o combustível, ocorrendo a combustão à pressão constante. Esses gases expelidos após a combustão estão sob alta pressão e temperatura, sendo direcionado para a turbina

- Turbina: Na turbina os gases que saem da câmara de combustão se expandem sem variação de entropia. A energia desses gases é transformada em trabalho, gerando assim, potência mecânica. À medida que essa operação acontece, a pressão e a temperatura dos gases se reduzem. Uma parte do trabalho desenvolvido pela turbina é utilizado para operar o compressor, sendo o restante efetivamente utilizado para o trabalho útil na própria turbina. Normalmente, mais de 50% do trabalho da turbina é utilizado pelo compressor. [37]



**Figura 2.4: Diagrama Esquemático do Ciclo de Brayton**

Fonte: [33]

Do ponto de vista econômico e comercial, os principais entraves é a dificuldade de acesso as redes de distribuição, pois com o aumento da potência gerada as usinas estão exigindo um sistema de distribuição de alta tensão que muitas vezes não estão disponíveis em certas localidades como a região Centro-Oeste, por exemplo. Há também outros fatores, como a falta de financiamento e a falta de interesse por parte das concessionárias para contratos de longo prazo.

Uma maneira de se utilizar o bagaço da cana nos ciclos a gás é através da gaseificação, tecnologia conhecida desde o século passado. Com a crise do petróleo no final da década de 70, verificou-se o interesse pela gaseificação, especialmente pelo o carvão vegetal e pela madeira. No início da década de 90, surgiu o interesse da gaseificação do bagaço da cana e dos resíduos agrícolas. A conversão de qualquer combustível sólido ou líquido em gasoso através da oxidação e altas temperatura é chamado gaseificação. [34]



Normalmente, esse processo ocorre em quatro etapas: secagem da biomassa, pirólise, redução e combustão, sendo cada etapa em uma temperatura diferente. A primeira delas é a secagem do combustível, sendo a mesma responsável pela eliminação da umidade. Em seguida, na zona de pirólise, a estrutura do bagaço da cana começa a se decompor por ação térmica. As reações ocorrem de forma exotérmica, formando-se vapor d'água, metanol, ácido acético e alcatrões pesados. A temperatura ocorre em torno de 400 graus. Na zona seguinte, zona de redução, as reações ocorrem na ausência de oxigênio e na última zona, a zona de combustão, a temperatura varia de 900 a 1.300 graus centígrados. [34]

Os principais componentes formados são o monóxido de carbono, o hidrogênio e o metano. Mesmo variando o tipo de biomassa e os diferentes tipos de gaseificadores, a composição do gás é basicamente a mesma, variando apenas a porcentagem de cada componente. A mistura que sai do gaseificador é conhecida como “gás pobre” devido ao baixo poder calorífico, em torno de 4,5MJ/Nm<sup>3</sup> e 6,0MJ/Nm<sup>3</sup>. Projetos mais recentes conseguem alcançar até 30% do poder calórico do gás natural. [17]

As duas principais propriedades que determinam as características do gás produzido são o grau de umidade e o teor de cinzas. A umidade presente no bagaço da cana afeta diretamente o poder calorífico do gás produzido, diminuindo a quantidade de energia disponível no gás. Caso a umidade seja elevada, esse índice poderá afetar a condensação de alguns componentes presentes no gás.

Em relação ao teor de cinzas, devido a alta temperatura no interior dos equipamentos, tem-se o risco delas se fundirem e se solidificarem nas seções inferiores, provocando a obstrução dos equipamentos. [32]

O aumento da participação das usinas térmicas brasileiras, reduzindo a dependência do regime pluvial e a exaustão dos potenciais hídricos mais próximos dos centros urbanos servem como incentivo ao desenvolvimento da geração descentralizada da biomassa.

### **3.2. GASEIFICAÇÃO DA BIOMASSA**

O gaseificador é um reator químico onde ocorre a combustão de acordo com a quantidade de ar injetada no mesmo. É necessário controlar o fornecimento de ar para

que a combustão não aconteça em toda a carga. Em um sistema de gaseificação encontram-se as seguintes seções:

- Pré-processamento: Estocagem, transporte e redução do bagaço da cana ao tamanho adequado.
- Gaseificador: Onde ocorre a reação e a transformação do combustível sólido em gás
- Tratamento do gás: Limpeza e caso necessário, resfriamento do gás produzido
- Tratamento dos resíduos: Tratamento dos resíduos gerados pela gaseificação

Os gaseificadores podem ser classificados de acordo com as seguintes características [38]:

- Poder calorífico:
  - Baixo poder calorífico – até  $5\text{MJ}/\text{Nm}^3$
  - Medio poder calorífico – de 5 a  $10\text{MJ}/\text{Nm}^3$
  - Alto poder calorífico – de 10 a  $40\text{MJ}/\text{Nm}^3$
- Tipo de Agente Gaseificador: Ar, oxigênio, hidrogênio e vapor d'água
- Movimento das Massas: Contrafluxo ou contracorrente, fluxo direto ou concorrente, leito fluidizado
- Pressão de Trabalho: Baixa pressão (atmosférica) ou pressurizadas
- Tipo de Biomassa: Biomassa in natura, biomassa pulverizada, resíduos sólidos urbanos (lixo), resíduos industriais, resíduos agrícolas e etc.

Os gaseificadores pressurizados necessitam de um maior avanço tecnológico, enquanto que os de pressão atmosférica já possuem uma operação comercial conhecida. Com os gaseificadores pressurizados, a compressão do gás para a injeção na turbina se torna desnecessária, porém, aumentam-se as perdas na alimentação da biomassa devido ao escapamento dos gases. Essa tem sido a questão principal a ser desenvolvida.

As turbinas a gás requerem muito cuidado durante a operação, pois sofrem severas restrições com a presença de partículas presentes nos gases combustíveis. Existem diversas maneiras de tentar minimizar os danos causados pela presença de particulados, como por exemplo, filtros cerâmicos acoplados aos gaseificadores estão em fase de teste na Suécia, assim como lavadores de gases, filtros de areia, dentre

outros. O gás produzido pela gaseificação deve atender os padrões de qualidade ambiental e os sistemas de limpeza variam de acordo com a temperatura e eficiência. Seguem na Tabela 2.1 as formas mais usuais de limpeza dos gases. [39]

**Tabela 2.1: Redução de Particulados e Alcatrão utilizando diferentes Sistemas de Limpeza**

Fonte: Geração de eletricidade a partir da gaseificação de biomassa [40]

Sistema de Limpeza	T (°C)	Redução do teor de particulados (%)	Redução do teor de alcatrão
Filtro de areia	10 a 20	70 a 99	50 a 97
Torre de lavagem	50 a 60	60 a 98	10 a 25
Lavador Venturi	-	-	50 a 90
Precipitador eletrostático	40 a 60	>99	0 a 60
Filtro de mangas	130	70 a 95	0 a 50
Absorvente de alcatrão de leito fixo	80	-	50
Craqueamento catalítico	900	-	>95

O contato das partículas nas palhetas das turbinas causam erosão e os metais alcalinos podem ainda causar corrosão das partes metálicas. Os metais alcalinos durante a gaseificação, são liberados pelo gaseificador em uma temperatura em torno de 600 graus. Nessa temperatura, os mesmos excedem o limite tolerado pelas turbinas, sendo necessário assim, resfriá-los até uma temperatura de 350 a 400 graus para que os vapores se condensem e se depositem. [41]

A condensação dessas partículas também apresentam riscos a operação, como incrustações nas superfícies dos equipamentos, causando obstrução de dutos, válvulas, filtros, etc. A grande maioria dos gaseificadores podem ser classificados de acordo com o tipo de leito utilizado, podendo assim, ser dividido em dois grandes grupos:

- Gaseificador de leito fixo
  - Gaseificador contracorrente
  - Gaseificador co-corrente
  
- Gaseificador de leito fluidizado

### 3.2.1. GASEIFICADORES DE LEITO FIXO

#### GASEIFICADOR CONTRACORRENTE

Esse gaseificador possui o método mais simples, mais antigo e ainda é amplamente utilizado na gaseificação de carvão mineral e em menor escala, na gaseificação de biomassa. O nome *contracorrente* se refere ao combustível ser alimentado por cima do equipamento e o ar (oxigênio) ser alimentado pela parte de baixo. O combustível desce em contracorrente ao ar.

Na base do gaseificador se localiza uma grelha, onde a biomassa entra em combustão, produzindo  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$ . Nela são atingidas as temperaturas mais elevadas. Os gases resultantes dessa combustão ao se expandirem pelo gaseificador continuam trocando calor com o combustível sólido que alimenta o equipamento, promovendo sua pirólise. Os gases que saem pelo topo do equipamento já se encontram a uma temperatura mais baixa e com a umidade retirada do combustível. As cinzas resultantes do processo saem pela base do gaseificador.

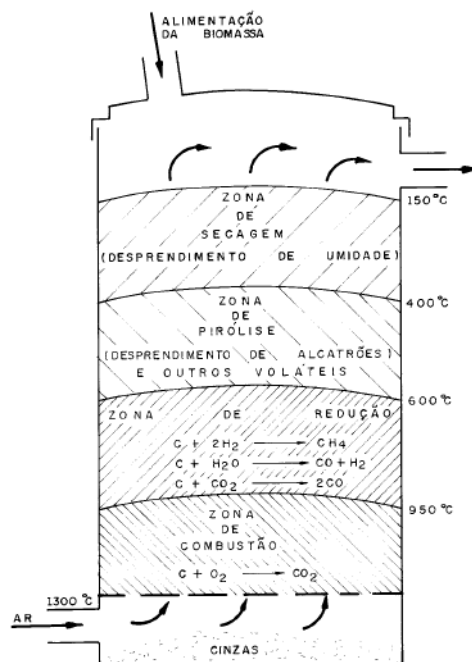


Figura 2.5: Gaseificador Contracorrente

Fonte: [42]

As vantagens dos gaseificadores contracorrente é a simplicidade operacional, a facilidade de gaseificar materiais com alto índice de umidade, materiais inorgânicos e o potencial de operar com altas temperaturas na grelha.

### **GASEIFICADOR CO-CORRENTE**

Nesse gaseificador o combustível e o ar fluem no mesmo sentido. Seu uso é mais indicado em combustíveis com alto teor de matéria volátil, como a biomassa. Sua principal característica é a capacidade do ar injetado conseguir queimar até 99,9% do alcatrão liberado pelo combustível. [34]

A máxima temperatura ocorre na fase gasosa do combustível e não mais na fase sólida como no anterior, pois o ar introduzido no gaseificador encontra primeiro a biomassa sólida, não queimada. O combustível fica localizado na parte de cima do gaseificador, onde sofre um preaquecimento e secagem devido a troca de calor por radiação.

Materiais com muita umidade têm dificuldade de aquecimento e secagem, além de formarem gases com alto teor de alcatrão. Esse modelo é indicado para combustíveis com umidade abaixo de 20% e granulometria uniforme. A partir de uma determinada temperatura, dependendo do combustível utilizado, a biomassa começa a liberar combustíveis voláteis que entram em ignição com o ar, formando uma chama que será responsável pelo esgotamento de toda a matéria volátil. A liberação de material volátil ocorre na “zona de destilação”. Acima dessa região encontra-se a “zona de secagem”. [34]

A desvantagem é que esse método tende a conter quantidades significativas de cinzas e fuligem, pois o gás é liberado diretamente na zona de redução e não passa por nenhuma filtragem, como ocorre nos gaseificadores contracorrente em que essas partículas são filtradas quando o gás passa pelo combustível. Os gases emitidos nesse método também apresentam temperaturas mais elevadas, pois não trocam calor diretamente com as zonas de pirólise e secagem.

Esse gaseificador foi amplamente utilizado durante a Segunda Guerra Mundial devido ao embargo de derivados de petróleo. Com o fim da guerra e a ampliação do uso de petróleo e gás natural, essa tecnologia foi abandonada, sendo retomada com a crise do petróleo na década de 70.

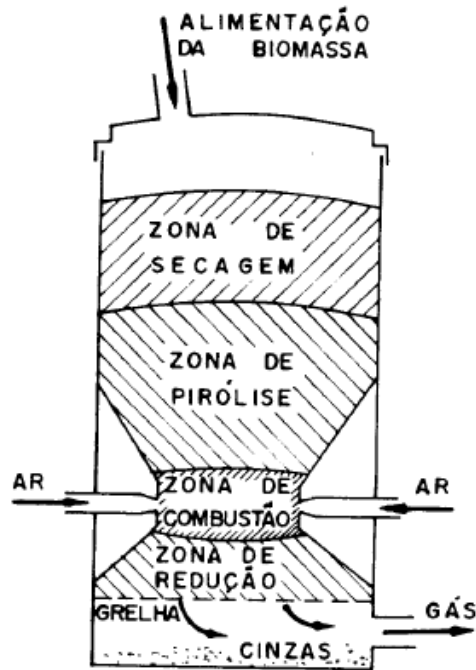


Figura 2.6: Gaseificador Co-Corrente

Fonte: [42]

### 3.2.2. GASEIFICADOR DE LEITO FLUIDIZADO

Os gaseificadores de leito fluidizado podem ser de leito borbulhante ou de leito circulante. A principal diferença entre eles é a velocidade com que o combustível atravessa o leito. O gaseificador de leito borbulhante foi o primeiro gaseificador de leito fluidizado a ser inventado. No leito circulante, o material atravessa o leito em uma temperatura mais alta.

O gaseificador de leito fluidizado pode operar inclusive com combustíveis com alto índice de umidade (até 65% de umidade). Normalmente, utiliza-se a areia como leito, a qual é aquecida e mantida em suspensão por um fluido que costuma ser o ar. A biomassa quando introduzida no leito, em contato com a areia aquecida, entra em combustão. É necessário um combustível auxiliar para aquecer o leito (GLP, carvão vegetal, etc.). O desempenho desse equipamento depende de variáveis como a temperatura do leito, velocidade superficial, pressão do reator e características da biomassa. Essa tecnologia é bastante promissora em combustíveis como bagaço de cana-de-açúcar e casca de arroz, pois esses combustíveis são de difícil gaseificação pelos métodos tradicionais devido a sua umidade, granulometria e baixa densidade.

[43]

### 3.3. CICLOS DE GERAÇÃO COM GASEIFICAÇÃO

Os ciclos tradicionais com combustão direta da biomassa, baseados em ciclos simples a vapor, possuem reduzido desempenho e não tem conseguido muitos avanços nos índices de eficiência energética. Parte dessa situação deve-se a cultura brasileira de enxergar o bagaço da cana apenas como um simples rejeito do processo de obtenção do açúcar.

O ciclo mais simples da gaseificação da biomassa é denominado BIG-GT, do inglês *Biomass Integrated Gasification Gas Turbine*. O mesmo possui baixo rendimento energético e menor custo, podendo operar sem um recuperador de calor ou de forma integrada em co-geração (com um recuperador de calor). Caso não seja operada em cogeração, a biomassa é gaseificada e o gás gerado aciona uma turbina a gás, que está acoplada a um gerador elétrico. Com o recuperador de calor são necessários dois geradores, um a gás e outro a vapor, sendo que esse último utiliza o calor recuperado da exaustão da turbina como fonte de energia.

Devido a sua baixa eficiência energética, o mesmo não é muito utilizado comercialmente. Segue um diagrama esquemático do processo na Figura 2.7.

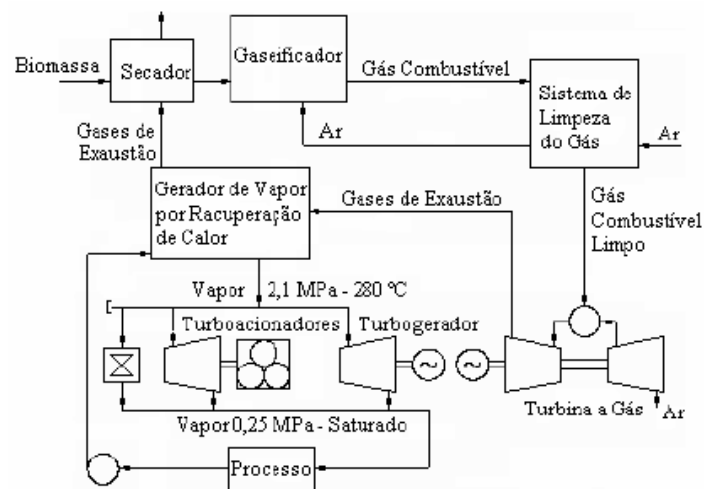


Figura 2.7: Biomass Integrated Gasification Gas Turbine – Ciclo BIG-GT

Fonte: [23]

## **BIOMASS INTEGRATED GASIFICATION STEAM INJECTED GAS TURBINE – BIG/STIG E BIG/ISTIG**

A tecnologia de combinação dos gaseificadores de biomassa com turbinas do tipo aeroderivativas com injeção de vapor recebem o nome de BIG/STIG. Nesse processo, a gaseificação da biomassa fornece o combustível da turbina a gás que aciona um gerador elétrico. Os gases provenientes da combustão e o vapor proveniente da caldeira recuperadora aumenta a potência na turbina a gás e reduz as emissões de NO<sub>x</sub>. A potência é elevada com o acréscimo dos gases e vapor devido ao aumento do fluxo mássico e devido ao aumento de temperatura do fluido de trabalho, aumentando consequentemente, a energia dos gases.

A água pode ser inserida com uma proporção até 50% da vazão de combustível e o vapor com uma proporção de 100% a 200%. A potência total nesse processo consegue ser até 30% maior que o ciclo simples de operação. A contrapartida é o custo com o tratamento de água, pois caso contrário, ocorre a degradação da turbina, inviabilizando a operação. [44]

A técnica BIG/ISTIG se diferencia da anterior pelo uso de um resfriador responsável em diminuir a temperatura do ar que será comprimido para alimentar a combustão. A consequência da inserção do resfriador é uma redução da potência requerida para compressão, elevando a potência disponível na turbina, e o aumento da temperatura de entrada dos gases na turbina.

Os refrigeradores reduzem a temperatura do ar no final da compressão, permitindo assim, a injeção de mais combustível e geração de uma potência maior. A principal restrição nas plantas de geração é a temperatura máxima suportada pelas turbinas e a refrigeração da mesma é feita com o ar extraído do compressor. Com a diminuição da temperatura do ar extraído do compressor, os gases de combustão que entram na turbina podem atingir temperaturas mais elevadas sem comprometer a operacionalidade da mesma.

Em ambas as técnicas, BIG/STIG e BIG/ISTIG, a qualidade do vapor d'água é fundamental para o bom funcionamento da turbina. Como a água em ambos os sistemas não é reaproveitada, a instalação da planta em locais com abundância de recursos hídricos se torna fundamental. Existem projetos com recuperação de água



nas plantas com ciclo de Brayton com injeção de vapor, mas o alto custo de implementação ainda inviabiliza a sua ampla utilização. [45]

### **3.4. CONEXÃO COM A REDE**

Com a expansão das usinas de cana-de-açúcar, a conexão das mesmas à rede de distribuição tornou-se um problema para a comercialização da energia excedente. O crescimento dessas usinas em regiões mais afastadas dos centros urbanos provoca um aumento de Geração Distribuída, pois normalmente, as usinas de cogeração a biomassa são interligadas ao sistema por meio das linhas de distribuição. Mas alguns estados têm o sistema de distribuição muito precário, não estando preparado para receber energia dessas usinas cogedoras. A melhor maneira dessas usinas se conectarem ao sistema é através de subestações coletoras, que por sua vez, estaria conectada ao Sistema Interligado Nacional. Dessa maneira, ainda minimizam-se o custo total dos investimentos.

Embora existam diversas leis e decretos à respeito da cogeração, as mesmas não determinam ao certo as responsabilidades das partes envolvidas. A legislação não é clara em relação à conexão com a rede, dificultando a exportação de excedente de energia elétrica das usinas geradoras.

As leis são bem definidas somente para o acesso à Rede Básica do Sistema Elétrico Brasileiro, que compreende as linhas de transmissão e subestações acima de 230kV. Normalmente, o setor sucroalcooleiro se conecta a Rede de Distribuição, não existindo, portanto, procedimentos legislativos bem consolidados. [22]

A ausência de medidas legislativa fragiliza o sistema elétrico como um todo, além de impedir um desenvolvimento expressivo da cogeração, deixando os autoprodutores altamente dependentes das condições estipuladas pelas concessionárias. É necessária a criação por parte da ANEEL e do ONS de procedimentos padrões a serem adotados pelas concessionárias.

Para que uma usina termoeletrica entre em operação são necessárias três tipos licenças. A primeira é conhecida como Licença Prévia – concedida no início do planejamento, a segunda é a Licença de Instalação – autoriza a instalação do

empreendimento, e a última é a Licença de Operação – autoriza a operação do empreendimento.

O gerador para se conectar com o sistema elétrico deve entrar em paralelismo e em sincronismo a concessionária local. A tensão da rede de distribuição varia de acordo com a região, mas normalmente se encontra na faixa de 13,8kV à 138kV. A conexão com geração a partir do bagaço da cana normalmente acontece a 13,8kV devido as características dos geradores normalmente usados nessas operações. [22]

O transporte de energia acima de 5MW na linha de 13,8kV acarreta em muitas perdas caso a distância seja significativa, pois as perdas são maiores em linhas com tensões menores. O transporte em linhas de tensões elevadas permite uma maior quantidade de energia a uma distância maior. Portanto, a tensão de 13,8kV só é viável para potências inferiores a 5MW a pequenas distâncias. [22]

No interior paulista, a maioria das usinas de cogeração com bagaço de cana ultrapassa 5MW de potência, conectando-se assim a tensões superiores a 13,8kV. Nesse caso, é necessário uma subestação para elevar a tensão a 69kV ou a 138kV. As concessionárias exigem do Produtor Independente alguns estudos para verificar a viabilidade da conexão. Normalmente, destacam-se os estudos de análise de curto-circuito, estudo do fluxo de potência, análise de sobretensões e coordenação de isolamento, estabilidade do sistema elétrico, coordenação da proteção e análise dos limites mecânicos e elétricos dos equipamentos, sendo as proteções referentes ao transformador, gerador e demais equipamentos de responsabilidade do produtor independente. [22]

O sistema de proteção é o responsável pela detecção, prevenção e isolamento das faltas. No Brasil ainda não há uma legislação específica sobre a conexão dos produtores independentes à rede de distribuição, não havendo uma padronização dos estudos e processos necessários para essa operação. Cada concessionária estabelece seus próprios critérios e requisitos exigidos, impondo condições muitas vezes desfavoráveis ao empreendedor.

Para o sistema de proteção normalmente exige-se relé de sincronismo, relé de subtensão, relé direcional de potência, relés de sobrecorrente instantâneo e

temporizado, relé de sobretensão, relé de sobre e subfrequência, religamento e relé de distância.

### **3.5. GERAÇÃO DISTRIBUÍDA**

A Geração Distribuída, conhecida também como geração descentralizada, localiza-se, por definição, próxima das cargas elétricas e pode ser definida como uma fonte de geração conectada diretamente na rede de distribuição ou no próprio consumidor. No Brasil, esse sistema de operação teve início na década de 90 e tem como objetivo reduzir os riscos de instabilidade, aumentar a confiabilidade do suprimento, suprir excesso de demanda (demanda de ponta), cobertura de apagões localizados ou generalizados e atendimento de cargas contínuas como hospitais, consumo industrial e etc.

A vantagem desse sistema é a economia em investimentos nas linhas de distribuição, redução das perdas, melhoras na estabilidade do serviço de energia elétrica, menor tempo de implantação e diminuição dos grandes impactos ambientais causados pelas longas linhas de distribuição. A Geração Distribuída serve para complementar o Sistema de Geração Centralizada.

O conceito de Geração Distribuída enquadra-se para fontes renováveis de energia, empreendimentos hidrelétricos com capacidade instalada inferior a 30MW e para cogeração com eficiência energética maior ou igual a 75%. Os empreendimentos a biomassa não têm essa limitação de eficiência. A geração distribuída é uma geração em pequena escala para consumidores localizados perto da fonte geradora.

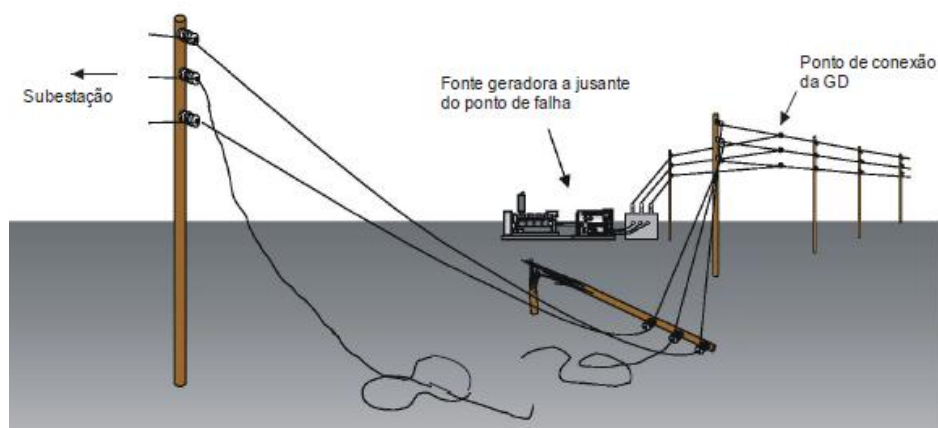
Quando ocorre um aumento de carga no sistema de distribuição a forma mais tradicional de resolver o problema é instalando novos equipamentos para aliviar a sobrecarga [46]. A falta de investimento nas linhas de distribuição pode comprometer a confiabilidade do serviço e aumentar os custos de operação e manutenção.

O uso das gerações distribuídas ajuda na redução do pico de demanda, podendo a concessionária postergar ou até evitar os investimentos em transmissão e distribuição. No Brasil, as perdas elétricas nas redes de transmissão podem chegar a 7% e no sistema de distribuição a 8%. No Rio de Janeiro, a perda está em torno de 14% e tem

casos como no Estado de Rondônia que chega a 28%. Portanto, a redução das perdas elétricas é uma forma de se aumentar a disponibilidade de energia. [47]

Em países como o Canadá, com tamanho semelhante ao do Brasil, essa perda é da ordem de 10%. A maior parte da eletricidade brasileira é de fontes hidrelétricas, onde os empreendimentos localizam-se longe dos locais de consumo. Essa perda significa que a energia não é consumida pelos usuários, embora os mesmos sejam obrigados a pagar pela mesma, pois a concessionária repassa esse custo aos consumidores com o aumento de tarifa.

Com a geração distribuída essas perdas podem ser reduzidas, pois há uma menor distância entre a fonte geradora e os consumidores finais, podendo haver uma melhoria na qualidade de serviço em áreas congestionadas, com uma maior confiabilidade nos horários de ponta ou em casos de acidentes naturais, evitando os períodos sem o fornecimento de energia.



**Figura 2.8: Ilustração da minimização de interrupções no fornecimento de energia devido a Geração Distribuída**

Fonte: Sociedade Brasileira de Planejamento Energético [55]

Locais isolados ou com difícil acesso às linhas de transmissão ou distribuição podem ser beneficiados pela geração distribuída, pois como se localizam próximo da geração não necessita desses sistemas de transmissão.

Um dos fatores que impossibilitam um maior crescimento da geração distribuída é o alto custo das tecnologias empregadas. Há uma dificuldade em se obter financiamentos na aquisição dos equipamentos por parte das empresas de pequeno porte. Como algumas tecnologias são importadas o custo da manutenção é elevado,

além do custo da eletricidade gerada ser alta quando comparada com a das distribuidoras.

O sistema brasileiro de distribuição é um sistema radial, logo, a inserção de geradores pode modificar essa configuração para um sistema em anel. A proteção largamente utilizada no nosso sistema não é adequada para detectar um fluxo bidirecional de potência, portanto, a proteção do nosso sistema deverá ser reconfigurada para esta nova condição. Muitas concessionárias por não saberem o impacto que essa modificação resultaria no sistema de distribuição optam pela não utilização da geração distribuída.

A contratação desse tipo de modalidade acontece por Chamada Pública promovida pelo agente de distribuição. É estabelecido que o montante da energia elétrica contratada não pode exceder a 10% da carga do agente de distribuição.[46]

## CAPÍTULO 4: COMPETITIVIDADE DA BIOMASSA EM RELAÇÃO ÀS DEMAIS FONTES

### 4. CONTRATAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Com a nova regulamentação de 2004, algumas barreiras para a comercialização da bioeletricidade foram eliminadas e a *energia firme*<sup>15</sup> passou a ser calculada com base na produção média de energia ao longo do ano, sendo assim para qualquer gerador, impedindo a discriminação contra as usinas de produção sazonal ou em funções de condições climáticas, como PCH e eólica, por exemplo.

As distribuidoras só podem contratar energia através de licitações conjuntas realizadas anualmente. No caso das térmicas, o gerador é contratado por disponibilidade, ou seja, recebe um pagamento fixo e é compensado pelo custo operativo quando é acionado, reduzindo o risco do investidor e diminuindo a preocupação das distribuidoras quanto à confiabilidade no cumprimento dos contratos, com multas em caso de falha.[49]

Como consequência, novos projetos de co-geração começaram a surgir. Em São Paulo, estado que concentra o maior cultivo de cana, apresentou entre os anos 2001 e 2010 um crescimento de aproximadamente 93% na produção energética estadual, devido principalmente a participação de insumos primários renováveis, como caldo de cana, melaço, bagaço e lixívia. Atualmente, existem 223 usinas de cogeração operantes em São Paulo, o que corresponde a 52% do total do país. Até 2009, a bioeletricidade sucroenergética produzida a partir do bagaço e da palha da cana, respondia por 3% da matriz elétrica do país. Entre 2015 e 2016, estima-se que esta participação pode chegar a 11%, com 8.158 MW. Entre 2018 e 2019, o setor tem condições de atingir a capacidade de geração de 14.000 MW.[50]

A comercialização de energia acontece em dois ambientes de mercado: o Ambiente de Contratação Livre – ACL e o Ambiente de Contratação Regulada – ACR. No ACL, a negociação ocorre livremente entre geradoras e consumidores, onde o consumidor negocia o preço da sua energia diretamente com os agentes geradores e comercializadores, podendo escolher quem será o seu fornecedor de energia.

---

<sup>15</sup> O conceito de Energia Firme surgiu no final do século XIX e significa a máxima capacidade de geração de uma usina capaz de atender continuamente uma determinada demanda mesmo na ocorrência de seqüência mais seca registrada no histórico de vazões.

Já no ACR, as geradoras são escolhidas por leilões de acordo com o menor preço ofertado e os contratos são formalizados pelos Contratos de Comercialização de Energia Elétrica no Ambiente Regulado - CCEAR. Os contratos são celebrados entre o agente vencedor do leilão e todos os agentes de distribuição.

Existem duas modalidades de CCEAR: os *Contratos de Quantidade de Energia* e os *Contratos de Disponibilidade de Energia*. No Contrato por Quantidade, o gerador se compromete a entregar o montante de energia contratado, seja ele produzido fisicamente ou comprado no “mercado livre”. Os riscos hidrológicos e os custos de fornecimento são responsabilidade dos geradores, enquanto no contrato por disponibilidade, o consumidor paga um montante fixo ao investidor e quando a usina entra em operação o consumidor é responsável pelas parcelas variáveis do custo operativo e transações no CCEE. A variação da produção de energia em relação a Garantia Física é repassado aos consumidores regulados.

Uma usina termelétrica pode atuar simultaneamente no mercado regulado e no mercado livre. É declarada a fração da usina comprometida com o mercado regulado e o restante pode comercializar energia no ambiente de contratação livre, atuando por contratos de disponibilidade de energia. Os agentes geradores nesse caso são pagos de acordo com a sua garantia física, e não de acordo com a energia efetivamente gerada.

Foi estabelecido em 2004 que o lastro para venda de energia é igual à garantia física do empreendimento de geração, sendo o Ministério de Minas e Energia o responsável pelo cálculo dessa garantia física através do software NEWAVE. Ou seja, de acordo com a EPE, a garantia física é a máxima energia que a usina pode comercializar. No caso da biomassa o investidor informa a previsão de despacho médio da usina ao longo dos meses do ano considerando todos os fatores que influenciam no funcionamento da usina, como o período de safra, as taxas de paradas forçadas, chuvas, dentre outros. Com esses dados a EPE calcula o montante de energia anual da usina, sendo essa a sua garantia física. Os contratos realizados pela CCEE consideram o montante de energia que o proprietário da usina deve fornecer ao consumidor, cabendo ao fornecedor descontar da sua oferta de energia futuras perdas. [51]

No caso da bioeletricidade o utilizado também é o contrato por disponibilidade, pois devido ao caráter sazonal da produção o contrato de venda por quantidade seria muito arriscado. Porém, no caso das hidrelétricas o usual é o contrato por quantidade. [52]

A maior chance de comercialização de energia a biomassa está na Contratação Regulada - ACR, por meio de leilões de Energia Nova e leilões de Fontes Alternativas. Mas estudos apontam um aproveitamento baixo deste tipo de energia nas fases iniciais dos leilões. Segundo a UNICA – União da Indústria de Cana-de-açúcar os motivos de desistência são a falta de obtenção da Licença Prévia (LP) com 64% das desistências; falta de acesso à rede de transmissão, com 27% e os preços baixos, responsáveis por 9% das desistências.

São através dos leilões de geração de energia que se realizam as concessões de novas usinas e se estabelecem os contratos de suprimento de demanda futura das distribuidoras de energia. Os mesmos são promovidos pelo Poder Público com o objetivo de estimular a concorrência entre as empresas da área para se obter energia elétrica em um determinado prazo futuro. Neles, são definidas as participações das fontes de energia que serão utilizadas na geração, podendo ser hidrelétrica, nuclear, biomassa e as demais utilizadas no sistema brasileiro, visando equilibrar e aumentar a diversificação energética do país. Os leilões são divididos em diversas fases, como segue resumidamente abaixo.

### **Etapa 1: Estudos técnicos**

A EPE apresenta a situação energética do país, apresentando os estudos técnicos e suas projeções. Esses estudos são analisados pelo MME que define as estratégias e a metodologia do leilão, como por exemplo, o número de fases, o tipo de fonte energética, dentre outras.

### **Etapa 2: Ambiente Legal**

Esta é a fase em que é divulgada a Portaria Ministerial. Nessa Portaria são divulgadas informações como o tipo do leilão (energia nova ou existente), a possível data de realização do mesmo, forma de realização, presencial ou via *Internet*, e todas as informações necessárias para a realização do referido leilão.



São estipulados os prazos para que os empreendedores de geração cadastrem seus empreendimentos e os prazos para as distribuidoras informarem os montantes que desejam adquirir de energia. O cadastro do empreendimento no leilão é feito mediante uma ficha de dados que é analisada pela EPE.

### **Etapa 3: Sistemática do Leilão**

Nesta etapa é definida a sistemática do leilão. Após definida essa sistemática pela ANEEL e a CCEE, é divulgada uma portaria contendo todas as informações, como fases, rodadas, tipo de produtos dentre outros.

### **Etapa 4: Operação**

Nesta etapa a EPE habilita tecnicamente os empreendimentos que participarão do leilão. São divulgados valores como Garantia Física - GF, Custo Variável de Operação - COP e Custo Econômico de Curto Prazo - CEC. Os empreendimentos fazem depósitos de garantias que chegam a 1% do total do investimento declarado. Em seguida, realiza-se o leilão.

### **5ª Etapa: Análise e Documentação Pós Qualificação**

As empresas que conseguiram vender ou comprar energia no referido leilão devem apresentar toda a documentação de pós qualificação à ANEEL. No documento denominado “Termo de Ratificação do Lance”, é confirmado o valor de lance apresentado no leilão. Também deverá ser depositado a “Garantia de Fiel Cumprimento”, estipulado em 10% do total do investimento para a ANEEL. Feito isso, a ANEEL emite uma outorga a favor do empreendimento e são assinados os contratos CCEAR.

Os leilões são realizados com data de entrega de energia em 1 ano, 3 anos ou 5 anos, sendo respectivamente “A-1”, “A-3”, “A-5”.

#### **4.1. LEILÃO DE FONTES DE ENERGIA ALTERNATIVA**

De acordo com o decreto nº 6.048 do ano 2007, os projetos de fontes alternativas podem participar dos leilões A-1, A-3 ou A-5. Porém, projetos com fontes alternativas costumam ser mais caros do que os que utilizam fontes convencionais, tornando a concorrência desleal. Dessa forma, foram criados leilões direcionados apenas para

fontes renováveis de energia, visando aumentar a participação dessas fontes na matriz energética brasileira. Os empreendimentos que utilizam biomassa como matéria-prima poderão ter a energia contratada por leilões de energia nova, existentes ou no mercado livre.

O primeiro leilão de fontes alternativas ocorreu em 2007 com a data de entrega de energia para 1 de Janeiro de 2010. Participaram do leilão projetos eólicos, a biomassa e PCH's, porém nenhuma energia eólica foi contratada. Na época em que o leilão foi realizado, o preço das usinas eólicas ainda era muito caro comparado as demais fontes.

**Tabela 3.1: Resultados do primeiro leilão de fontes alternativas**

Fonte: Programa de Planejamento Energético – COPPE [53]

1 LFA	Nº Projetos	Capacidade (MW)	Capacidade média (MW)	Preço Médio (R\$/MWh)
PCH	6	96,74	46	134,99
Biomassa	12	541,9	140	138,85
Eólica	0	0	0	225
Total	18	638,64	186	137,56

**Tabela 3.2: Resultados do primeiro leilão de fontes alternativas**

Fonte: Programa de Planejamento Energético – COPPE [53]

Fonte	Potência (MW)	Energia (MW médios)	Preço (R\$/MWh)
PCH	96,74	46	134,99
Biomassa de bagaço de cana	511,9	115	138,85
Biomassa de criadouro avícola	30	25	138,85

Em 2010, ocorreu o segundo leilão de fontes alternativas e de acordo com o edital, as PCH's que foram contratadas deverão fornecer energia por 30 anos a contar de 2013 e a geração eólica e a biomassa deverão gerar energia por 15 anos também a partir de 2013.

**Tabela 3.3: Resultados do segundo leilão de fontes alternativas**

Fonte: Programa de Planejamento Energético – COPPE [53]

LFA 2	Nº Projetos	Capacidade (MW)	Capacidade média (MW)	Preço Médio (R\$/MWh)
PCH	5	101	48,1	146
Biomassa	1	65	22,3	138
Eólica	50	1.519,6	643,9	134
Total	56	1.685,6	714,3	135,48

#### 4.1.1. LEILÃO DE RESERVA

Os leilões de reserva tinham como objetivo garantir a segurança de suprimento da energia contratada. O primeiro leilão ocorreu em 2008 e até o ano de 2009 o leilão era direcionado apenas para uma única fonte de geração, sendo em 2010 o primeiro leilão em que houve competição entre as fontes alternativas. No ano de 2008, somente a biomassa participou como fonte geradora. No segundo leilão de reserva, promovido em 2009 participaram somente usinas eólicas.

No terceiro leilão de reserva, promovido em 2010, as três fontes alternativas puderam participar. No caso da biomassa, foi contratado projetos para entrar em operação em 2011, 2012 e 2013, com duração de 15 anos. As usinas eólicas fornecerão energia por 20 anos, enquanto as PCH's fornecerão por 30 anos. Os leilões foram realizados no dia 25 e 26 de agosto de 2010, portanto, serão analisados em conjunto.

**Tabela 3.4: Resultados do terceiro leilão de Reserva**

Fonte: Programa de Planejamento Energético – COPPE [53]

Fonte	Projetos	Potência (MW)	Energia (MWh médios)	Preço (R\$/MWh)
PCH	7	131,5	69,8	141,93
Biomassa de bagaço de cana	12	712,9	190,6	144,20
Eólica	70	2.047,8	899	130,86

No quarto leilão de Reserva participaram apenas energia das fontes eólicas e biomassa, em contratos de quantidade de energia. As usinas eólicas representaram mais de 80% da energia contratada.

Dos projetos contratados a biomassa, três são projetos novos, sendo os restantes projetos já existentes. Houve uma redução considerável nos projetos a biomassa. O início de entrega da energia está previsto para 2014 com duração de 20 anos.

**Tabela 3.5: Resultados do quarto leilão de Reserva**

Fonte: Empresa de Pesquisa Energética - EPE [54]

Fontes	Nº de Projetos	Energia (MWh médios)	Potência Instalada (MW)
Biomassa	7	38	357
Eólica	34	422	861

Nesse leilão os empreendimentos são comparados pelo Índice de Classificação dos Empreendimentos - ICE. Esse índice indica o custo médio da energia para o consumidor, considerando que o Custo Variável Unitário - CVU é nulo para os empreendimentos a biomassa. No caso de usinas a biomassa, o CVU é nulo porque o combustível (bagaço de cana) não tem valor comercial.

Nos Leilões de Energia Nova é utilizado o Índice de Custo Benefício-ICB, enquanto nos Leilões de Reserva é utilizado o ICE. Os empreendimentos são contratados por ordem crescente de valor até que as demandas declaradas sejam alcançadas. [55]

Nos Leilões de Energia Nova as usinas se comprometem em atender a energia contratada ao longo de todo o ano. Assim, nos períodos de safra as usinas geradoras vendem a energia gerada pela usina, mas nos meses de entressafras elas são obrigadas a comprar a quantidade de energia necessária no mercado de curto-prazo, conhecido também como mercado spot, para cobrir a energia contratada.

Nos Leilões de Reserva, as usinas garantem apenas o fornecimento de energia no período de safra, não havendo a compra de energia nos períodos de entressafra. Enquanto no período de safra, toda a geração produzida é vendida.

#### **4.1.2. LEILÕES DE ENERGIA NOVA**

Os leilões de energia são divididos em duas categorias principais: Leilões de Energia Nova e Leilões de Energia Existente. Nesse último, o objetivo é a venda de energia de empreendimentos existentes. Esses leilões são realizados no ano anterior ao ano de entrega de energia, sendo classificados como leilões do tipo "A-1".

Os leilões de Energia Nova são provenientes de empreendimentos que ainda não iniciaram suas construções, sendo do tipo "A-3" e "A-5". Normalmente, as grandes usinas termelétricas e as hidrelétricas participam do "A-5" e as usinas com prazos de construção menores, como PCH's, eólicas e outras participam do "A-3". As usinas contratadas nos leilões "A-5" e "A-3" devem entrar em operação dentro de cinco anos e três anos, respectivamente. O objetivo desses leilões é permitir a compra antecipada de energia para o atendimento da demanda estimada em 3 anos ou 5 anos a frente. Antes da realização dos leilões, as distribuidoras registram a quantidade de energia que desejam contratar.

Os empreendimentos são classificados em ordem crescente dos preços que estão dispostos a fornecer, sendo separados os empreendimentos termoelétricos dos hidrelétricos. A quantidade de energia demandada da fonte termoelétrica ou hidrelétrica não é determinada pelos preços relativos das fontes, e sim, por um parâmetro previamente estabelecido pelo Ministério de Minas e Energia. O mesmo fixa a quantidade mínima de energia elétrica a ser demandada por fontes termoelétricas, com o intuito de diversificar a matriz energética de acordo com o estabelecido no Plano Decenal de Energia Elétrica. [56]

Ou seja, são escolhidos os menores preços dentro da mesma categoria de geração, respeitando os percentuais mínimos de energia advinda de cada fonte energética previamente estabelecida. Os projetos vão sendo selecionados até que o montante de energia ofertada seja suficiente para atender a energia demandada.

O decreto 5.163 de 2004 define os procedimentos para o leilão de Energia Nova. O mesmo define que a EPE é a responsável pelos cálculos de algumas grandezas como o Índice de Custo Benefício, por exemplo. Essa grandeza serve para comparar os empreendimentos de diversas centrais térmicas. Assim, o Índice de Custo Benefício (R\$/MWh) pode ser calculado com uma base mensal ou anual de cada empreendimento de geração.

$$ICB = \frac{\text{Custos Fixos} + \text{COP} + \text{CEC}}{GF}$$

Fonte: EPE [55]

Sendo Custos Fixos a receita requerida pelo investidor de forma a cobrir todas as despesas com a implantação da usina, além dos custos de operação e manutenção da usina, como os custos com combustíveis, custos de conexão com a rede básica, tarifas como TUST e TUSD, dentre outros.

Os Custos Variáveis de Operação - COP correspondem ao valor de operação acima da sua inflexibilidade (R\$/ano). O valor é calculado pela EPE com base em uma simulação estática considerando cenários de afluições futuras.

O Custo Econômico de Curto Prazo (R\$/ano) - CEC resulta das diferenças mensais entre o despacho efetivo da usina e sua Garantia Física, para este efeito considerada

totalmente contratada. O CEC anual de uma usina é a média dos CEC mensais de todos os cenários.

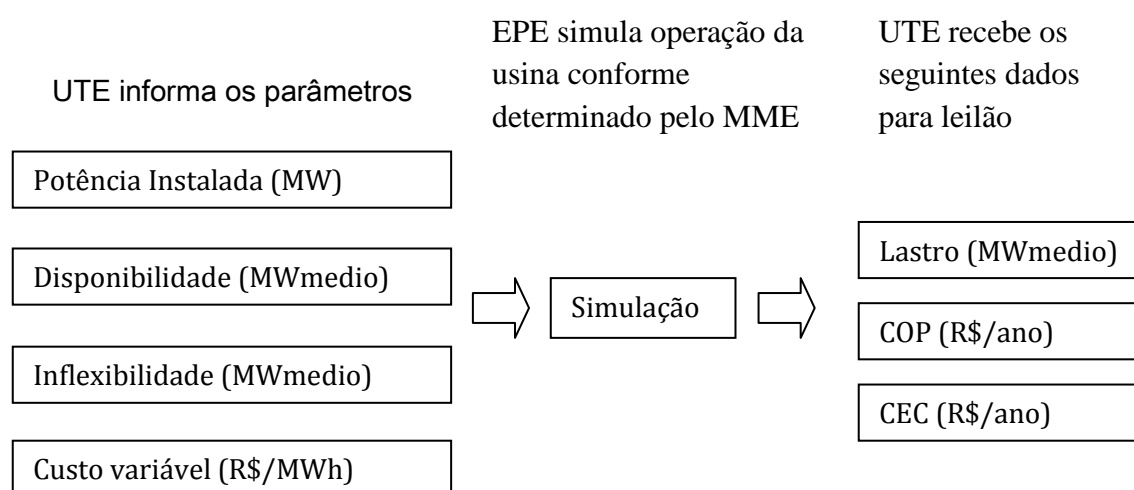
O denominador da fórmula, a garantia física (GF) ou Energia Assegurada (MW médio) é a quantidade máxima de energia que pode ser comercializada nos contratos de venda de energia. De acordo com a CCEE, a Garantia física do Sistema corresponde a máxima carga que pode ser suprida a um risco pré-fixado de 5% de não atendimento da mesma.

Nos leilões, as usinas são ordenadas de acordo com os valores de ICB até atingirem o montante de energia requerido. No caso da bioeletricidade o COP=0, pois o COP é em função do CVU.

$$COP = CVU \cdot Ger - Inflex \cdot horas$$

Custo Variável Unitário (CVU) - Representa o custo de cada MWh gerado pela usina, expresso em R\$/MWh, para cobrir todas as despesas de operação da usina, exceto os já cobertos pela Receita Fixa.

O COP considera os custos adicionais quando a usina gerar acima da sua inflexibilidade declarada. Esses custos são basicamente os combustíveis e os custos incrementais de operação. A inflexibilidade – Inflex é a necessidade de uma usina em gerar um mínimo de energia em consequência de um contrato de fornecimento. [57]



**Figura 3.1: Diagrama Esquemático das Etapas Antes do Leilão de Energia**

Fonte: Elaboração própria

Já as usinas a biomassa só podem fornecer energia ao Sistema Elétrico em período de safra. Portanto, cabe ao empreendedor fornecer o número de máquinas e potência de cada uma, para definir a Potência Instalada do empreendimento, o fator de capacidade máxima para cálculo da potência efetiva, a taxa equivalente de indisponibilidade forçada e a indisponibilidade programada-IP. [58]

Utiliza-se esses dados para o cálculo da Disponibilidade Energética Máxima do empreendimento (MW médios). O empreendedor deve fornecer a disponibilidade de energia, informando os valores médios mensais, devendo ser cada um desses valores inferiores a disponibilidade máxima calculada. Essa disponibilidade deverá ser dada já com o abatimento das perdas elétricas até o ponto de conexão (rede básica ou rede de distribuição). Esses valores de disponibilidade de energia estão associados a disponibilidade de combustível.

Outro fator que aumenta a competitividade das usinas a biomassa de cana-de-açúcar nos leilões é o fato do seu período de geração coincidir com o período hidrológico mais seco, fazendo com que aumentem os valores dos PLDs. Uma termelétrica de baixo custo fixo e elevado custo variável (por exemplo, a óleo diesel) pode ser bastante competitiva se a expectativa de despacho termelétrico a longo prazo for baixa. [59]

Conforme a necessidade de despacho termelétrico aumenta, usinas de custo variável mais baixo, como as usinas a gás em ciclo combinado e usinas a carvão, tornam-se mais competitivas. Por isso, a importância de diversificação de fontes de energia, combinando-se sazonalidades de demanda e de oferta.

Os custos fixos representam os custos do empreendimento com a instalação da planta, operação e manutenções fixas, enquanto os custos variáveis são os custos para se gerar energia elétrica, ou seja, são os custos com o combustível, operação e manutenções variáveis, etc.

As usinas que possuem baixo custo fixo e elevados custos variáveis, como as que utilizam óleo diesel, por exemplo, são utilizadas nos horários de ponta de carga. Já as usinas com baixo custo variável e elevado custo fixo são as responsáveis pelo atendimento do sistema durante o ano, são chamadas de usinas de base. Existem também as usinas com custos fixos e variáveis intermediários, operando no horário de

carga média e pesada. Quanto maior for o custo variável da usina, menor será sua garantia física, pois menor será a probabilidade dessa usina vir a ser despachada pelo ONS.

Em 2007 foi estabelecido os critérios para o despacho de uma usina independente das relações comerciais do empreendimento. Isso foi feito objetivando a segurança energética do sistema. Caso o nível de água dos reservatórios estivesse abaixo do nível de segurança determinado pela Curva de Aversão ao Risco – CAR ou por determinação do CMSE – Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico, uma usina poderia ser despachada mesmo estando fora da ordem de mérito de preço.

O ONS é responsável por controlar a oferta e a demanda do sistema elétrico, determinando quais usinas devem ser acionadas para cobrir a demanda prevista. Essa escolha é baseada no custo de geração de cada usina, sendo as hidrelétricas as de menor custo de geração e por isso são normalmente acionadas antes das usinas térmicas. Porém, diante da possibilidade de faltar água nos reservatórios, o CMSE pode determinar que usinas térmicas gerem antes das hidrelétricas, não respeitando a ordem de mérito econômico.

Existe também a possibilidade da usina termoelétrica despachar na prática um número de horas maior do que o estimado no cálculo do COP, o custo de geração maior do que o previsto. Isso pode acontecer devido à falta de água nos reservatórios das hidrelétricas ou quando a demanda de energia elétrica cresce mais do que o previsto pelas distribuidoras.

Os Custos Marginais de Operação – CMO e o Preço de Liquidação das Diferenças – PLD representam respectivamente o custo em reais de se gerar 1 megawatt hora e o preço de curto prazo em R\$/MWh. No caso das usinas hidroelétricas, além dos custos com manutenção e operação, o CMO dessas usinas dependem do custo futuro da água, ou seja, dependem da quantidade de água em seus reservatórios [59].

Na região Sudeste, a geração a biomassa ocorre no período em que o CMO está elevado e conseqüentemente o PLD também está elevado, sendo o período de escassez das hidroelétricas. Porém, na época de entressafra os geradores a biomassa precisam comprar energia para conseguirem cumprir os contratos, mas o CMO



encontram-se em valores mais baixos, ou seja, a geração a biomassa complementa a geração hídrica.

Já a contratação no ACL da bioeletricidade é um pouco mais complexa do que no ACR, pois a sazonalidade da geração da usina dificulta a comercialização nesse ambiente, sendo altos os custos para um agente individual.

Devido ao aspecto considerado acima, existem as iniciativas de comercialização de biomassas juntamente com PCHs no intuito de aproveitar a complementariedade da geração dessas fontes de energia. A Resolução Normativa da ANEEL nº 247 regulamenta o uso de Geradores Incentivados combinados com outros geradores para compensar os períodos de baixa na produção.

**Geradores incentivados:**

- PCH com potência superior a 1MW e igual ou inferior a 30MW com produção independente ou autoprodução;
- Empreendimentos hidroelétricos com potência menor ou igual a 1MW;
- Empreendimentos a partir de fontes eólicas, biomassa ou solar menor ou igual a 30MW;

A ANEEL determina que a complementação de geração para geradores incentivados com outras fontes energéticas poderá ser até 49% da sua garantia física por outras fontes. O consumidor e gerador deverão assinar o CCEI (Contrato de Compra de Energia Incentivada). [60]

Além do incentivo de redução de 50% nas tarifas de distribuição e transmissão pelo fato de ser fontes renováveis, existe também a possibilidade para geradores a biomassa cuja potência instalada seja menor ou igual a 30 MW a venda direta a consumidores cuja a carga supere 0,5MW, enquanto aos demais consumidores livres necessitam ser superior a 3MW.

## **CAPÍTULO 5: ESTUDO DE CASO – ESTUDO ECONÔMICO ENTRE A GERAÇÃO A BIOMASSA E A GERAÇÃO A DIESEL EM UMA INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA**

Neste capítulo será abordada a economia de uma usina sucroalcooleira quando a mesma opta pela queima do bagaço da cana-de-açúcar para gerar energia elétrica ao invés de comprar energia de fornecedores para alimentar o seu processo de fabricação de açúcar e álcool. Nessa mesma situação, está sendo considerada uma usina distante das linhas de distribuição da concessionária local, sendo, portanto, necessário contratar outra fonte de energia para atender a sua demanda sucroalcooleira.

Portanto, esse trabalho abordará duas situações distintas, uma considerando a utilização do bagaço da cana-de-açúcar como combustível de geração de energia elétrica para atender a demanda da fabricação sucroalcooleira, enquanto a segunda situação considerará a contratação de uma planta a diesel para o fornecimento de energia elétrica para atender a demanda interna da fábrica. Nem todas as usinas sucroalcooleiras utilizam o resíduo da cana, o bagaço, para gerar energia elétrica, muitas ainda continuam contratando os serviços da concessionária local para atenderem o seu consumo de energia.

O objetivo desta seção é apresentar as diferenças entre esses dois cenários, apontando os custos dessa escolha para o empreendedor, as vantagens, o tempo de implantação de cada uma das fontes geradoras e o retorno financeiro desses dois projetos. O estudo será realizado com base nos dados da Usina Catanduva, localizada no interior de São Paulo, com uma geração de 10MW para consumo próprio na fabricação de açúcar e álcool.

A área rural brasileira, por conter pequenas comunidades distribuídas dispersamente dificultam a eletrificação, sendo no início do século XXI doze milhões de pessoas excluídas da eletricidade. Em situações como essa a alternativa é a contratação de sistemas isolados de geração a diesel ou a espera pela construção da linha de distribuição por parte da concessionária mais próxima. [61]

## **5. METODOLOGIA**

Foi considerada a Dissertação [32] para obtenção dos dados da Usina Catanduva, onde a mesma foi utilizada como objeto de estudo desse trabalho, além de informes do setor elétrico, entrevistas telefônicas com engenheiros do setor sucroalcooleiro e reuniões com gerentes do setor termoelétrico.

A idéia não foi fazer um levantamento do setor sucroenergético, e sim, conversar com profissionais da área para entender como funciona a integração entre a fabricação de açúcar e etanol em paralelo com a geração de energia. Os profissionais que participaram da pesquisa foram engenheiros da área técnica e profissionais da área de vendas.

Os custos de investimento, operação e manutenção, potência gerada, auto-consumo e tipos de equipamentos foram levantados tendo como referência os custos e modelos de empreendimentos similares ao analisado.

Foi assegurado o sigilo em relação à identificação das empresas e dos informantes, garantindo que as informações recebidas seriam utilizadas apenas com a finalidade acadêmica.

O estudo de caso foi dividido em duas situações distintas, onde a primeira considera a utilização do bagaço de cana-de-açúcar como combustível na geração de eletricidade para atender a produção de uma indústria sucroalcooleira de 10MW. Em uma segunda etapa, é considerada a contratação de energia elétrica por uma empresa de geração a diesel, não sendo utilizado o resíduo da produção sucroalcooleira para a geração de eletricidade.

### **5.1.HISTÓRICO DA USINA DE CATANDUVA**

A Usina de Catanduva começou a operar em 1933 no município de Itapira, no leste paulista. Inicialmente começou com uma única unidade e hoje já são quatro unidades instaladas, sendo elas Itapira, Catandura, José Bonifácio e Monções. É uma empresa de fabricação de açúcar e álcool, de controle familiar, com mais de 6.800 empregados diretos e com diversos programas de responsabilidade social.

A última unidade instalada foi Monções em 2008, sendo a capacidade de produção da Usina Catanduva na safra de 2008/09 representada na Tabela 4.1.

**Tabela 4.1: Capacidade de Produção da Usina Catanduva**

Fonte: Elaboração Própria

Unidades	Sacos de 50 Kg Açúcar	Álcool (litros)
Itapira	1.635.400	74.807.621,04
Catanduva	4.315.817	217.689.260,90
José Bonifácio	3.681.109,10	79.683.298,13
Monções	1.583.236	38.926.651,34
<b>Total</b>	<b>11.215.562,10</b>	<b>411.106.831,41</b>

Desde 1996, a Usina Catanduva participa de uma política de preservação ambiental para recuperar a mata nativa, onde cada unidade da usina planta um determinado número de mudas, além de está inserida no Projeto Etanol Verde, cujo objetivo é consolidar o desenvolvimento sustentável no setor sucroalcooleiro, como o estímulo a eliminação das queimadas nos canaviais, proteção das áreas de preservação permanente, conservação do solo, utilização da água na indústria de forma racional, técnicas de descarte de embalagens de agrotóxico e minimização das emissões atmosféricas nas chaminés das fábricas.

Em 2003, foi adotada a *Agricultura de Precisão*, uma tecnologia que utiliza sinais de satélite, equipamentos eletrônicos e Sistema de Posicionamento Global – GPS para localizar de forma exata e precisa as áreas e linhas de cultivo para orientar a aplicação de defensivos agrícolas. Com os dados coletados as máquinas e equipamentos trabalham com as informações pré-estabelecidas inseridas em sua memória.

A usina também possui laboratórios que analisam quimicamente o solo para auxiliar um maior aproveitamento da sua fertilidade, permitindo uma avaliação e correção de acordo com os padrões agrônômicos. A unidade de Itapira possui ainda um laboratório de entomologia<sup>16</sup> onde são criados insetos e outros inimigos naturais das pragas de cana-de-açúcar a fim de realizar o seu controle biológico. Além desses estudos sobre o solo, também são realizados monitoramentos das principais pragas, com o intuito de diminuir a utilização de produtos químicos, contaminações no solo e impactos ambientais.

---

<sup>16</sup> É a ciência responsável por estudar os insetos sob todos os aspectos e sua relação com o ser humano, com as plantas e com os outros animais

A Usina Catanduva está constantemente buscando alternativas tecnológicas que melhorem e otimizem a produção, mas de forma que minimizem os impactos ambientais. Foi estipulado um convênio entre a usina, o Centro de Tecnologia Canavieira – CTC, o Instituto Agrônomo de Campinas – IAC e Universidade Federal de São Carlos – UFSCAR para desenvolver um Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-Açúcar, visando a busca por modificações genéticas que se adaptem a cada região, mudas mais produtivas e com maior resistência a pragas.

Em paralelo aos projetos de cunho ambiental, a empresa também iniciou um programa educacional desde a alfabetização à pós-graduação, como cursos de ensino fundamental e médio, técnicos na área agrícola, MBA's e mestrados na área de agroenergia. Os próprios funcionários da usina também são incentivados a continuar os estudos e contribuir para o desenvolvimento da companhia.

A Usina Catanduva compreende a importância do desenvolvimento sustentável e do conceito de responsabilidade social atrelado ao desenvolvimento econômico. Do ponto de vista econômico, a necessidade da preservação do meio ambiente deve ser cumprida levando em consideração o aspecto da rentabilidade, tendo retorno ao investimento realizado pelo empreendedor. Nesse contexto técnico-econômico, o diretor e engenheiro agrimensor afirma que a quantidade de cana processada aumenta consideravelmente a cada safra, aumentando também o número de bagaço gerado, pois cada tonelada de cana moída gera 260Kg de bagaço.

Os dados coletados [32] apresentam a tonelada de cana processada desde a safra de 2004/05 à safra 2008/09. Considerando o caso mais crítico, que apresenta o menor aumento na produção entre as safras, sendo na safra de 07/08 para 08/09 e considerando esse mesmo aumento a cada safra, tem-se uma estimativa da quantidade processada nos dias hoje, considerando o pior caso no horizonte de 2004 à 2009.

**Tabela 4.2: Safra da Usina Catanduva de 2004/05 à 2012/13**

Fonte: Elaboração Própria

Safra	Cana processada (ton)	Bagaço gerado (ton)
04/05	3.584.729,67	932.030
05/06	3.671.481,23	954.585
06/07	3.912.799,21	1.017.328
07/08	4.005.475,71	1.041.424
08/09	4.039.739,22	1.048.840

<b>ESTIMATIVA</b>	09/10	4.074.002,73	1.059.200
	10/11	4.108.266,24	1.068.100
	11/12	4.142.529,75	1.077.100
	12/13	4.176.793,26	1.086.000

Apenas como informe comparativo, a média do setor é para cada tonelada de cana-de-açúcar moída durante o processo industrial de fabricação de açúcar e etanol a sobra de 250 quilos de bagaço. [62]

A potência instalada da Usina Catanduva é de 12MW, sendo 10MW a potência utilizada para a produção sucroalcooleira. O número de funcionários que trabalham no setor da usina não foi estipulado no estudo [32], porém esse valor pode ser estimado tendo referência outras usinas com a quantidade equivalente de cana-de-açúcar processada por safra.

Existem duas formas de contratação de funcionários no setor sucroalcooleiro, os *efetivos* e os conhecidos popularmente por *safristas*. Os *efetivos* trabalham na indústria no período de safra e entresafra da cana-de-açúcar, onde na entresafra os mesmos operam na manutenção preventiva da usina, enquanto os *safristas* são

contratados somente na época de safra da agricultura e correspondem em torno de 50% do total de funcionários.

## 5.2. ANÁLISE ECONÔMICA - CUSTOS E RECEITAS

A análise econômica descreve sucintamente os custos de implantação e operação de um projeto de cogeração de uma usina sucroalcooleira, assim como as receitas geradas na venda de energia excedente, o custo evitado na contratação de energia elétrica com a utilização do bagaço na geração de energia e os principais indicadores econômicos de viabilidade de um projeto.

**Tabela 4.3: Características Operacionais da Usina Catanduva**

Fonte: Elaboração Própria

Processamento de cana-de-açúcar	Aproximadamente 4.000.000 toneladas
Potência Instalada	12MW
Auto-consumo	10MW
Capacidade de Exportação	2MW
Período de safra	Março à Novembro
Nº de Funcionários	Cerca de 800

A partir da potência de 10MW foi calculado o consumo em MWh da fabricação sucroalcooleira, usando como base os 8 meses de safra, multiplicado pelos 30 dias do mês e pelas 24 horas do dia, equivalendo a 5.760 horas de fornecimento de energia e 57600MWh consumidos.

Embora nessa análise teórica tenha sido considerada nos cálculos uma operação de 5.760h, na prática o período efetivo de operação da usina deve levar em consideração o tempo em que a mesma não operou por motivos de chuva, manutenção ou paradas emergenciais.

**Tabela 4.4: Características Elétricas da Usina Catanduva**

Fonte: Elaboração Própria

	MWh Instalado	MWh Consumido	MWh Excedente
Usina Catanduva	69.120	57.600	11.520

De acordo com o trabalho [63], o tempo efetivo de aproveitamento é em torno de 85% do tempo da safra. A geração de energia elétrica que não é utilizada no consumo da própria fabricação do açúcar e álcool pode ser vendida no mercado livre, regulado, ou ainda fazer parte do PROINFA, tendo a venda da sua energia garantida durante 20 anos.

A Usina Catanduva não exporta essa energia de 11.520MWh, mas caso exportasse, isso poderia ser uma receita adicional. O valor do MWh da energia a biomassa não foi disponibilizado pelas empresas contactadas, por isso foi utilizado o preço médio de R\$ 138,00/MWh estipulado no último leilão A-3 que ocorreu em 2010. Esse valor atualizado monetariamente valeria no ano de 2013 R\$182,96/MWh. Caso a usina fizesse parte do PROINFA, o preço vendido pelo MWh seria hoje em torno de R\$ 140,59/MWh.

**Tabela 4.5: Renda Adicional Fictícia da Usina Catanduva**

Fonte: Elaboração Própria

	<b>Mercado Regulado</b>	<b>PROINFA</b>
Valor de venda (R\$/MWh)	182,96	140,59
Receita da Venda de Excedente (R\$)	2.107.716,72	1.619.596,80

A usina tem 2 MW de potência excedente, equivalendo a 11.520 MWh de energia, ou seja, no primeiro ano de operação geraria uma receita de R\$ 2.107.716,72 caso decida vender essa energia no Mercado, ou uma receita de R\$ 1.619.596,80, caso seja participante do PROINFA.

No ano 2000 foi criado o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL, promovendo a redução das emissões de gases poluentes a partir de créditos de carbono que podem ser comercializados com os países que não atingiram a sua meta de redução estipulada no Protocolo de Quioto. Embora a Usina Catanduva não participe do programa, o crédito de carbono também representaria uma receita adicional junto com a venda de energia excedente.

A redução de emissões de gases do efeito estufa é medida em toneladas de dióxido de carbono, onde uma *Certified Emission Reductions* (CER) corresponde a 1 tonelada de Dióxido de Carbono reduzida ou removida da atmosfera. Em abril de 2013 cada crédito de carbono era vendido a 0,31 euros, correspondendo a R\$0,82. [64]



A energia elétrica que é utilizada para consumo próprio não gera receita, pois não é comercializada, porém substitui a energia que seria comprada de terceiros, representando uma redução dos gastos.

**Tabela 4.6: Custo Evitado pela Usina devido a Geração de Energia Elétrica**

Fonte: Elaboração Própria

	<b>Preço Energia (R\$/MWh)<sup>17</sup></b>	<b>Consumo (MWh)</b>	<b>Custo Evitado R\$</b>
Usina	23,56	57.600	1.357.056,00

Nos contratos de venda de energia excedente oriundo de bagaço de cana-de-açúcar, diferentemente das fontes tradicionais, o fornecedor de energia pode entregar a energia demandada em um único mês dependendo da safra de cana-de-açúcar, não precisando gerar energia excedente nos próximos meses. Essa energia é fornecida ao Sistema Interligado Nacional, sendo realizado um contrato entre a fonte geradora e a concessionária local. Por ser uma geração sazonal e sem a obrigação de um fornecimento mensal, os clientes desse tipo de fonte energética normalmente são as concessionárias de energia, e não um consumidor que tenha somente essa fonte como sua única geração.

Após a entrada da usina em operação, os custos médios com Operação e Manutenção foram contabilizados em R\$ 47,33 <sup>18</sup> por MWh, totalizando R\$ 2.726.047,92/safra. O custo com Operação e Manutenção varia de acordo com a capacidade de geração elétrica, se tornando mais atrativo para os investidores conforme se aumenta a geração de energia.

A vida útil do projeto de cogeração a biomassa são vinte anos, considerando o custo com depreciação dos equipamentos de 5% ao ano, sendo que no final da sua vida produtiva o valor residual da planta corresponde a 10% do investimento inicial. Devido à defasagem tecnológica dos equipamentos, não é possível o reaproveitamento dos equipamentos após os vinte anos de uso.

---

<sup>17</sup> Disponível em: <<http://www.comerc.com.br/noticiasdetalhes.asp?cod=21>>. Acessado em 01/06/13

<sup>18</sup> Valor atualizado para o ano de 2013 de acordo com a tabela de Atualização Monetária do Tribunal de Justiça

**Tabela 4.7: Custo Operacional da Usina Catanduva**

Fonte: Elaboração Própria

	Custo O&M (R\$/MWh)	Consumo (MWh) <sup>19</sup>	Custo total com O&M (R\$)
Usina Catanduva	47,33	57.600	2.726.047,92

## **CUSTO DE COMBUSTÍVEL**

Para fins de cálculo é considerado que o combustível chega à caldeira com o custo zero, pois o bagaço é um resíduo de uma atividade já existente na indústria, não sendo necessário um gasto extra com o combustível. O gasto com a obtenção do bagaço ocorre no momento de transportá-lo da lavoura até a caldeira, onde normalmente se utiliza combustível fóssil, como diesel, para alimentar os caminhões.

Como a lavoura se localiza próxima à usina, os custos com o combustível no deslocamento até a termoeletrica não será computado. Em relação a sustentabilidade, a substituição do diesel pelo biodiesel diminuiria a dependência de combustíveis fósseis na operação industrial e minimizaria os impactos ambientais.

## **ÍNDICES DE VIABILIDADE ECONÔMICA**

Analisar a viabilidade econômico-financeira de geração de energia significa estimar e analisar as perspectivas de desempenho financeiro do projeto, realizando-se uma estimativa dos orçamentos que tornaria viável e cobriria os custos envolvidos. Na Dissertação [32] foi identificado o custo de capital da Usina Catanduva, assim como a Taxa Interna de Retorno, o Valor Presente Líquido e o tempo previsto de retorno do investimento.

O custo de capital de uma empresa representa uma taxa mínima que a empresa precisa obter em suas operações para manter o valor de suas ações e o respectivo crescimento sustentável da empresa. Desta forma, precisa-se apresentar em média uma taxa de retorno maior ou pelo menos igual à taxa do custo de capital da empresa.

As instituições financeiras usam em geral dois métodos para analisar a viabilidade de um investimento, são eles o Valor Presente Líquido – VPL e a Taxa Interna de Retorno

---

<sup>19</sup> O valor do consumo em MWh o resultado da multiplicação de 30 dias, por 24 horas/dia, por 8 meses de safra ao ano, por 10MW de potência.

– TIR. A TIR é a taxa de juros que iguala, em determinado momento do tempo, o valor presente das entradas (recebimentos) com o das saídas (pagamentos) previstas de caixa. A TIR é usada como método de análise de investimentos, onde o investimento será economicamente atraente se a TIR for maior do que o custo de capital (taxa de retorno esperada pelo investimento). Esse critério garante que a empresa esteja obtendo, pelo menos, sua taxa requerida de retorno.

O valor presente líquido (VPL) de um empreendimento é a soma dos valores presentes de cada um dos fluxos de caixa, tanto positivos como negativos, que ocorrem ao longo da vida útil do projeto. Quando o VPL é maior que zero significa que o investimento irá trazer retorno econômico, que os pagamentos recebidos quando trazidos para o presente, são maiores que as saídas de caixas.

No estudo realizado [32] assumiu-se um custo médio de capital do projeto de 15%. Esse valor foi calculado com base em uma taxa de desconto de 12% do Fluxo de Caixa, sugerida pelos administradores da usina, a taxa SELIC divulgada pelo Banco do Brasil, acrescida de um prêmio de risco em torno de 3% ao ano.

O *Payback* simples é denominado como o tempo de retorno do investimento, ou seja, o período para se recuperar o investimento caso o valor do dinheiro não sofra variações inflacionárias, enquanto o *payback* descontado considera as variações cambiais ao longo do tempo. Seguem na tabela abaixo os índices econômicos da Usina Catanduva.

**Tabela 4.8: Índices Econômicos da Usina Catanduva**

Fonte: Elaboração Própria

TIR	VPL	Payback simples	Payback descontado
36%	R\$ 24.939.129,00	4 anos	5 anos

De acordo com a teoria financeira, o investimento realizado é economicamente viável mesmo que para consumo próprio, pois a Usina Catanduva só gera energia elétrica para abastecer seu próprio consumo na fábrica. Como o VPL se comportou acima de zero e o TIR foi superior ao retorno mínimo de capital esperado de 15%, há a garantia que a empresa esteja obtendo, pelo menos, sua taxa requerida de retorno, cobrindo os custos envolvidos.

Ou seja, consegue-se estimar que o projeto da Usina Catanduva traria um retorno econômico, embora exista a necessidade de uma revisão periódica dessa análise ao longo do projeto, pois essas informações são preliminares e passivas de mudanças. À medida que o projeto se desenvolve aproximam-se as condições reais das consideradas anteriormente, refinando-se a idéia inicialmente planejada.

De acordo com o *Banco Itaú BBA, Banco de Atacado, Investimentos e Tesouraria Institucional* do grupo *Itaú Unibanco*, o tempo médio de implantação de uma usina de biomassa de cana-de-açúcar são cerca de dois anos, tempo curto quando comparado a outras fontes renováveis, como PCH e eólica que demoram em média 4 anos e 2,5 anos respectivamente. [65]

**Tabela 4.9: Tempo Médio de implantação Usina Catanduva**

Fonte: Elaboração Própria

<b>Prazo</b>	<b>Construção</b>	<b>Licenciamento e Estudos</b>	<b>Total</b>
Usina Biomassa	1,5 anos	0,5 anos	2,0 anos

A utilização de um resíduo excedente de processos agroindustriais para geração de energia é uma fonte de renda significativa para a empresa, pois representa uma receita adicional e contribui para a redução do lixo descartado no ambiente. O empreendedor sucroalcooleiro tem duas opções de descarte do bagaço para que o mesmo não se torne um fator de poluição ambiental, sendo a primeira delas a venda do bagaço para empresas que o utilizam como matéria-prima para diversos fins, como na fabricação de fibra de carbono, na composição de ração de gado, na fabricação do fibrocimento pela construção civil, na extração das fibras de celulose para a fabricação do bioplástico e até mesmo para outras usinas que o utilizem na comercialização de energia excedente e não conseguiram atingir a quantidade necessária de bagaço de cana-de-açúcar durante a safra.

O valor da venda do bagaço para outras empresas varia conforme a safra, não possuindo um valor médio bem definido. De acordo com as empresas entrevistadas, esse valor pode variar de R\$10 à R\$50 dependendo do ano, tendo safras em que o mesmo é queimado ao ar livre devido ao grande volume gerado, exemplificando o mau uso e o desperdício do mesmo.

*"Há bagaço de cana à beça em São Paulo e que não está sendo aproveitado." (José Goldemberg, ex-ministro da Ciência e Tecnologia, em entrevista ao Valor Econômico, 11/01/13)*

A segunda opção é utilização do mesmo na própria usina de açúcar para atingir a auto-suficiência energética, não necessitando assim, comprar energia elétrica de concessionárias locais ou de outras fontes energéticas, como a geração a diesel, muito comum em regiões isoladas ou com pouca infra-estrutura.

### 5.3. ANÁLISE OPERACIONAL

A usina de Catanduva opera a um ciclo fechado de operação a vapor, utilizando a combustão do resíduo da agricultura canavieira para gerar calor. O poder calorífico do bagaço é de 1650kcal/kg, ou seja, a combustão de 1 kg de bagaço de cana-de-açúcar gera uma energia de 1650kcal.

A água é comprimida até a pressão de operação da caldeira, sendo bombeada continuamente com uma vazão média de 400m<sup>3</sup>/h para alimentar 5 caldeiras. Nesse processo de compressão, a temperatura da água aumenta um pouco devido a uma pequena diminuição do volume específico da mesma.

A água entra na caldeira no estado líquido comprimido e sai como vapor superaquecido. A caldeira é um trocador de calor no qual o calor originário do bagaço de cana-de-açúcar é transferido para a água a pressão constante. A caldeira também é conhecida como gerador de vapor.

**Tabela 4.10: Características da Caldeira da Usina Catanduva**

Fonte: Elaboração Própria

	Volume alimentação (ton/hora)	Pressão de entrada da água (kgf/cm <sup>2</sup> )	Temperatura de entrada da água (°C)	Temperatura de saída do vapor (°C)	Pressão de saída do vapor (kgf/cm <sup>2</sup> )
Caldeiras	178,1	36	108	300	21

O vapor d'água superaquecido entra na turbina, onde ele se expande e produz trabalho girando um eixo conectado a um gerador elétrico. A pressão e a temperatura do vapor diminuem durante esse processo e em seguida o mesmo entra no

condensador. No condensador o vapor se transforma em líquido saturado e retorna à bomba completando o ciclo de Rankine.

**Tabela 4.11: Características da Turbina da Usina Catanduva**

Fonte: Elaboração Própria

	Temperatura de entrada do vapor	Temperatura vapor de saída	Pressão de saída do vapor
Turbina	280°C	140°C	1,5 kgf/cm <sup>2</sup>

**Tabela 4.12: Quantidade de Geradores Elétricos e de Vapor**

Fonte: Elaboração Própria

Equipamentos	Quantidade
Caldeiras Aquotubulares de 21 bar	5
Geradores de 3250, 5000 e 6250 KVA	3

Não existe uma classificação entre os geradores de acordo com a fonte primária utilizada para gerar energia, mas existe uma restrição em relação a turbina, podendo ser a gás ou a vapor, dependendo do processo produtivo da fábrica. As usinas que utilizam a combustão do bagaço da cana normalmente operam a ciclo a vapor, utilizando assim, geradores com turbina a vapor. Mas caso utilize o processo de gaseificação explicado no capítulo 2, poderá fazer uso de geradores com turbina a gás.

Em relação às caldeiras a restrição é maior, pois deve ser uma específica para a combustão do bagaço da cana-de-açúcar, sendo diferente da caldeira destinada à queima de cavaco<sup>20</sup>, por exemplo.

A geração de energia elétrica a partir do bagaço da cana, como está sendo demonstrado ao longo desse trabalho, não é simplesmente um subproduto da agricultura canavieira que precisa ser descartado, e sim uma terceira fonte de renda tão significativa quanto o açúcar e o álcool por evitar a compra de energia oriunda das concessionárias ou em certos casos, permitir uma terceira fonte de renda através da sua comercialização.

---

<sup>20</sup> Cavaco: São lascas de madeira, graveto.

## 5.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE A USINA CATANDUVA

Nesta seção foram apresentados os dados para a análise da viabilidade econômica, o tempo de construção e operação, os custos de implantação e O&M da usina e os dados operacionais do sistema de cogeração de energia com o bagaço de cana-de-açúcar.

Para implantar o sistema de cogeração foi necessário um investimento de aproximadamente R\$1.330.000,00 por MW instalado. Como a usina tem capacidade instalada de 12MW, totaliza um investimento de R\$ 16.000.000,00. Para o desenvolvimento das atividades foi contabilizado um custo médio de operação e manutenção de R\$ 473,00 por MWh para a geração de açúcar, álcool e geração de energia elétrica, sendo atribuídos a atividade de geração elétrica aproximadamente 10% desse custo.

**Tabela 4.13: Considerações Finais sobre a Usina Catanduva**

Fonte: Elaboração Própria

	Investimento	Custo R\$/MWh	Custo de O&M (R\$/MWh)	Payback Descontado
Catanduva	16.000.000,00	1.330.000,00	47,00	5 anos

A usina não vende energia excedente, mas caso vendesse toda a energia gerada pelos 12MW de potência instalada, a venda geraria uma receita de R\$ 12.646.195,00, considerando o preço da energia gerada em R\$ 182,96/MWh e 69.120MWh.<sup>21</sup> Embora a usina não venda o potencial de energia excedente, o custo evitado não comprando energia elétrica de terceiros representa uma reserva de R\$ 1.357.056,00/safra.

Neste segundo momento será considerada a contratação do fornecimento de energia elétrica com geradores a diesel para atender a demanda de 10MW da usina de açúcar e álcool.

As plantas a Diesel representam uma rápida solução de geração de energia em regiões isoladas da rede elétrica, pois o óleo combustível pode ser estocado em tanques e os equipamentos podem ser facilmente transportados em containeres, podendo atender potências variadas a diferentes tensões. Por ter seu combustível

---

<sup>21</sup> O valor em MWh é resultado da multiplicação de 30 dias no mês, por 24h no dia, por 8 meses de safra ao ano, por 12 MW de potência instalada.

estocado, a geração de energia elétrica pode ser implantada em regiões remotas e com pouca infra-estrutura, não dependendo das condições ambientais da região.



Figura 4.1: Imagem de um Típico Container de Geração a Diesel

Fonte: Elaboração própria

Nesse estudo, a Usina precisa contratar uma potência que atenda a sua demanda de fabricação de açúcar e álcool, sendo os custos com o combustível também de responsabilidade do contratante, representando um custo adicional a contratação de energia. Portanto, a Usina Catanduva precisa contratar os serviços de uma empresa de geração a diesel e uma empresa que forneça o óleo diesel utilizado nessa geração.

O estudo está sendo realizado considerando um horizonte de 1 ano, com oito meses de safra, portanto, os custos são referentes a uma energia contratada temporariamente por oito meses.

Neste projeto, a planta a diesel consiste em grupos de geradores, transformadores e um *switchgear* operando em ilha, pois a única fonte geradora de energia do cliente é a planta a diesel. O ponto de conexão com o cliente ocorre a partir do *Switchgear* e pode ser feitos por linhas aéreas ou por calhas subterrâneas. A tensão será entregue ao cliente em 13.8KV, a mesma que o cliente receberia da concessionária para alimentar os seus motores de 380V, sendo os transformadores abaixadores de posse do cliente.

A eficiência da geração a diesel está diretamente relacionada com as condições climáticas da região onde operará a planta, pois o aumento da temperatura e a altitude diminuem o rendimento dos geradores, precisando de um número maior de geradores



para atender a mesma demanda. O equipamento utilizado nesse estudo para geração a diesel corresponde a um motor de combustão interna, da marca Cummins, modelo KTA50G3, junto com um alternador da marca *Stamford* com fator de potência de 0.8.

A curva de *derate* representa a perda de eficiência da máquina em função da temperatura e altitude, sendo os índices em porcentagem referente as perdas na eficiência. Um *derate* de 5%, por exemplo, significa uma operação com 95% da eficiência do gerador.

De acordo com a Figura 4.2 percebe-se que a 25°C a máquina consegue operar sem nenhum *derate* até 2000 metros de altitude, enquanto a 55°C a máquina começa a ter *derate* acima de 1000 metros de altitude, ou seja, a 55°C a máquina tem seu rendimento diminuído em uma altura que é a metade da que se ela estivesse a 25°C.

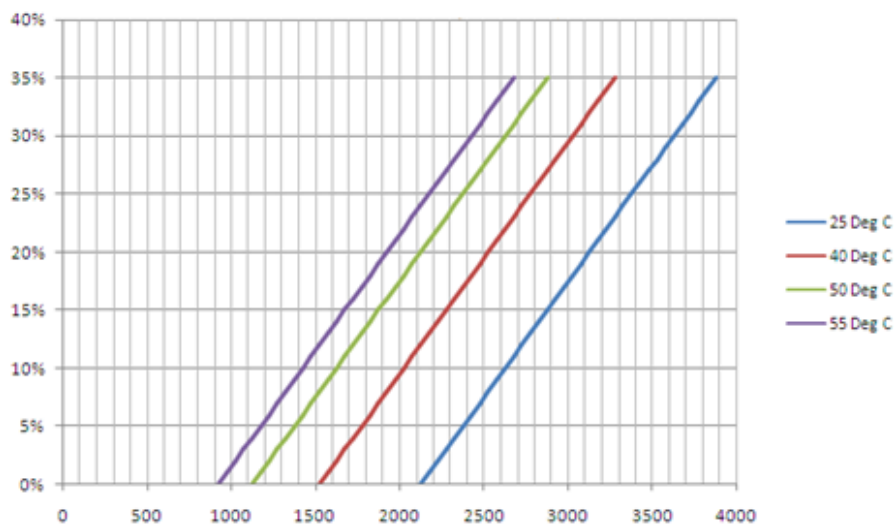


Figura 4.2: Curva de Derate do Gerador KTA50 a 60Hz

Fonte: Elaboração própria

O consumo de combustível dos geradores não depende somente das características do gerador, mas também das características do óleo combustível fornecido pelo cliente. A contratação do fornecimento do combustível é responsabilidade do cliente e não da empresa geradora de energia, mas para fins de cálculo as geradoras consideram em média um consumo de 290 litros/MWh para os geradores KTA50G3, o qual será utilizado nesse projeto, independente das características do óleo fornecido pelo cliente. Somente quando o cliente requeira o consumo das máquinas que é

elaborado um estudo mais detalhado considerando as características do combustível, como gravidade específica e o poder calorífico do óleo diesel.

### 5.5. ANÁLISE ECONÔMICA DA GERAÇÃO À DIESEL

Os investimentos de um projeto de geração de energia elétrica caracterizam o montante de recursos a serem alocados na sua implantação, como aluguel ou compra de equipamentos, custos das obras civis e das infra-estruturas necessárias para a execução da mesma, despesas com a operação e manutenção do projeto e dispêndios com mão-de-obra. Os custos de uma geração termoelétrica, excluindo os impostos, são separados em “custo de implantação” e “custo de operação e manutenção”.

O detalhamento financeiro do projeto, como construção civil, equipamentos e utilidades são apresentados de forma simplificada e visam um valor médio de uma típica unidade de geração térmica a diesel. Uma unidade de geração é composta por dezenas de itens e componentes que variam de acordo com o objetivo requerido pelo cliente.

A unidade geradora a diesel foi contratada para operar somente em época de safra de cana-de-açúcar, ou seja, irá operar durante 8 meses, de março a novembro, cuja potência instalada de geração da planta é aproximadamente 11MW, potência necessária para atender a demanda da indústria sucroalcooleira.

**Tabela 4.14: Características Operacionais da Geração a Diesel**

Fonte: Elaboração Própria

Geração à Diesel	Área da planta	2.720m <sup>2</sup>
	Potência Instalada	11 MW
	MWh gerado	57.600
	Nº de Funcionários	25
	Autonomia do site	72 horas
	Volume do tanque de combustível	100 KI
	Duração do projeto	8 meses

O número de funcionário de uma unidade geradora modifica no momento da implantação e no momento de operação da planta. No primeiro momento são

necessárias empresas terceirizadas e mão-de-obra externa para o comissionamento e verificação das instalações. Executada essa tarefa, são contratados os trabalhadores locais para operar na manutenção do funcionamento da mesma, sendo divididos em dois turnos diários, manhã e noite, de 12 horas cada um. Nessa etapa, o número de trabalhadores é reduzido quando comparado à etapa anterior, sendo necessário em média 20 a 25 colaboradores.

Para a implantação da geração de 10MW a diesel é necessário um investimento de R\$ 15.456.000,00, ou seja, um investimento de R\$ 1.400/KW de potência instalada. Embora a potência instalada seja de aproximadamente 11MW, a usina gerará 10MW, pois essa é a potência demandada na fabricação sucroalcooleira.

**Tabela 4.15: Relação Custo/Potência da Geração a Diesel**

Fonte: Elaboração Própria

Potência Instalada	Investimento (R\$)	Custo R\$/KW
11.040	15.456.000	1.400

Embora o custo de investimento seja de acordo com a potência instalada, o custo de O&M é referido a potência gerada durante a operação, sendo nesse caso 10MW.

**Tabela 4.16: Custos Operacionais da Geração a Diesel**

Fonte: Elaboração Própria

	MWh gerado	Custo O&M (R\$/MWh)	Custo total com O&M (R\$)
Geração a Diesel	57.600	80	4.608.000,00

#### **CUSTO DO COMBUSTÍVEL**

A comparação dos custos de combustíveis das fontes energéticas somente pelo “custo de capital” de cada uma não representa fielmente a relação custo por capacidade de geração, impedindo uma análise real entre as mesmas. Portanto, essa análise será feita em unidades monetárias por unidade de energia gerada (\$/MWh), considerando assim, o desempenho da usina.

O volume de combustível utilizado na planta a diesel é determinado de acordo com a “autonomia” da planta, normalmente sendo de 24 horas, 48 horas ou 72 horas. Essa

variável é determinada pelo cliente e representa o número de horas que o combustível armazenado nos tanques consegue manter a operação caso os tanques não sejam reabastecidos. A dimensão dos tanques de combustível é projetada de forma a atender a autonomia requerida pelo cliente, que nesse projeto será de 72 horas, caso mais crítico por demandar um maior volume de combustível.

O dique de contenção serve como proteção mecânica caso ocorra algum vazamento no reservatório de óleo diesel e deve ser projetado para atender um volume 10% maior que o volume do maior tanque de combustível, pois existem plantas com mais de um tanque e com tamanhos variados, porém a probabilidade de vazamento nos dois tanques simultaneamente é improvável, sendo o volume calculado somente em relação ao maior tanque.

Como já foi citado, o custo da contratação e fornecimento do combustível é responsabilidade da contratante de energia elétrica, mas o custo da construção dos tanques, diques de contenção, tubulações de diesel e *Fuel Skid* são da geradora de energia. São necessários dois *Fuel Skid* nesse projeto, sendo um para bombear o óleo diesel do caminhão para os tanques de armazenamento e outro para bombear dos tanques para os geradores.

Em plantas menores não é necessário o uso de dois *Fuel Skids*, bastando somente um para bombear do tanque de armazenamento para os geradores. Dependendo do volume do óleo diesel não é necessário bombear do caminhão até os tanques, e de acordo com a altura em que se encontra o caminhão em relação ao site o *Fuel Skid* pode se tornar irrelevante, mesmo em operações com potências mais elevadas.

Cada *Fuel Skid* tem acoplado um equipamento de filtragem e um medidor de vazão de saída de óleo. A eficiência da operação pode ser totalmente comprometida pela má condição do combustível. Todos estes fatores combinados levam a um aumento do custo de operação, aumento das paralisações para manutenção e aumento da quantidade de componentes candidatos à substituição.

A quantidade de óleo diesel armazenada nos tanques de combustíveis depende diretamente da autonomia requerida pelo cliente e da potência gerada pela planta, sendo o volume total do combustível a multiplicação do consumo dos geradores, pela potência da planta e pela autonomia requerida pelo cliente. De acordo com a Agência

Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, o preço médio de compra do diesel foi de R\$ 2,00/litro até o mês de junho de 2013, sendo o custo de distribuição e revenda do combustível em torno de 15% do valor final. [66]

**Tabela 4.17: Volume de Óleo Diesel Necessário para Potência de 10MW**

Fonte: Elaboração Própria

Consumo Diesel (l/MWh)	Autonomia (h)	Potência (MW)	Volume do Combustível (l)
290	72	10	209.000

O custo total da despesa foi calculado multiplicando-se o volume do combustível nos tanques por R\$2,30, valor considerando o custo do diesel mais o transporte do combustível, concluindo-se um custo de R\$ 480.700,00 para reabastecer completamente os reservatórios.

**Tabela 4.18: Custo do Combustível para Potência de 10MW**

Fonte: Elaboração Própria

Combustível	Volume do Combustível (l)	Custo (R\$)	Fornecimento (R\$)	Custo Total (R\$)
Óleo Diesel	209.000	2,00	15%	480.700,00

O volume total de diesel consumido durante toda a safra da cana-de-açúcar são os 290l/MWh multiplicados pelos 57.600 MWh consumidos pela fabricação sucroalcooleira, atingindo-se 16.704.000 litros de óleo diesel.

**Tabela 4.19: Custo Total do Combustível**

Fonte: Elaboração Própria

	Volume Total (l)	Custo Total (R\$)
Óleo Diesel	16.704.000	38.419.200,00

## 5.6. EMISSÕES DE POLUENTES

O óleo Diesel é um combustível derivado do petróleo e a sua combustão libera compostos como o NO<sub>x</sub> e monóxido de carbono, que em contato com o oxigênio presente no ar, forma o dióxido de carbono, principal causador do aquecimento global. Os demais componentes liberados durante a combustão do diesel aparecem em menor escala, mas também fazem parte do grupo dos poluentes que servem como indicadores de qualidade do ar. Os geradores considerados nesse projeto são modelo

KTA50G3, e segue a emissão de seus poluentes de acordo com o *datasheet* do equipamento.

**Tabela 4.20: Poluentes Gerados na Planta a Diesel**

Fonte: Elaboração Própria

	Emissão de poluentes (Kg/MWh)	Total de Emissão (Kg/safra)
NO <sub>x</sub>	17,8	1025.000
CO	0,67	38.592
Material Particulado	0,07	4032
Hidrocarboneto não queimados	0,20	11.520

O termo NO<sub>x</sub> agrupa o monóxido de nitrogênio (NO) e o dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>), ambos são poluente primários e atacam as vias respiratórias humanas, mas também são poluentes secundários quando em contato com a atmosfera, dando origem ao ácido nítrico, um dos principais componente da chuva ácida.

Sob a denominação de Material Particulado encontra-se um conjunto de poluentes constituídos de poeiras, fumaças, material sólido e líquido que se mantém suspenso na atmosfera devido ao seu tamanho reduzido. Percebe-se na tabela que o NO<sub>x</sub> é o principal poluente emitido, não somente pelos riscos que ele apresenta, mas também pela quantidade emitida ser muito superior aos demais poluentes.

## **5.7. CRONOGRAMA DE IMPLANTAÇÃO**

O cronograma de implantação de uma planta de geração a diesel pode variar significativamente conforme o terreno, o projeto e as condições ambientais e legislativas do país em questão, porém pode ser estimado um valor médio para projetos na escala proposta.

Nesse projeto não foram consideradas as perdas elétricas nos equipamentos e não foi utilizado um gerador reserva para eventuais adversidades durante a operação ou manutenção de algum gerador, sendo realizado somente um estudo teórico sobre uma geração a diesel, enquanto numa situação real essas variáveis deverão ser consideradas.

A Tabela 4.21 representa um cronograma típico de implantação de uma unidade de geração termoeétrica de 10MW em condições ISO<sup>22</sup>.

**Tabela 4.21: Cronograma de Implantação da Geração a Diesel**

Fonte: Elaboração Própria

Cronograma de Implantação	Mês 1	Mês 2	Mês 3
Contratação do fornecimento de combustível	■		
Preparação da documentação para os ingressos das unidades geradoras	■		
Contrato do terreno	■		
Licenças e permissões	■	■	
Estudos de Engenharia	■	■	
Estudos ambientais	■	■	
Aquisição dos equipamentos		■	
Obras civis		■	
Montagem			■
Testes e Ajustes			■
Início da operação			

Os custos com o fornecimento de combustível é responsabilidade do cliente que está contratando o fornecimento de energia térmica, mas a construção dos tanques de armazenagem de óleo diesel e do dique de contenção é responsabilidade da empresa ofertante de energia.

Os equipamentos utilizados na geração térmica nem sempre estão próximos do local onde será instalada a planta, sendo necessário transportá-los em terra ou dependendo do caso, através de navios. Nesses casos são necessários documentos de importação, nota fiscal de entrada e saída de equipamentos, dentre outros documentos exigidos de acordo com as normas vigentes em cada país.

O terreno onde será instalada a planta normalmente é oferecido pelo consumidor de energia, mas caso não seja, é função da empresa contratada procurar um terreno próximo ao cliente que possa ser alugado para a instalação dos equipamentos.

<sup>22</sup> A sigla "ISO" refere-se à denominação de igualdade, pois prevê o desempenho dos produtos sob o mesmo padrão, sendo nesse caso, a temperatura ambiente e à nível do mar.

Nesses casos, a procura pelo terreno pode ser a tarefa que demanda o maior tempo no escopo do projeto.

Nos estudos de engenharia são realizados estudos de proteção e seletividade, dimensionamento de equipamentos, como cabos, transformadores, geradores e disjuntores, integração entre o sistema de geração e o cliente, como a utilização do software SCADA<sup>23</sup>, estudos de contingência, análise de operações em estado estacionário, cálculos de curto-circuito e a interconexão da planta geradora com o cliente.

Os estudos ambientais não dependem da empresa geradora, e sim, de órgãos governamentais que fiscalizam a operação da planta e verificam se os equipamentos estão operando de acordo com as normas vigentes, sendo o índice de NO<sub>x</sub> um dos principais entraves da geração térmica. O CONAMA tem um prazo de 1 à 6 meses para fazer essa vistoria nos equipamentos. Além das emissões de poluentes ainda existe a preocupação dos impactos ambientais que a unidade geradora pode causar na região, como por exemplo, poluição sonora e visual.

As obras civis são realizadas por uma empresa terceirizada contratada pela empresa fornecedora de energia, onde a mesma realiza a preparação do terreno, como limpeza, remoção da camada vegetal, terraplanagem, compactação do solo, instalação de postes de iluminação ao redor do local onde será instalada a unidade geradora e construção dos tanques de combustível.

Os tanques de combustíveis podem ser modelo *Bulk Tank*, sendo feitos por uma estrutura metálica, necessitando de uma empresa civil para a construção do mesmo, ou podem ser utilizados container para armazenagem de combustível, não necessitando assim de uma obra civil, embora ocupe um espaço maior para atender a mesma quantidade de combustível. Em média, um container tem comprimento 6.06 x 2.44 metros com 2.6 metros de altura, equivalendo ao container padrão de 20 pés de comprimento.

---

<sup>23</sup> Sistemas de Supervisão e Aquisição de Dados - SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) são sistemas que utilizam *software* para monitorar e supervisionar as variáveis e os dispositivos de sistemas de controle conectados através de controladores (*drivers*) específicos.



A montagem da unidade geradora consiste na instalação dos equipamentos, nas linhas de distribuição de combustível, sistema de aterramento, interligação do sistema de proteção com os painéis de controle de carga, frequência e tensão, instalação dos containeres auxiliares e implantação das redes de baixa tensão e média tensão, sendo feita a conexão com o contratante pela rede de média tensão.

Na etapa final do projeto são testados os envios e recebimentos dos sinais de comunicação entre os equipamentos e realizado o comissionamento da planta. Após a aprovação nos testes de comissionamento, o engenheiro responsável autoriza o início da operação.

## 5.8. ANÁLISE OPERACIONAL

Na elaboração da parte técnica do projeto é necessário a elaboração de dois diagramas, o primeiro representa o layout da planta de geração, representando o tamanho do terreno, a disposição dos containeres presente na unidade geradora, os tanques de combustíveis, as bandejas por onde passam os cabos de tensão e todo o arranjo físico de como será montada a unidade geradora de energia, sendo conhecido como Site Layout – SLO.

Para o dimensionamento do dique de contenção e do tanque de combustível presente no SLO precisa-se considerar o consumo de combustível dos geradores, a autonomia da planta e a potência instalada da unidade para calcular a quantidade necessária de combustível para atingir a autonomia de 72 horas requerida pelo cliente.

**Tabela 4.22: Parâmetros para Construção do Dique de Contenção**

Fonte: Elaboração Própria

Consumo (l/MWh)	Autonomia (h)	Potência (MW)	Volume do Combustível (l)
290	72	10	209.000

Os tanques de combustíveis, conhecidos como *Bulk Tank*, são em formatos cilíndricos e recomenda-se que não ultrapassem oito metros de altura, para diminuir a ação dos ventos nas paredes laterais, optando assim, por bases mais largas e alturas menores. Nesse projeto são considerados dois tanques de capacidade de 100.000 litros, com 4 metros de diâmetro e 8 metros de altura.

Além da capacidade de armazenamento dos tanques, cada gerador ainda tem a capacidade de armazenar 1.431 litros, embora o volume útil disponível seja 1.288 litros, ou seja, acrescido dos 200.000 litros armazenados existem aproximadamente mais 15.500 litros disponíveis nas reservas dos geradores.

Considerando que 290 litros de combustível fornece 1 MWh, o volume de 15.456 litros presentes na reserva dos doze geradores instalados é capaz de fornecer aproximadamente 53 MWh dos 57.600 MWh/safra solicitados pelo cliente.

**Tabela 4.23: Volume de Combustível Presente em cada Gerador**

Fonte: Elaboração Própria

Consumo (l/MWh)	Reserva útil de cada gerador (l)	Volume total armazenado (l)	Energia oriunda da reserva dos geradores (MWh)
290	1.288	15.456	53,3

Os diques de proteção mecânica servem para conter o óleo diesel caso ocorra um vazamento em um dos tanques. Como é improvável a ocorrência de um vazamento simultâneo nos dois tanques, o dique é calculado para suportar aproximadamente um volume 10% maior que o volume de um dos reservatórios, já que nesse projeto ambos possuem a mesma capacidade de armazenamento.

O dique de contenção possui formato retangular com uma altura de 1 metro, tendo um comprimento de 18x6 metros. Normalmente são instalados em sua proximidade os equipamentos de combate ao incêndio exigido por norma.

No momento de instalação, os geradores são montados em formato *six-pack*, ou seja, são ligados de seis em seis ao container dos transformadores. Dentro do container do transformador encontram-se dois transformadores de 3,15MVA, onde cada transformador alimenta três geradores. Essa ligação é feita pela calha de baixa tensão, representada pela cor azul no SLO.

Os transformadores são conectados entre si pelos cabos de média tensão, representados pela calha de cor vermelha no SLO. Nessa mesma calha realizam-se também as ligações entre os transformadores com os *switchgears* e entre os *switchgears* com o cliente. Ou seja, os geradores são ligados aos containeres dos

transformadores, sendo os mesmos conectados ao *switchgear*, e a partir dele realiza-se a conexão com o cliente.

A calha de cor verde representa a “calha de controle” destinada a atender o circuito de comunicação, através do software SCADA, e permitir a passagem dos cabos com uma tensão máxima de 400V trifásicos ou 230V monofásico.

Os equipamentos e suas respectivas quantidades estão expressos abaixo para uma geração de 10MW sob condições de temperatura ambiente e em nível do mar. Cada gerador possui uma potência de 920KW a 60Hz.

**Tabela 4.24: Lista de Equipamentos na Geração a Diesel**

Fonte: Elaboração Própria

Lista de Equipamentos	Quantidade
Gerador KTA50G3	11+1 reserva
Switchgear	1
Transformador de Aterramento 15KV	1
Monitoramento SCADA	1
Fuel Skid	2
Control Room Container	1
Workshop Container	1
Spinop Container	1
Security Container	1
Safety Container	1
Drum Container	1
Spare Container	5

No *Control Room* são instalados os computadores conectados com o sistema SCADA. O *Workshop* funciona como uma oficina mecânica para reparar alguma peça, enquanto que no *Spinop* armazenam-se ferramentas de uso comum. O *Safety* se diferencia do *Spinop Container* por conter peças que são catalogadas e exigem um certo controle de entrada e retirada das mesmas.

No *Drum*, localizam-se os tambores de óleos lubrificantes, enquanto os *Spare Containers* são destinados a armazenagem de filtros de combustível e peças sobressalentes.

Além dos containeres auxiliares e dos equipamentos elétricos destinados a geração de energia, os Switchgears também desempenham um função de extrema importância durante a operação da planta geradora, pois são a interface elétrica entre o cliente e a usina geradora com dispositivos de aterramento e com capacidade de interrupção, servindo para proteger o cliente e o fornecedor de energia em momento de sobrecarga ou faltas emergenciais.

Na Figura 4.3 está representado o Layout da planta de geração a diesel, sendo representados os containeres de geração, os containeres auxiliares, o tamanho necessário do terreno para instalação dos equipamentos e toda a estrutura necessária para a operação.

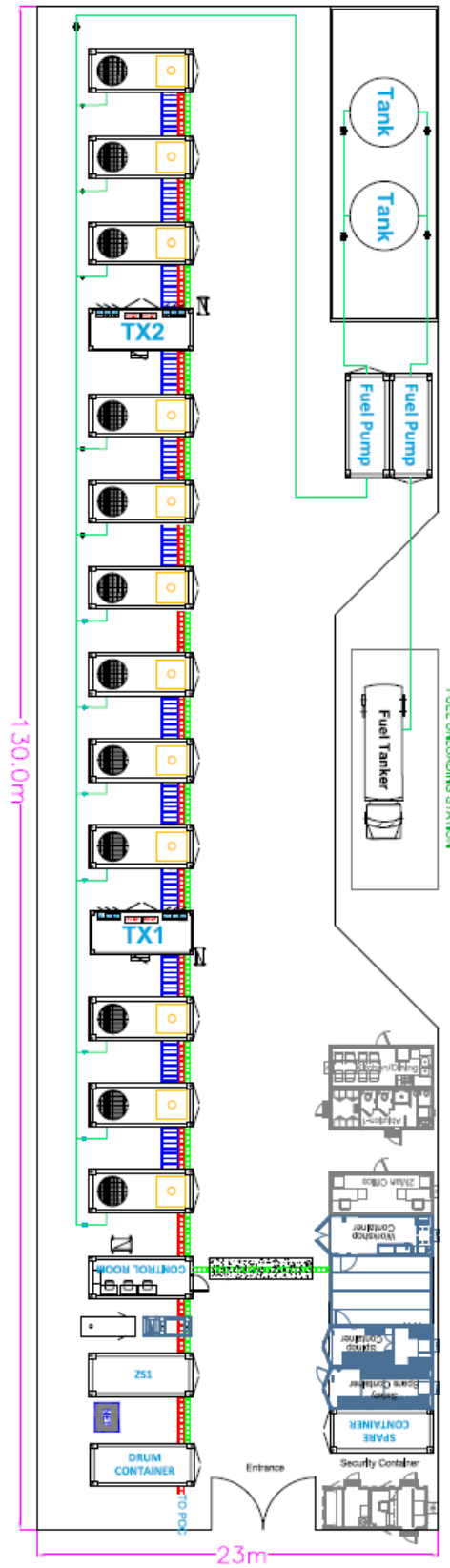


Figura 4.3: Site Layout de uma planta de 10MW

Fonte: Elaboração Própria

#### 4.8. CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE A GERAÇÃO A DIESEL

Este capítulo sintetizou os custos e funcionamento de uma típica geração a diesel para suprir 10MW de potência. Percebe-se que o destaque desse tipo de geração é a rápida instalação, pois os equipamentos já se encontram padronizados em container, sendo necessário somente a alocação do terreno para instalação.

Foi considerado um fornecimento de energia somente durante o período da safra da cana-de-açúcar, momento em que a fábrica se encontra operante, de março a novembro. Para esse horizonte de oito meses o custo necessário de investimento inicial para atender a fabricação de açúcar e álcool é de R\$ 15.456.000,00.

**Tabela 4.25: Custos de Investimento e Operação da Geração a Diesel**

Fonte: Elaboração Própria

Combustível	MWh gerado	Investimento (R\$)	Custo Total O&M (R\$)
Diesel	57.6000	15.456.000,00	4.608.000,00

**Tabela 4.26: Custo Final do Combustível**

Fonte: Elaboração Própria

	Volume do Combustível (l/safra)	Custo do Combustível (R\$)	Custo Total (R\$)
Diesel	16.704.000	2,30	38.419.200,00

Ou seja, a cada safra será necessário um gasto de R\$ 58.483.200,00 para se obter energia elétrica para atender a demanda sucroalcooleira. Como diferencial essa fonte energética apresenta o reduzido tempo de 2,5 meses para iniciar a operação.

Em relação às emissões de poluentes, tem-se uma alta emissão de NO<sub>x</sub> e CO, enquanto nas plantas a biomassa de cana-de-açúcar com potência menor de 50MW o CONAMA não define o limite máximo de emissão de NO<sub>x</sub>, sendo relevante somente as emissões de monóxido de carbono.

**Tabela 4.27: Emissão de Poluentes por Ano na Geração a Diesel**

Fonte: Elaboração Própria

	Emissão de poluentes (Kg/MWh)	Total de Emissão (Kg/safra)
NO <sub>x</sub>	17,8	1025.000
CO	0,67	38.592

Os pontos mais importantes indicados nesse estudo foram os valores financeiros, os custos envolvidos na operação e manutenção, a estrutura da geração a diesel, o dimensionamento dos equipamentos envolvidos, as emissões de poluentes e o tempo necessário para a implantação do projeto.

### 5.9.COMPARAÇÃO DOS DOIS CENÁRIOS: BIOMASSA VERSUS DIESEL

As análises feitas nesse capítulo sintetizam os custos financeiros da implantação e operação de uma planta de 10MW, utilizando no primeiro cenário o bagaço da cana-de-açúcar para a geração de energia e num segundo cenário a contratação de uma empresa fornecedora de energia elétrica a óleo diesel.

Os valores de investimento em ambos os projetos foram muito próximos, pois o custo de implantação da biomassa é R\$1.330/KWh e o do diesel é R\$ 1.400/KWh, porém, na geração a diesel ainda deve-se acrescentar o custo do fornecimento do combustível, sendo essa uma receita considerável no valor final do projeto. Na biomassa não são computados os gastos com combustível, pois o combustível é o reaproveitamento da matéria-prima utilizada na obtenção do açúcar e do etanol.

**Tabela 4.28: Comparação Econômica entre Geração a Diesel X Biomassa**

Fonte: Elaboração Própria

	Óleo Diesel (R\$)	Biomassa (R\$)
Investimento Inicial	16.000.000,00	16.000.000,00
Custo com combustível	38.419.200,00	-----
Valor Total	58.483.200,00	16.000.000,00

Os custos com a operação e manutenção do projeto são menores na usina a biomassa, representando cerca de 60% do valor gasto na geração a diesel, gerando ao final dos oito meses de safra uma economia de R\$ 1.900.000.

**Tabela 4.29: Custos Comparativos de Operação & Mão-de-Obra entre Diesel X Biomassa**

Fonte: Elaboração Própria

	Diesel	Biomassa
Custo O&M (R\$/MWh)	80	47,33
Total (R\$)	4.600.000,00	2.700.000,00

Em relação ao tempo de construção a geração a diesel tem vantagem, pois consegue ser implantada em apenas 2,5 meses, enquanto a geração a biomassa demora em média 2 anos para começar a operar.

Quanto aos aspectos ambientais, a biomassa de cana-de-açúcar apresenta inúmeras vantagens em relação a queima dos combustíveis fósseis, uma vez que ao se queimar óleo diesel libera-se gás carbônico na atmosfera, acarretando a elevação gradual da temperatura no planeta, pois o CO<sub>2</sub> é um dos gases responsáveis por bloquear a irradiação solar refletida pela Terra.

Ao se queimar o bagaço da cana-de-açúcar, o gás carbônico emitido na atmosfera é reabsorvido e o oxigênio é liberado pela mesma durante a fase de crescimento da biomassa, configurando uma emissão nula de gás carbônico.

Além desse aspecto ambiental, a biomassa é uma fonte energética renovável que se cultivada como fonte de energia criaria condições para o surgimento de diversos novos empregos, abrindo espaço para o desenvolvimento tecnológico interno e possibilidade de financiamento para países em desenvolvimento através do Mercado de Carbono, previsto no Protocolo de Quioto.

Mesmo que o empreendedor sucroalcooleiro decida não investir na venda de energia excedente, como o caso da Usina Catanduva, onde a sua geração era somente para abastecer o consumo interno da fábrica, o custo evitado com a substituição da energia comprada pela geração de energia oriunda do bagaço de cana representa uma redução dos gastos da usina, sendo no caso de Catanduva um valor de R\$ 1.357.056,00. Além de ainda ter a opção de participar do Crédito de Carbono como forma de adquirir uma receita adicional a venda de açúcar e etanol.

**Tabela 4.30: Economia por Safra na Geração a Biomassa**

Fonte: Elaboração Própria

	Preço Energia (R\$/MWh)	Consumo (MWh) <sup>24</sup>	Custo Evitado R\$
Usina	23,56	57.600	1.357.056,00

---

<sup>24</sup> O valor em MWh é resultado da multiplicação de 30 dias no mês, por 24h dia, por 8 meses de safra ao ano, por 10 MW de consumo.



Deve-se considerar ainda que a o investimento realizado na usina a biomassa tem uma vida útil de 20 anos, embora seja um alto valor inicial os custos na operação e manutenção é baixo nos demais anos, enquanto na geração a diesel esse custo com implantação, mais operação e manutenção e fornecimento de combustível deve ser gasto por safra. No final de 1 ano, ou seja, uma safra, os gastos totais de geração a diesel e a biomassa estão expressos na tabela abaixo, tornando-se evidente a vantagem da geração de energia elétrica através do bagaço de cana-de-açúcar.

**Tabela 4.31: Tabela Comparativa entre a Geração a Diesel e Biomassa**

Fonte: Elaboração Própria

	<b>Diesel</b>	<b>Biomassa</b>
Investimento Inicial	16.000.000,00	16.000.000,00
O&M	4.600.000,00	2.700.000,00
Combustível	38.419.200,00	-----
Total	58.483.200,00	18.700.000,00

Somente em nível de curiosidade, a tabela abaixo apresenta os custos de implantação e manutenção de uma rede convencional de distribuição de energia. Os valores foram disponibilizados pela CPFL de São Paulo, uma das maiores empresas distribuidoras de energia do país.

**Tabela 4.32: Custos de Implantação e Manutenção de uma Linha de Distribuição de Energia**

Fonte: Elaboração Própria [67]

	<b>CPFL/SP (R\$/Km)</b>
Implantação de rede convencional	150.131,56 (1 <sup>ª</sup> ária + 2 <sup>ª</sup> ária)
Manutenção preventiva de rede convencional	1.688,39
Manutenção corretiva de rede convencional	3.554,51
Poda em rede convencional	R\$ 20,00/árvore (1 <sup>ª</sup> ária) e R\$ 6,00/árvore (2 <sup>ª</sup> ária)

A manutenção preventiva refere-se a manutenção da linha e dos equipamentos, enquanto a manutenção corretiva é em função das interrupções acidentais, com substituições de equipamentos danificados. Além desses gastos, ainda é considerado a poda das árvores, que segundo a CPFL, cada árvore é podada uma vez ao ano.

Os dados fornecidos são da CPFL/SP e foi necessário fazer uma correção monetária para atualizar os valores para o ano atual. Para isso foi utilizada a Tabela de Débitos Judiciais do Tribunal de Justiça de São Paulo.

Certamente, a construção da linha de distribuição elétrica proporcionaria uma operação de forma integrada do sistema, aproveitando a complementaridade das fontes de energia, aumentaria a confiabilidade e traria benefícios ambientais, pois reduziria as emissões de poluentes na região devido a não utilização de sistemas isolados de geração térmica. Em contrapartida, a espera pela realização de um leilão da concessão para construção da interligação com o Sistema Interligado Nacional pode demandar anos de espera.

Além disso, os gastos com a implantação da rede mais as manutenções corretivas e preventivas geram um custo de R\$155.374,46/km, onde dependendo da distância da região, a falta de recursos para investimentos e para as despesas necessárias a uma manutenção adequada pode representar um entrave para sua integração ao Sistema Interligado Nacional.

No caso desse estudo de caso onde o custo total da implantação a biomassa foi de R\$18.700.000,00 e os gastos com a implantação da rede elétrica atinge R\$155.374,46/km, conclui-se que se a distância da usina ao ponto de conexão for menor que  $18.700.000/155.374,46 = 120km$ , a solução mais barata é a cogeração à biomassa.

## 6. CONCLUSÃO

Este estudo analisou a participação do setor sucroalcooleiro na matriz energética brasileira, considerando a potencialidade da cogeração de energia no parque gerador e avaliando financeiramente um estudo comparativo entre a geração a diesel e a cogeração de biomassa de cana-de-açúcar para atender uma usina sucroalcooleira, concluindo a viabilidade do último em regiões isoladas de infra-estrutura.

A implantação de uma usina termoelétrica a vapor dentro da indústria sucroalcooleira pode proporcionar a auto-suficiência energética além da possibilidade de comercialização da energia excedente. Entre os diversos subprodutos existentes, o bagaço de cana-de-açúcar merece destaque devido ao seu alarmante crescimento a cada colheita, atingindo na safra de 2012/13 uma quantidade superior a 518 milhões de toneladas. Esse crescimento deve-se ao aumento da área plantada e da industrialização da mesma, decorrentes principalmente de investimentos públicos e privados na produção sucro-alcooleira.

Em paralelo ao crescimento da bioeletricidade, tem-se observado a ocupação indireta que a expansão canavieira provoca deslocando a pecuária e alterando a geografia local. Há a necessidade de integração não somente entre a pecuária com a cana-de-açúcar, mas também com a pequena produção para que a mesma possa atuar de forma sustentável, não utilizando a queima como forma de limpeza do terreno, respeitando a conservação do solo, buscando a não-contaminação do ambiente natural e melhorando as condições de trabalho, principalmente no corte da cana, onde são registrados condições análogas ao trabalho escravo.

O Brasil possui uma vantagem quando comparado com outras nações, como a possibilidade de planejar sua matriz energética utilizando majoritariamente fontes primárias renováveis. Entretanto, observa-se que uma parcela muito pequena da energia elétrica produzida comercialmente no Brasil tem como fonte primária a biomassa da cana-de-açúcar, a maioria das usinas e destilarias ainda produz energia elétrica apenas para consumo próprio, sendo ainda muito pequena a parcela comercializada com as distribuidoras de energia.

Embora a geração de energia não seja a finalidade das indústrias sucroalcooleiras, a utilização de um resíduo do processo produtivo pode representar uma total redução

dos gastos com eletricidade ou até mesmo uma nova fonte de renda. Além do bagaço da cana, a palha que sobra nos canaviais após a colheita também é apontada como grande potencial de aproveitamento.

A cogeração de energia elétrica através do bagaço da cana-de-açúcar tem uma série de benefícios, tais como o aproveitamento do resíduo, sua grande disponibilidade nos canaviais, o fácil processamento, reduzidos impactos ambientais, emissão nula de CO<sub>2</sub>, pois o dióxido liberado pela combustão nas caldeiras é absorvido pela planta durante a sua fase de crescimento, apresenta-se como uma segunda fonte de renda para as usinas a biomassa.

O estudo realizado nesse trabalho é apenas uma análise teórica baseado em levantamentos realizados por outros autores, servindo como base para uma análise atual do cenário da biomassa sucroalcooleira no Brasil. Os dados aqui presentes ilustram uma comparação teórica entre duas fontes energéticas, sendo na prática necessários a obtenção de outros dados para uma análise completa sobre os custos reais dessa escolha.

No estudo econômico comparativo entre a implantação de uma usina de cogeração a biomassa e de uma planta de geração a diesel, o custo de implantação são próximos, diferenciando-se apenas no custo de operação e manutenção e no valor agregado ao combustível.

O custo em O&M na usina a biomassa representa cerca de 60% do valor despendido em O&M na geração a diesel, sendo o custo do diesel o maior entrave dessa fonte de geração, significando mais que o dobro do investimento inicial necessário para implantação da unidade geradora a diesel. Na usina a biomassa, o custo do combustível é nulo, pois o mesmo representa um resíduo da produção de açúcar e etanol.

É relevante destacar que o custo de implantação da geração a diesel é referente ao aluguel das máquinas no período de 1 ano de operação, sendo necessário no ano seguinte o mesmo investimento, enquanto na usina a biomassa só serão contabilizados os custos em O&M após a implantação da usina. Ao final do primeiro ano de operação a diferença entre esses cenários pode chegar a R\$40.000.000,00 a

favor da geração a biomassa, evidenciando a indiscutível vantagem dessa escolha para o empreendedor.

O maior desafio do setor sucroalcooleiro é o rompimento da idéia que a renda de uma indústria açucareira seja somente com os subprodutos da cana-de-açúcar e comece a considerar a bioeletricidade como uma das possibilidades de fonte de renda adicional, mostrando que a energia elétrica gerada através do bagaço de cana-de-açúcar tornou-se, nos últimos anos, um terceiro produto do setor sucroalcooleiro.

É importante salientar que este trabalho, em momento algum, teve a pretensão de abranger todos os aspectos relacionados à cogeração no setor sucroalcooleiro. Espera-se que os resultados apresentados auxiliem os investidores a reconhecerem a bioeletricidade através do bagaço de cana-de-açúcar como um ramo promissor para o setor sucroalcooleiro e que sirva de motivação e estímulo a outros pesquisadores que se mostrarem dispostos a novas investigações sobre o tema.

## **BIBLIOGRAFIA**

- [1] PIRES, Fátima. Maior produção de cana-de-açúcar da história do Brasil. Disponível em: <[http://www.rankbrasil.com.br/Recordes/Materias/0Lul/Maior\\_Producao\\_De\\_Cana\\_de\\_acucar\\_Da\\_Historia\\_Do\\_Brasil](http://www.rankbrasil.com.br/Recordes/Materias/0Lul/Maior_Producao_De_Cana_de_acucar_Da_Historia_Do_Brasil)>, Acessado em: 03/01/2013
- [2] CERPCH – Centro Nacional de Referência em Pequenas Centrais Hidrelétricas. Disponível em: < <http://www.cerpch.unifei.edu.br/biomassa.php>>. Acesso em: 20 de Junho de 2012
- [3] BALANÇO Nacional da Cana-De-Açúcar e Agroenergia 2007. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: <[http://www.agricultura.gov.br/arq\\_editor/file/Desenvolvimento\\_Sustentavel/Agroenergia/estatisticas/PDF%20-%20BALANO%20NACIONAL\\_0\\_0\\_0.pdf](http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/Desenvolvimento_Sustentavel/Agroenergia/estatisticas/PDF%20-%20BALANO%20NACIONAL_0_0_0.pdf)>. Acesso em: 06 de Junho de 2012
- [4] SZMRECSANYI, Tamás; MOREIRA, Eduardo Pestana. O desenvolvimento da agroindústria canavieira do Brasil desde a Segunda Guerra Mundial. Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo, 1991, vol.5. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40141991000100006>>. Acesso em: 15 de Junho de 2012
- [5] SILVA, José Hélio da. Um perfil da expansão canavieira na alta paulista. Dissertação de Mestrado do Curso de Ciências Sociais, da Faculdade de Filosofia e Ciências – UNESP, 2009
- [6] MAGNOLI, Demétrio. O mundo contemporâneo. São Paulo: Ática, 1992. p.174
- [7] UNICA – União da Indústria da Cana-de-Açúcar. Cartilha Bioeletricidade. Disponível em: <[www.bioeletricidade.com](http://www.bioeletricidade.com)>. Acesso em: 21 de Junho 2012
- [8] JÚNIOR, João Batista Chieppe. Tecnologia e Fabricação do Álcool. Apostila do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás e Universidade Federal de Santa Maria, 2012

[9] GONZAGA, Giordano Bruno Medeiros. Avaliação do Crescimento Inicial da Cana-De-Açúcar, variedade RB 867515, sob o efeito de bactérias endofíticas. Dissertação apresentada para o título de Mestre, da Universidade Federal de Alagoas, 2012

[10] RESPOSTAS dos parâmetros tecnológicos da cana-de-açúcar a diferentes lâminas de irrigação e adubação. Revista de Biologia e Ciência da Terra. vol4

[11] MATRIZ ENERGÉTICA: Cenários, Oportunidades e Desafios. Confederação Nacional da Indústria – CNI. Brasília 2007

[12] CASTRO, Nivalde José de; DANTAS, Guilherme de Azevedo. O Uso do Bagaço e da Palha: Bioeletricidade ou Etanol Celulósico? . I WORKSHOP sobre Impactos Econômicos e Tecnológicos do Bioetanol no Brasil. Rio de Janeiro. 28 de Novembro de 2008. Grupo de Estudo do Setor Elétrico – GESEL UFRJ.

[13] CORTEZ, Luís; MAGALHÃES, Paulo; HAPPI, Júlio. Principais subprodutos da agroindústria canavieira e a sua valorização. Revista Brasileira de Energia. Vol. 2. Nº 2. Sociedade Brasileira de Planejamento Energético

[14] GEORGES, Fernando. Caracterização da palha de cana-de-açúcar do Rio Grande do Sul e de seus produtos de Pirólise. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul

[15] BASQUEROTTO, Cláudio Henrique Cerqueira Costa. Cogeração de Energia Elétrica com Bagaço de Cana-de-Açúcar comprimido (Briquete). Trabalho de Conclusão do Curso de Tecnologia em Biocombustíveis, da Faculdade de Tecnologia de Araçatuba, 2010

[16] JÚNIOR, Ricardo Agudo Romão. Análise da Viabilidade do Aproveitamento da Palha da Cana de Açúcar para Cogeração de Energia numa Usina Sucroalcooleira. Dissertação apresentada para o título de Mestre em Engenharia Mecânica, da Universidade Estadual Paulista, 2009

[17] SILONI, João Roberto. Aproveitamento de Matéria Orgânica: Um Relato da Realidade do grupo COSAN – Unidade Rafard. Trabalho de Conclusão de Curso em Administração, da Universidade Cenecista de Capivari, 2008

[18] ANNA, Rafael Lavrador Sant. Análise sobre a Evolução da Bioeletricidade por Meio da Biomassa da Cana-de-Açúcar e o Comportamento do Setor Sucroalcooleiro em Relação a Investimentos no Setor de Cogeração de Energia. IX Encontro da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica. Brasília. Outubro de 2011

[19] MENEGUELLO, Luiz Augusto. O Setor sucroalcooleiro e a utilização da biomassa da cana-de-açúcar como fonte alternativa de energia. Dissertação apresentada para o título de Mestre em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente, do Centro Universitário de Araraquara, 2006

[20] Balanço Energético Nacional 2012, resultados preliminares. Empresa de Pesquisa Energética – EPE. Disponível em:<[https://ben.epe.gov.br/downloads/Resultados\\_Pre\\_BEN\\_2012.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Resultados_Pre_BEN_2012.pdf)>. Acessado em: 18 de Janeiro de 2013

[21] ORTIZ, Lúcia; RODRIGUES, Délcio. Em Direção à Sustentabilidade da Produção de Etanol de Cana-de-Açúcar no Brasil. Trabalho relacionado ao Projeto “Dutch Import of Biomass – Producing countries”. Outubro 2006.

[22] COELHO, Claudia Rodrigues Faria. Integração do Cogenerador do Setor Sucroalcooleiro com o Sistema Elétrico. Tese apresentada para o título de Mestre em Energia, da Universidade de São Paulo, 2003

[23] NETO, Vincente Corrêa; RAMON, Dan. Análises de Opções Tecnológicas para Projetos de Co-geração no Setor Sucro-Alcooleiro. Relatório integrante do Plano de Trabalho do Sustainable Energy Technology Assistance Program. Brasília. 2 Maio de 2002.

[24] SINDICATO DOS BANCÁRIOS. Brasil ocupa 6º lugar na economia mundial. Disponível em:<[http://bancariose.com.br/site/index.php?option=com\\_content&view=article&id=721%3Abrazil-ocupa-6o-lugar-na-economia-mundial&catid=4&Itemid=100010](http://bancariose.com.br/site/index.php?option=com_content&view=article&id=721%3Abrazil-ocupa-6o-lugar-na-economia-mundial&catid=4&Itemid=100010)>. Acessado em: 06/06/13

[25] GONÇALVES, Daniel Bertoli. Mar de Canal, Deserto Verde? Dilemas do Desenvolvimento Sustentável na Produção Canavieira Paulista. Tese apresentada



para o título de Doutor de Engenharia de Produção, da Universidade de São Carlos, 2005.

[26] FERNANDES, Amábili Sierra; MIGUEL, Emiliana Ridolphi. A importância da utilização do bagaço de cana-de-açúcar na geração de energia em termelétrica. III Encontro Científico e Simpósio de Educação Unisalesiano. 21 de Outubro de 2011.

[27] GRUPO de Estudo do Setor Elétrico – GESEL UFRJ. Disponível em: <<http://www.nuca.ie.ufrj.br/blogs/geselufrj/index.php?/archives/2012/03/07/P2.html>>Disponível em: 07.03.2012

[28] CLEMENTE, Leonardo. Avaliação dos resultados financeiros e riscos associados de uma típica usina de co-geração sucro-alcooleira. Trabalho de Conclusão do Curso de Especialização em Planejamento, Operação e Comercialização na Indústria de Energia Elétrica, da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

[29] BRANDÃO, Sérgio da Silva. Cogeração. Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores, da Universidade de Coimbra, out 2004. Disponível em: < <http://ssbrandao.no.sapo.pt/Cogeracao.pdf>>. Acesso em: 24 de Julho de 2012

[30] NETO, Vicente Corrêa. Análise de viabilidade da cogeração de energia elétrica em ciclo combinado com gaseificação de biomassa de cana-de-açúcar e gás natural. Tese apresentada para o título de Mestre em Ciências em Planejamento Energético, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2001

[31] PRIETO, Mario Gabriel Sánchez. Alternativas de Cogeração na Indústria Sucro-Alcooleira, Estudo de Caso. Tese apresentada para o título de Doutor em Engenharia Mecânica, da Universidade Estadual de Campinas, 2003

[32] FILHO. Paulo Lucas Dantas. Análise de Custos na Geração de Energia com Bagaço de Cana-de-Açúcar: um Estudo de Caso em Quatro Usinas de São Paulo. Tese apresentada para o título de Mestre em Energia, da Universidade de São Paulo, 2009

[33] COSTA, Paulo Roberto Machado Fernandes. Um estudo de oportunidade para o setor Sucroalcooleiro a matriz energética. Dissertação apresentada (Mestrado em Engenharia Elétrica)-Universidade de Brasília, 2008.

[34] COMPARAÇÃO entre tecnologias de gaseificação de biomassa existentes no Brasil e no exterior e formação de recursos humanos na região Norte. Centro Nacional de Referência em Biomassa – CENBIO. Disponível em: <[http://cenbio.iee.usp.br/download/publicacoes/Estado\\_da\\_Arte.pdf](http://cenbio.iee.usp.br/download/publicacoes/Estado_da_Arte.pdf)>. Acesso em: 18 de Setembro de 2012

[35] TURBINA A GÁS: Oportunidades e Desafios. Revista Brasileira de Energia. Vol 8. Nº1. Sociedade Brasileira de Planejamento Energético

[36] QUARESMA, Pedro Miguel Reis. Efeito da Composição do Combustível no Desempenho de uma Câmara de Combustão com Baixas Emissões de NOx para Aplicação a Turbinas a Gás. Tese apresentada para o título de Mestre em Engenharia Mecânica, da Universidade Técnica de Lisboa, 2010

[37] Certificação Digital nº 0421077/CA. PUC-Rio. Disponível em: <[http://www.maxwell.lambda.ele.puc-rio.br/10387/10387\\_3.PDF](http://www.maxwell.lambda.ele.puc-rio.br/10387/10387_3.PDF)>. Acesso em 25 de Agosto de 2012

[38] TONELLO, J.P.C., Modesto, M. Estado da Arte da Conversão Energética da Biomassa da Cana de Açúcar, Universidade Federal do ABC. Disponível em: <[http://ic.ufabc.edu.br/II\\_SIC\\_UFABC/resumos/paper\\_5\\_226.pdf](http://ic.ufabc.edu.br/II_SIC_UFABC/resumos/paper_5_226.pdf)>. Acesso em: 20 de Outubro de 2013

[39] MARTINS, Lydimilla Santos. Geração de energia através da biomassa. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Elétrica, da Universidade Federal do Espírito Santo, 2006

[40] SALES, Cristina Ap<sup>a</sup> Vilas Bôas; ANDRADE, Rubenildo Vieira; LORA, Electo Eduardo Silva. Geração de eletricidade a partir da gaseificação de biomassa. Encontro de Energia no Meio Rural, 2006

[41] LORA, Electo Eduardo Silva; ANDRADE, Rubenildo Vieira; ARADAS, Maria Eugenia Corria. Geração elétrica em pequena escala a partir da gaseificação de biomassa. Revista Brasileira de Energia. Vol. 2. Nº 2. Sociedade Brasileira de Planejamento Energético

[42] SÁNCHEZ, C.G. Tecnologia da Gaseificação. Disponível em: <<ftp://ftp.fem.unicamp.br/pub/IM338/Gaseif-Cap1.pdf>>. Acesso em: 20/03/2013.

[43] SANCHEZ, Caio Glauco; LORA, Electo Silva; HAPP, Julio Fernando. Gaseificação. Disponível em: <<ftp://ftp.fem.unicamp.br/pub/IM351/Comb-Cap7.pdf>>. Acesso em: 25 de Outubro de 2012

[44] MÜLLER, Marcelo Dias. Produção de Madeira para Geração de Energia Elétrica numa Plantação Clonal de Eucalipto em Itamarandiba, MG. Tese apresentada para o título de “Doctor Science” em Ciência Florestal, da Universidade Federal de Viçosa, 2005

[45] BOTÃO, Solange Gomes; LACAVA, Pedro Magalhães. Uso do bagaço da cana de açúcar para cogeração de energia elétrica, no estado de São Paulo e a comercialização do excedente de energia gerada. Artigo do Departamento de Ciências Ambientais da Universidade de Taubaté.

[46] LOPES, Paulo Henrique. O papel da ANEEL na Regulação da Geração Distribuída. Apresentação da ANEEL. Disponível em: <<http://www.tec.abinee.org.br/2011/arquivos/s410.pdf>>. Acesso em: 10 de Abril de 2013

[47] FRAGOAS, Alexandre Gracioli. Estudo de caso do uso do banco de capacitores em uma rede de distribuição primária – indicativos da sua viabilidade econômica. Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Elétrica, da Universidade de São Paulo, 2008.

[48] DIAS, Marcos Vinícius Xavier; BOROTNI, Edson da Costa; HADDAD, Jamil. Geração distribuída no Brasil: oportunidades e barreiras. Revista Brasileira de Energia. Vol. 11. Nº 2. Sociedade Brasileira de Planejamento Energético

[49] SILVA, Christiano Vieira da Silva. Contratação de Energia Elétrica: Aspectos Regulatórios e Econômicos. Texto de Discussão do Setor Elétrico n.º 25. Grupo de Estudo do setor Elétrico UFRJ – GESEL. Disponível em: <<http://www.nuca.ie.ufrj.br/gesel/tdse/TDSE25.pdf>>. Acesso em: 10 de Janeiro 2013

[50] BIOENERGIA. Jornal Investe São Paulo. Disponível em: <<http://www.investe.sp.gov.br/setores/bioenergia>>. Acessado em: 10 de Janeiro de 2013

[51] ANÁLISE da Geração Verificada das Usinas a Biomassa 2008 – 2011. Informe Técnico EPE. 13/07/12

[52] CASTRO, Nivalde J. de. ; DANTAS, Guilherme de A.; BRANDÃO, Roberto. Oportunidades de Comercialização de Bioeletricidade no Sistema Elétrico Brasileiro. Texto de Discussão do Setor Elétrico n.º 13. Grupo de Estudo do setor Elétrico UFRJ – GESEL. Disponível em:< <http://www.nuca.ie.ufrj.br/gesel/tdse/TDSE13.pdf>>. Acesso em: 05 de Fevereiro de 2013

[53] NOGUEIRA, Larissa Pinheiro Pupo. Estado Atual e Perspectivas Futuras para a Indústria Eólica no Brasil. Tese apresentada para o título de Mestre em Planejamento Energético, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2011

[54] CONTRATAÇÃO no Leilão de Reserva totaliza 1.218,1 MW, através de 41 usinas. Informe a Imprensa Leilão de Energia de Reserva / 2011 – EPE. São Paulo. 18/08/2011. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/imprensa/PressReleases/20110818\\_1.pdf](http://www.epe.gov.br/imprensa/PressReleases/20110818_1.pdf)>. Acesso em: 25 de Fevereiro de 2013

[55] ÍNDICE de Custo Benefício (ICB) de Empreendimentos de Geração Termelétrica. Empresa de Pesquisa Energética – EPE. Rio de Janeiro. 06/04/2006. Disponível em:< [http://www.epe.gov.br/leiloes/Documents/LeilaoA-52005\\_5/Metodologia%20de%20Calculo%20do%20ICB\\_R2.pdf](http://www.epe.gov.br/leiloes/Documents/LeilaoA-52005_5/Metodologia%20de%20Calculo%20do%20ICB_R2.pdf)>. Acesso em: 18 de Março de 2013

[56] Certificação Digital nº 0610509/CA. Portal PUC-Rio. Disponível em: <[http://www.maxwell.lambda.ele.puc-rio.br/12130/12130\\_4.pdf](http://www.maxwell.lambda.ele.puc-rio.br/12130/12130_4.pdf)>. Acesso em: 20 de Março de 2013

[57] PIEROBON, Ernesto Costa; COSTA, Ricardo Cunha da. Leilão de Energia Nova: Análise da Sistemática e dos Resultados. Disponível em: <[http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes\\_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set2703.pdf](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set2703.pdf)>. Acesso em: 25 de Março de 2013

[58] OLIVEIRA, Ricardo Alexandre Freitas. Geração de Energia Elétrica através do uso de Biomassa na Bahia: Condicionantes e Oportunidades. Tese apresentada para o título de Mestre, da Universidade Salvador - UNIFACS, 2006

[59] REGRAS de Comercialização: Formação do Preço de Liquidação das Diferenças (PLD). Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. V.1. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2012/063/documento/formacao\\_do\\_pld\\_anexo.pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2012/063/documento/formacao_do_pld_anexo.pdf)>. Acesso em: 25 de Novembro de 2012

[60] RESOLUÇÃO normativa nº 247. Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. 21 de Dezembro de 2006.

[61] VIEIRA, Daniel. Obstáculos à Universalização do acesso ao serviço público de distribuição de energia elétrica no meio rural brasileiro. Artigo apresentado para o título de Especialista em Controle da Regulação, do Instituto Serzedello Corrêa – ISC/TCU, Brasília, 2011.

[62] BIOELETRICIDADE: 26 anos contribuindo para a sustentabilidade. Jornal Nova Cana. Disponível em: <<http://www.novacana.com/n/cogeracao/mercado/bioeletricidade-26-anos-sustentabilidade-040413/>>. Acessado em: 25/05/13

[63] SANTOS, Fernando Alves. Análise da aplicação da biomassa da cana como fonte de energia elétrica: usina de açúcar, etanol e bioeletricidade. Dissertação apresentada para o título de Mestre em Engenharia Elétrica, da Universidade de São Paulo - USP, 2012

[64] ANÁLISE FINANCEIRA: O mercado de carbono entre 30 de abril e 7 de maio. Instituto Carbono Brasil. Disponível em:<  
[http://www.institutocarbonobrasil.org.br/analise\\_financeira/noticia=733924](http://www.institutocarbonobrasil.org.br/analise_financeira/noticia=733924)> Acessado em: 22/05/13

[65] ENERGIA RENOVÁVEL – Biomassa do Setor Sucroenergético. Apresentação do Grupo de Estudo do Setor de Energia Elétrica da UFRJ. Disponível em:<  
<http://www.nuca.ie.ufrj.br/gesel/apresentacoes/1.10.pdf>>. Acesso em: 23/05/13

[66] SITE PETROBRAS. Disponível em:<  
<http://www.petrobras.com.br/pt/produtos/composicao-de-precos/>>. Acesso em: 25/05/13

[67] VELASCO, Giuliana; LIMA, Ana Maria; COUTO, Hilton. Análise Comparativa dos Custos de Diferentes Redes de Distribuição de Energia Elétrica no Contexto da Arborização Urbana. Scientific Electronic Library Online, 2006.