

Curso de Tecnologia em Biocombustíveis

ASPECTOS TÉCNICOS E ECONÔMICOS PARA COGERAÇÃO DE ENERGIA EM USINA PRODUTORA DE AÇÚCAR E ETANOL

MAURÍCIO VILLANOVA DO AMARAL

Orientador: Ms. Evaldo Ferezin

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

Jaboticabal – SP

2º Semestre/2012

Amaral, Maurício Villanova do
A485a Aspectos técnicos e econômicos da cogeração de energia em usina
produtora de açúcar e etanol. / Maurício Villanova do Amaral. — Jaboticabal :
Fatec, 2012.
31f.

Orientador: Ms. Evaldo Ferezin

Trabalho (graduação) – Apresentado ao Curso de Tecnologia em
Biocombustíveis, Faculdade de Tecnologia de Jaboticabal, 2012.

1. Energia renovável. 2. Cogeração. 3. Venda de Energia. I. Ferezin, E.
II. Título.

CDU 621.311

Curso de Tecnologia em Biocombustíveis

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: ASPECTOS TÉCNICOS E ECONÔMICOS PARA COGERAÇÃO DE ENERGIA EM USINA PRODUTORA DE AÇÚCAR E ETANOL

AUTOR: MAURÍCIO VILLANOVA DO AMARAL

ORIENTADOR: Ms. EVALDO FERZIN

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

EVALDO FERZIN

ROBERTO VALÊNCIO PEDROSO DE CARVALHO

TADEU TOMIO SUDO

Data da apresentação: 20 de Dezembro de 2012.

Evaldo Ferzin

RESUMO

ASPECTOS TÉCNICOS E ECONÔMICOS PARA COGERAÇÃO EM USINA PRODUTORA DE AÇÚCAR E ETANOL

A eletricidade se tornou a principal fonte de energia utilizada no mundo moderno. Atividades simples como assistir a televisão ou navegar na internet são possíveis porque a energia elétrica chega até a sua casa. Grande parte dos avanços tecnológicos que alcançamos se deve também, à energia elétrica obtida a partir de diversos tipos de processos. A eletricidade é transportada e chega aos consumidores no mundo inteiro por meio de sistemas elétricos complexos, compostos de quatro etapas: geração, transmissão, distribuição e consumo. O sistema brasileiro de energia elétrica é basicamente hidrotérmico, sendo que a maior parte da sua produção é a partir de usinas hidrelétricas (UHEs). Em 2001 com a crise de energia o Brasil passou por um período de racionamento para estabilizar os níveis dos reservatórios desde então várias fontes de energia renováveis estão no foco do desenvolvimento tecnológico, a fim de substituir ou complementar os métodos convencionais de geração. Um dos meios de geração alternativa de energia limpa e renovável é a utilização de subprodutos industriais, como por exemplo, o bagaço e a palha de cana-de-açúcar. O setor sucroenergético apresenta um grande potencial de recursos para geração de energia elétrica. O bagaço e a palha de cana-de-açúcar são queimados em caldeiras, gerando vapor para o processo de produção de açúcar e etanol, e também geração de energia elétrica por meio de turbinas ligadas a geradores. O trabalho traz a descrição de métodos para geração de energia como: solar, eólica, nuclear, hidráulica e o foco do trabalho a cogeração em unidade termelétrica anexa a usina de açúcar e etanol utilizando o excedente de bagaço e palha da cana-de-açúcar como combustíveis. Em seguida será estimado o custo para implantação/ampliação necessária para que a termelétrica produza 33MWh, sendo 3MWh para consumo e autossuficiência da unidade e 30MWh para comercialização. Posteriormente realizada uma estimativa para o retorno desse investimento. Chegando a um valor positivo quanto à implantação/ampliação do sistema de cogeração de energia com o prazo aproximado de 5 (cinco) anos para o retorno do capital investido.

Palavras-chave: Energia Renovável. Cogeração. Venda de Energia

ABSTRACT

TECHNICAL AND ECONOMIC ASPECTS FOR PRODUCING PLANT COGENERATION IN SUGAR AND ETHANOL

Electricity has become the main source of energy used in the modern world. Simple activities like watching television or surfing the internet are possible because the electricity reaches your home. Much of the technological advances we have achieved is also due to the electricity produced from different types of processes. Electricity is transported and reaches consumers worldwide through complex electrical systems consisting of four steps: generation, transmission, distribution and consumption. The Brazilian electricity system is basically hydrothermal, and most of its production is from hydropower plants (HPPs). In 2001 with the energy crisis Brazil experienced a period of rationing to stabilize reservoir levels since several renewable energy sources are the focus of technological development in order to replace or complement conventional methods of generation. An alternative means of generation of clean and renewable energy is the use of industrial byproducts, such as straw, bagasse and cane sugar. The sugarcane industry has great potential resources for electricity generation. The bagasse and straw cane sugar are burned in boilers generating steam for the production of sugar and ethanol, and also generate electricity through turbines connected to generators. The paper presents the description of methods for generating energy as solar, wind, nuclear, hydro and cogeneration focus of work in thermoelectric unit attached to the sugar mill and ethanol using surplus bagasse and straw of cane sugar as fuels. Next will be the estimated cost for implementation / expansion needed to produce the fuel 33MWh being 3MWh for consumption and self-sufficiency drive and 30MWh for marketing. Subsequently performed to estimate the return on this investment. Coming to a positive value as the implementation / expansion of power cogeneration system with the approximate period of 5 (five) years for return on invested capital.

Keywords: Renewable Energy. Cogeneration. Sale of Energy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Matriz energética brasileira	08
Figura 02 – Painéis de energia solar	09
Figura 03 – Esquema de geração de energia eólica.	10
Figura 04 – Esquema de usina hidrelétrica.	11
Figura 05 – Esquema de usina nuclear.....	12
Figura 06 – Esquema básico do processo de cogeração em UTE anexa à usina de açúcar e etanol.	16
Figura 07 – Vista geral da saída de bagaço e caldeira.	17
Figura 08 – Transportador de Bagaço na saída da moenda.....	17
Figura 09 – Vista geral do pátio de bagaço.....	18
Figura 10 – Visor da Fornalha.	18
Figura 11 – Vista geral da caldeira.	19
Figura 12 – Turbina instalada.	20
Figura 13 – Subestação seccionadora.	20
Figura 14 – Esquema representativo da subestação seccionadora.....	21
Figura 15 – Vista geral da subestação e rede de transmissão.....	21
Figura 16 – Interior da casa de Força.....	22
Figura 17 – Turbina e painel.	22
Figura 18 – Vista geral da estação de tratamento de água.	23
Figura 19 – Equipamento utilizado para tratamento de água por osmose reversa.	24
Figura 20 – Modele de torre de transmissão.	25
Figura 21 – Modelo de poste.....	25
Figura 22 – Distribuição dos postes às margens da rodovia.	26

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	III
1 INTRODUÇÃO.....	7
2 MATRIZ ENERGÉTICA E CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	8
2.1 Energia solar	9
2.2 Energia eólica	9
2.3 Energia hidráulica.....	11
2.4 Energia Nuclear	12
2.5 Biomassa	13
3 SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA.....	14
4 COGERAÇÃO	15
5 RELAÇÃO DE INVESTIMENTO	27
5.1 Custo de aquisição	Erro! Indicador não definido.
5.2 Estimativa de retorno do investimento	Erro! Indicador não definido.
6 CONCLUSÃO.....	29

1 INTRODUÇÃO

A energia, nas suas mais diversas formas, é indispensável à sobrevivência da espécie humana. E mais do que sobreviver, o homem procura sempre evoluir. A forma mais comum de energia utilizada é a elétrica, importante para o desenvolvimento socioeconômico de muitos países e regiões, porém os recursos naturais para sua geração podem ficar escassos, esgotados ou inconvenientes de serem utilizados, surgindo a necessidade de compensá-lo ou substituí-lo por outros recursos.

O Brasil possui, em relação a outras nações, a vantagem de poder planejar sua matriz energética utilizando fontes primárias renováveis. Entre elas podemos citar a solar, hidrelétrica, eólica e biomassa. Neste trabalho, foi estudado o bagaço e a palha de cana-de-açúcar, excedentes do setor sucroalcooleiro, que são utilizados para geração de energia elétrica pela queima em caldeiras em UTE anexa às unidades produtoras de açúcar e etanol.

A venda do excedente de energia elétrica como negócio, teve início no final dos anos 80 de maneira discreta, passando a ser seriamente discutida como uma fonte alternativa interessante a partir de 2001, quando o país passou por sérias dificuldades de oferta de energia. Foi necessário o desenvolvimento de um severo programa de racionamento no consumo da energia elétrica e de racionalização de seu uso. As novas políticas públicas editadas a partir dessa época passaram a valorizar as fontes que requerem prazos curtos para instalação e funcionamento, e fontes alternativas de baixa emissão de carbono. Todos esses fatores despertaram a venda de excedentes de energia elétrica produzido no setor sucroalcooleiro, criando assim uma nova fonte de renda para o setor.

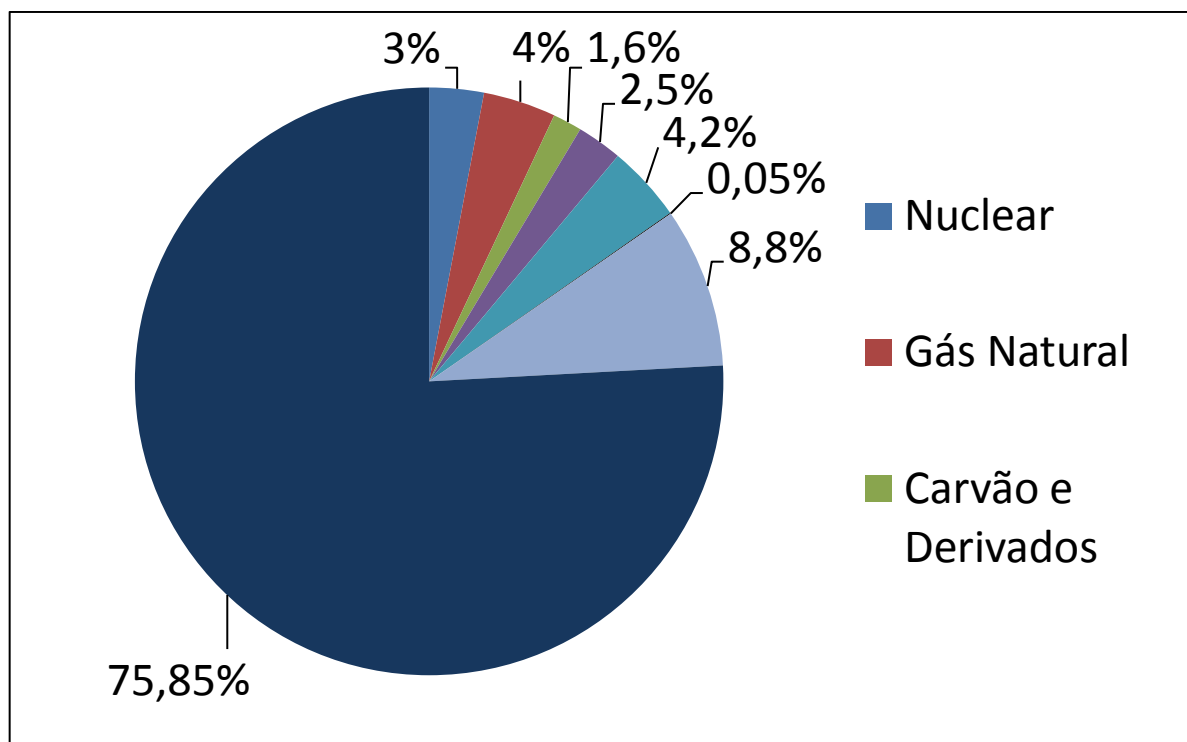
2 MATRIZ ENERGÉTICA E CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

A eletricidade se tornou a principal fonte de luz, calor e força utilizada no mundo moderno. Atividades simples como assistir à televisão ou navegar na internet são possíveis porque a energia elétrica chega até a sua casa além de fábricas, supermercados, shoppings e uma infinidade de outros lugares que precisam dela para funcionar.

A eletricidade é transportada e chega aos consumidores no mundo inteiro por meio de sistemas elétricos complexos, compostos de quatro etapas: geração, transmissão, distribuição e consumo.

A matriz energética brasileira é composta de diversas fontes, conforme mostra a figura 01 a seguir.

Figura 1 - Gráfico da matriz energética brasileira (EMERSON, 2012)



2.1 Energia solar

Essa forma de energia pode ser utilizada diretamente como fonte de energia térmica e para geração de energia elétrica. Para geração de energia elétrica é utilizada a radiação emitida pelos raios solares, utilizando elementos denominados de fotovoltaicos. Esses elementos unidos formam placas e a união de diversas placas forma o sistema. Conforme o Atlas de energia elétrica do Brasil de 2005 são utilizados, principalmente, em residências e comércios para aquecimento de águas utilizadas para higiene, não alcançando temperaturas superiores a 100°C.

Esse sistema também pode ser usado como concentradores térmicos para geração de vapor, que auxilia na secagem de grãos, porém para que isso ocorra é necessário um espaço físico muito grande e com intensa radiação solar. A figura 2 mostra painéis de energia solar.

Figura 2 - Painéis de energia solar (TORRES, 2012)



2.2 Energia eólica

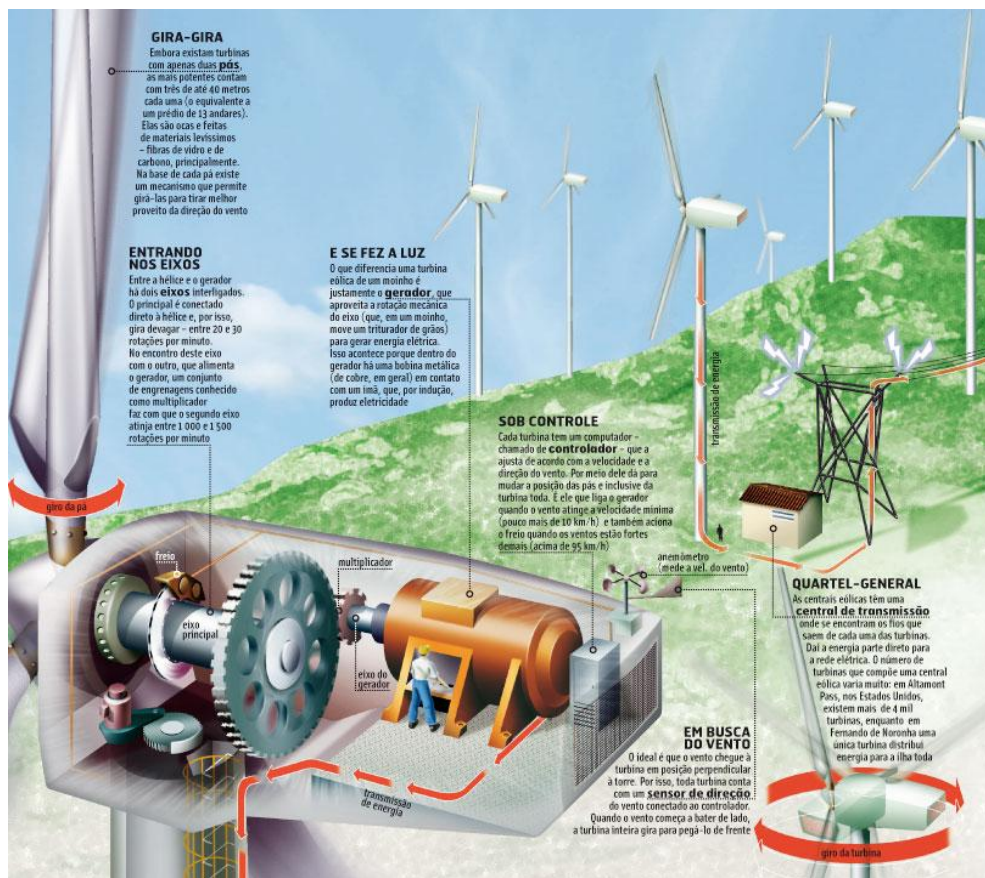
Denomina-se energia eólica a energia cinética contida no ar em movimento (vento). A primeira turbina eólica comercial ligada à rede elétrica foi instalada em 1976, na Dinamarca e atualmente existem mais de 30 mil turbinas em operação no mundo.

O local para instalação de usinas eólicas deve conter alguns pré-requisitos sendo o principal, vento com velocidade mínima de 7m/s em uma altura de 50m (GRUBB; MEYER, 1993). Segundo a Organização Mundial de Meteorologia, em apenas 13% da superfície terrestre o vento apresenta esta característica e ainda assim algumas dessas áreas são densamente povoadas, industrializadas ou então apresentam destruições ambientais como regiões montanhosas inviabilizando assim a implantação.

A região mais explorada para produção de energia elétrica em usinas eólicas no Brasil é a Nordeste, principalmente nos Estados do Ceará e Pernambuco.

De acordo com a 2ª Edição do Atlas de Energia Elétrica do Brasil ainda existe divergências entre especialistas e instituições na estimativa do potencial eólico brasileiro. Até poucos anos, as estimativas eram da ordem de 20.000 MW e hoje a maioria dos estudos indica valores maiores que 60.000 MW. Essas divergências ocorrem principalmente pela falta de informações (dados de superfície) e das diferentes metodologias empregadas. A figura 3 traz o esquema de geração de energia eólica

Figura 3 - Esquema de geração de energia eólica (7CIDADES, 2012)



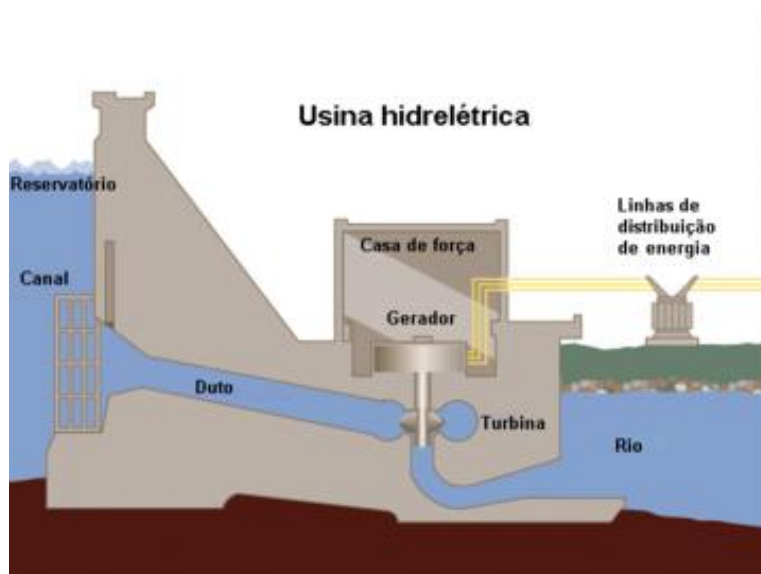
2.3 Energia hidráulica

Em países como o Brasil, que possuem muitos rios, uma das soluções mais econômicas para fazer girar turbinas é aproveitar a força das águas e utilizá-las em usinas hidrelétricas.

Nas usinas desse tipo, uma barragem represa e controla as águas do rio. No interior da barragem, são instaladas tubulações, geralmente chamados de aquedutos, que abrigam as turbinas. A água desce pelos tubos e faz girar as turbinas que estão acopladas ao eixo do gerador, movimentando-o e produzindo energia elétrica. Perto dos geradores são instalados os transformadores, equipamentos que ajustam a tensão da energia elétrica que é enviada pelos cabos das linhas de transmissão. Depois de movimentar as turbinas, a água volta para o leito do rio sem sofrer nenhum tipo de degeneração. É por isso que a energia hidrelétrica é considerada uma fonte limpa, além de ser renovável.

A maior quantidade de energia elétrica produzida no Brasil provém de usinas hidrelétricas. Construída e administrada por Brasil e Paraguai, a usina hidrelétrica de Itaipu no rio Paraná, é a segunda maior hidrelétrica do mundo em potência instalada, com 14 mil MW de capacidade de geração, atrás apenas da usina hidrelétrica de Três Gargantas, na China. Na figura 4 temos um esquema básico de uma usina hidrelétrica.

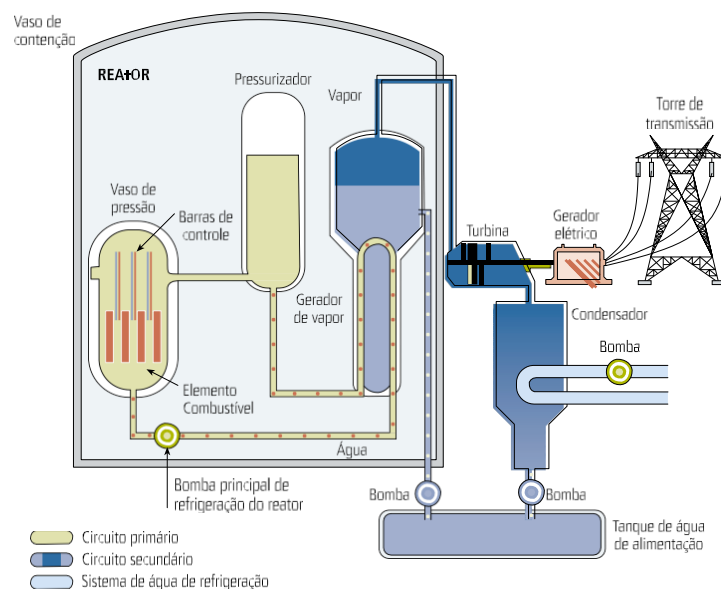
Figura 4 - Esquema de usina hidrelétrica (WIKIPÉDIA, 2012)



2.4 Energia Nuclear

A energia nuclear ou nucleoeletrica é proveniente da fissão do urânio em reator nuclear. Apesar da complexidade de uma usina nuclear, seu princípio de funcionamento é similar ao de uma termelétrica convencional, onde o calor gerado pela queima de um combustível produz vapor, que aciona uma turbina, acoplada a um gerador de corrente elétrica. Na usina nuclear, o calor é produzido pela fissão do urânio no reator, cujo sistema mais empregado (PWR – *Pressurized Water Reactor*) é constituído por três circuitos: primário, secundário e de refrigeração. No primeiro, a água é aquecida a uma temperatura de aproximadamente 320°C, sob uma pressão de 157 atm. Em seguida, essa água passa por tubulações e vai até o gerador de vapor, onde vaporiza a água do circuito secundário, sem que haja contato físico entre os dois circuitos. O vapor gerado aciona uma turbina, que movimenta o gerador e produz corrente elétrica (ELETRONUCLEAR, 2001). A figura 5 traz o esquema do sistema PWR para usina nuclear.

Figura 5 – Esquema PWR para usina nuclear (ATLAS, 2005)



2.5 Biomassa

Biomassa é qualquer matéria orgânica que possa ser transformada em energia mecânica, térmica ou elétrica. Podendo variar de acordo com sua origem: florestal (madeira, principalmente), agrícola (soja, arroz e cana-de-açúcar, entre outras) e rejeitos urbanos e industriais (sólidos ou líquidos, como o lixo).

Os derivados obtidos dependem da matéria-prima utilizada, já que o potencial energético varia entre os tipos citados acima e quanto à tecnologia de processamento utilizado para obtenção dos energéticos.

A produção de energia elétrica pela biomassa está ligada diretamente a subprodutos agrícolas, onde se tem a utilização de tecnologias eficientes.

Temos como exemplo de biomassa para geração de energia algumas culturas como: milho, onde se utiliza sabugo, colmo, folha e palha; soja utilizando os resíduos que permanecem no solo, denominados de palha; e da cana-de-açúcar são utilizados o bagaço obtido a partir da moagem dos colmos e a palha, ambos por enquanto não utilizados para produção de açúcar e/ou etanol.

Nosso estado possui diversas usinas produtoras de açúcar e etanol que geram energia elétrica a partir da cogeração utilizando a biomassa de cana-de-açúcar como combustível. Conforme o mapa das usinas de açúcar e etanol da União dos Produtores de Bioenergia (UDOP).

Segundo a CONAB (2011) na safra 2009-2010 foram moídas aproximadamente 602.896.661 toneladas de cana-de-açúcar por 393 usinas, sendo que aproximadamente 282.995.576 toneladas foram moídas por 111 usinas que comercializam o excedente de energia elétrica. Essas 602.896.661 toneladas geraram 20,03 milhões de MWh durante o período de operação das termelétricas, sendo que as usinas que comercializam energia, geraram 67,3% desse total, ou seja, 13,6 milhões de MWh. A comercialização de energia elétrica dessas unidades alcançou a marca de 7,3 milhões de MWh.

O fato do período de safra ser coincidente com o período de ausência de chuvas nas regiões sudeste e centro-oeste, regiões onde se encontra o maior potencial hidrelétrico instalado, implica em que a energia gerada pelas Unidades Termelétricas anexas às usinas auxilia em manter os níveis dos reservatórios das Usinas Hidrelétricas em condições adequadas.

3 SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA

O sistema de distribuição de energia elétrica no Brasil é formado por dois grupos, Sistema Integrado Nacional (SIN) e Sistemas Isolados (nesse trabalho denominado de SIS).

O SIN é formado por empresas de todas as regiões do País, com menor intensidade na região norte. Esse sistema tem como principal função a compensação de energia elétrica na rede principal de distribuição, por diversas fontes de energias. Pode-se ter como exemplo de aplicação do SIN o seguinte caso: quando ocorre um déficit hídrico que prejudique a produção de eletricidade, as unidades produtoras de energia como, por exemplo, termelétricas disponibilizam sua produção para o mercado. Ligando sua produção à rede principal de distribuição de energia por subestações seccionadoras, fazendo com que os consumidores não sejam afetados.

O SIS é mais presente na região norte do país. Nesse sistema a geração de energia não está ligada a rede principal de distribuição de energia. Assim o produtor geralmente é o consumidor ou então a energia é vendida diretamente para o consumidor. O principal inconveniente desse sistema é a dependência direta de um fornecedor. Caso esse fornecedor tenha alguma falha o consumidor será diretamente prejudicado. Conforme descrito no Atlas de Energia Elétrica do Brasil.

4 COGERAÇÃO

A partir da resolução normativa ANEEL nº 235, de 14 de novembro de 2006 define-se como conceito de cogeração o processo operado numa instalação específica para fins da produção combinada das utilidades calor e energia mecânica, esta geralmente convertida total ou parcialmente em energia elétrica, a partir da energia disponibilizada por uma fonte primária.

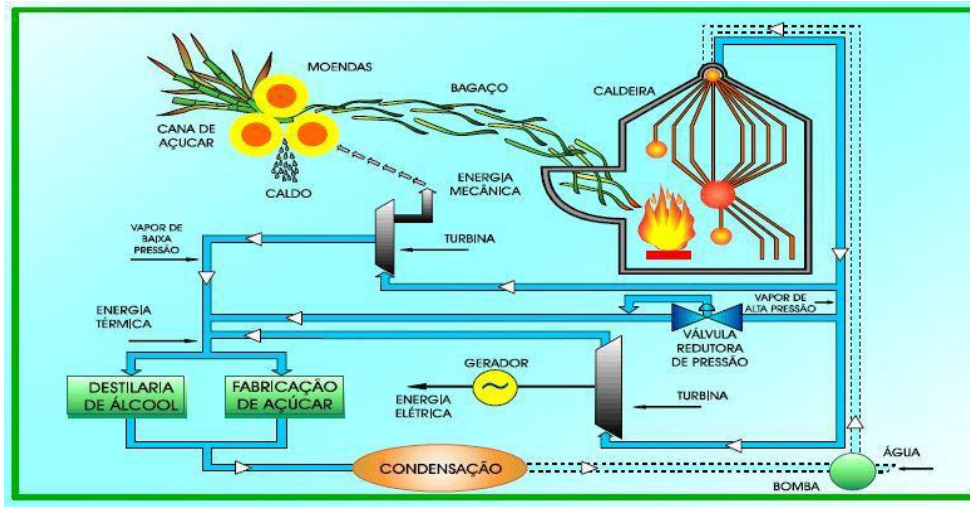
Para o processo de cogeração existem diferentes tipos de sistemas aplicáveis, entre eles podemos citar o *bottoming cycle* e o *topping cycle*.

No sistema *bottoming cycle* o vapor gerado na caldeira, é direcionado para uma turbina a vapor que transforma energia térmica em energia mecânica. Em seguida o vapor é enviado ao processo de fabricação de açúcar e etanol.

O *topping cycle* utiliza uma turbina a gás que gera energia elétrica e os gases de combustão são direcionados a uma caldeira para geração de vapor que é encaminhado para o processo de fabricação de açúcar e etanol. Esse processo possui maior eficiência na transformação de energia térmica em mecânica, quando comparado ao *bottoming cycle*. Porém menos utilizado devido à necessidade de aquisição de um número maior de equipamentos e conseqüentemente maior gasto com manutenção.

O *bottoming cycle*, que utiliza o ciclo Rankine. Esse ciclo consiste em um sistema fechado onde o vapor tirado da caldeira é direcionado para a turbina, para gerar energia elétrica e ao sair da turbina o vapor com menor pressão e temperatura é destinado para o processo de fabricação de açúcar e etanol. Ao sair das linhas de processo o vapor com pressão e temperatura baixa é condensado e retorna como água de alimentação para a caldeira, que utiliza o bagaço excedente do processo como combustível, como mostra a figura 06.

Figura 6 - Esquema básico do processo de cogeração em UTE anexa à usina de açúcar e etanol (CARDOSO, 2011)



A seguir é descrito o processo de cogeração a partir do ciclo Rankine, em UTE anexa às usinas produtoras de açúcar e etanol.

O processo é realizado utilizando como combustível o bagaço e a palha excedente da produção de açúcar e etanol. O bagaço é transportado do setor de extração de caldo até as caldeiras por transportadores contínuos (esteiras) que alimentam a fornalha da caldeira. O excedente de bagaço é encaminhado ao pátio de bagaço, conforme ilustrado pelas figuras de 07 a 11, para armazenamento e abastecimento da caldeira durante partidas/retomadas do processo, além de manter a termelétrica em operação mesmo durante paradas do setor de extração da usina.

Figura 7 - Vista geral da saída de bagaço e caldeira (AMARAL, 2012)



Figura 8 - Transportador de Bagaço na saída da moenda (AMARAL, 2012)



Figura 9 - Vista geral do pátio de bagaço (AMARAL, 2012)



Figura 10 - Visor da fornalha (AMARAL, 2012)



As caldeiras que produzem vapor pela queima de combustíveis são alimentadas simultaneamente com bagaço e água, podendo ser classificadas em dois grandes grupos, de acordo com a disposição da água e dos gases de combustão nos tubos: flamotubulares e aquatubulares.

Em caldeiras flamotubulares os gases quentes da combustão circulam por dentro dos tubos e a água a ser aquecida pelo externo dos tubos, e nas aquatubulares a água a ser

aquecida é que circula por dentro dos tubos e os gases quentes de combustão circulam por fora dos tubos.

No setor sucroenergético as caldeiras mais comuns são as aquatubulares devido a sua capacidade de produzir grandes quantidades de vapor a alta temperatura e pressão. A seguir a figura 11 mostra um modelo de caldeira utilizada no setor.

Figura 11 - Vista geral da caldeira (AMARAL, 2012)



O vapor gerado é encaminhado posteriormente para a turbina onde ocorre a transformação de energia térmica em energia mecânica.

As turbinas podem ser de diferentes tipos, entre eles estão:

- Contrapressão: Esse tipo de turbina trabalha com pressões superiores à atmosférica.

O vapor resultante após a movimentação do eixo da turbina é direcionado para o processo.

- Condensação: Trabalha com pressões até abaixo da pressão atmosférica, o vapor resultante após a movimentação do eixo da turbina é condensado e retorna como água de alimentação do sistema. A figura 12 traz o interior de uma turbina a vapor.

Figura 12 – Turbina instalada (KOCH, 2012)



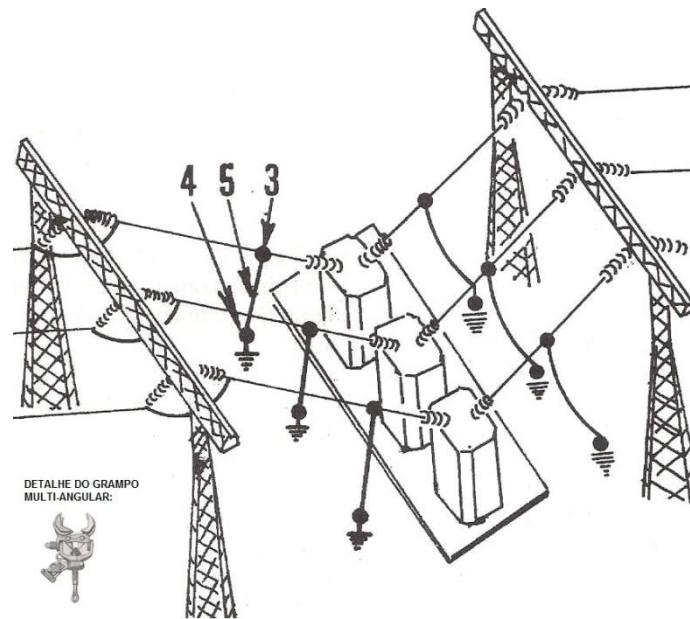
A energia mecânica proporcionada pela turbina é a força motriz para o acionamento do gerador de energia elétrica acoplado ao eixo da turbina.

A energia elétrica gerada a partir da rotação do eixo do gerador é transmitida para subestações seccionadoras. As subestações recebem esse nome devido ao seu posicionamento em relação à rede principal de distribuição de energia elétrica, conforme mostram as figuras 13 e 14.

Figura 13 - Subestação seccionadora (AMARAL, 2012)



Figura 14 - Esquema representativo da subestação seccionadora (LUGO, 2012)



A subestação seccionadora é ligada a rede principal de distribuição de energia por uma rede de transmissão como indicado na figura 15.

Figura 15 - Vista geral da subestação e rede de transmissão (AMARAL, 2012)



Os principais equipamentos como turbina e gerador, além dos painéis de controle, encontram-se dentro de um prédio específico denominado de casa de força, como mostram as figuras 16 e 17.

Figura 16 - Interior da casa de Força (AMARAL, 2012)



Figura 17 - Turbina e painel (AMARAL, 2012)



O vapor ao sair da turbina é condensado e retorna para a alimentação da caldeira, configurando assim um circuito fechado. Porém há a necessidade de água de reposição para a geração de vapor, sendo a qualidade desta água de fundamental importância.

Para caldeiras de alta pressão deve-se utilizar água desmineralizada, ou seja, água desprovida de íons como cálcio e magnésio. A ausência desses íons é importante para preservar as tubulações da caldeira, da rede de distribuição de vapor e, o mais importante, evitar acúmulo de incrustações nas paredes das palhetas do rotor da turbina, evitando o desbalanceamento do rotor, o que causaria sérios danos à turbina e toda instalação.

O tratamento completo da água de reposição se dá da seguinte maneira. A água captada de fontes naturais (superficiais ou subterrâneas) é encaminhada à estação de tratamento de água (ETA) onde recebe o tratamento primário, que consiste basicamente em decantação e filtração, tendo o nível de sílica reduzido. Posteriormente, a água tratada é enviada ao segundo tratamento, justamente o da desmineralização, para retirada de íons (cálcio, magnésio). Esse processo pode ser realizado por resinas de troca iônica ou por membranas, que efetuam osmose. As figuras 18 e 19 a seguir representam, respectivamente, a ETA e um sistema de tratamento de água por osmose reversa.

Figura 18 - Vista geral da estação de tratamento de água (AMARAL, 2012)



Figura 19 - Equipamento utilizado para tratamento de água por osmose reversa (AMARAL, 2012)



A instalação de uma unidade termelétrica (UTE) anexa à usina produtora de açúcar e etanol proporciona além da exportação/venda de energia elétrica, a autossuficiência em energia elétrica de todo o parque industrial.

O período de funcionamento da termelétrica varia de acordo com a safra e o excedente de bagaço depositado no pátio, podendo se estender além do período da safra de cana-de-açúcar, devido ao acúmulo do excedente de bagaço no pátio. Claro que este acúmulo depende da avaliação do processo como um todo, incluindo a usina e a UTE, além da estratégia de exportação de energia requerida. Em determinados projetos é possível prolongar o período de cogeração para até 330 dias.

A energia gerada e transmitida para a subestação seccionadora é direcionada para a rede de distribuição elétrica, que fornece energia para os consumidores finais. Essa energia é transportada por cabos e torres de transmissão conforme mostram as figuras 20, 21 e 22.

Figura 20 - Distribuição dos postes às margens da rodovia (AMARAL, 2012)



Figura 21 - Modelo de torre de transmissão (AMARAL, 2012)



Figura 22 - Modelo de poste (AMARAL, 2012)



5 RELAÇÃO DE INVESTIMENTO E ESTIMATIVA DO TEMPO DE RETORNO.

Para obtenção da tabela 1 foi considerado a aquisição/troca dos principais equipamentos e modificações necessárias para a ampliação da produção de energia elétrica pela usina de açúcar e etanol.

Tabela 1 - Relação de custo para os principais equipamentos e de algumas modificações para implantação da UTE anexa à usina.

ITEM	QUANTIDADE	Equipamentos	VALOR (R\$)
Sistema de Bagaço			
1	1	Ampliação de Transportador Metálico Alimentação das Caldeiras	1.100.000,00
2	1	Classificador de Bagacilho	48.150,00
3	1	Bica Telescópica para Descarga no Pátio de Bagaço	29.960,00
4	1	Bicas Integradoras entre Transportadores	100.000,00
5	1	Ampliação Estrutura Metálicas para Transportadores	500.000,00
		Sub-Total	1.778.110,00
Geração de Vapor			
6	1	Caldeira 67 kgf/cm ² - 490 °C com Capacidade para 160 ton/h Completa	25.000.000,00
7	1	Desaerador Térmico	500.000,00
8	1	Sistema de Recuperação da Água de Lavagem de Fuligem	220.000,00
9	1	Silenciadores de Vapor	100.000,00
10	1	Válvulas Redutoras de Pressão VD/VE, Segurança e Alívio (Conjunto - Linha de Vapor)	650.000,00
		Sub-Total	26.470.000,00
Geração de Energia Elétrica			
11	1	Gerador de Eletricidade -41.250 kVA-13,8 kV - 1.800 rpm	6.500.000,00
12	1	Turbo Redutor de Condensação de 67 kgf/cm ² - 490 °C de 33 MW com acessórios	14.500.000,00
13	1	Sistema Adiabático da Casa de Força - Lavador de Ar	400.000,00
		Sub-Total	21.400.000,00
Tratamento de Água			
15	1	Estação de Tratamento de Água 100 m ³ /h cada.	200.000,00
16	1	Sistema de Polimento de Condensado capacidade 200m ³ /h	250.000,00
17	1	Sistema de Decloração + Osmose Reversa - 50 m ³ /h	800.000,00
		Sub-Total	1.250.000,00
Resfriamento de Água			
19	6	Torres de Resfriamento de Água para Turbo Gerador de Condensação - 1.500 m ³ cada.	2.000.000,00
		Sub-Total	2.000.000,00
Planta Elétrica			
20	1	Planta Elétrica Geral	3.000.000,00
21	1	Linha de Transmissão 138 kV (5 km)	3.200.000,00
22	1	Sub Estação Seccionadora de Energia em 138 kV	8.500.000,00
		Sub-Total	14.700.000,00
Interligação			
23	1	Estruturas Metálicas para Acesso a Válvulas e Instrumentos	150.000,00
24	1	Suportes de Molas e Juntas de Expansão	800.000,00
25	1	Válvulas Manuais e Purgadores em geral	600.000,00
26	1	Tubulação em Aço Liga (Tubo para Vapor Direto) para Caldeiras - Material ASTM A-335 Gr.P-11	1.200.000,00
		Sub-Total	2.750.000,00
Obras Cíveis			
27	1	Preparação do Terreno, bases cíveis para equipamentos	10.000.000,00
		Sub-Total	10.000.000,00
Custo Total em R\$ (com 5% de contingência)			84.365.515,50

A seguir é feita uma relação, entre o custo de aquisição/modificação, valor obtido na tabela 1, e o valor de venda do excedente de energia elétrica pela usina, para ter o tempo estimado de retorno do investimento.

Para isso será considerado a geração de 33 MWh, sendo 3 MWh para consumo da unidade, tornando-a autossustentável quanto a energia elétrica, e 30 MWh para a venda, considerando a operação da termelétrica durante 24 horas por dia e 280 dias por ano.

Utilizando o valor de R\$ 102,00 por MWh produzido, valor do segundo semestre de 2012 para venda de energia.

Equação 1 Quantidade de MWh produzidos em um ano de operação.

$$30(\text{MWh}) \times 24(\text{horas por dia}) \times 280(\text{dias por ano}) = 201.600(\text{MWh/ano})$$

Equação 2 Valor obtido pela venda do total de MWh produzido em um ano.

$$201.600(\text{MWh/ano}) \times 102(\text{R\$/MWh}) = 20.563.200(\text{R\$/ano})$$

Estima-se que seja gasto de R\$15,00 a R\$20,00 para a manutenção e operação da unidade termelétrica por MWh produzido, não considerando nesse valor a troca de equipamentos e sim a conservação de equipamentos existentes e mão de obra para operação. Então adotou-se o valor intermediário para efeito de cálculo de R\$17,50.

Equação 3 Gastos com manutenção/operação durante o período de operação da termelétrica.

$$17,50(\text{R\$/MWh}) \times 201.600(\text{MWh/ano}) = 3.528.000(\text{R\$/ano})$$

Utilizando o valor, obtido na tabela 1, de R\$ 84.365.515,50 como valor total de implantação para a UTE, o valor de R\$ 102,00 para a venda de um MWh e o valor de R\$17,50 por MWh produzido, para custo de manutenção e operação pode obter a equação 04 que estima o tempo para retorno do capital investido para implantação.

Equação 4 Estimativa do tempo de retorno do investimento realizado.

$$\frac{84.365.515,50 (\text{R\$ para implantação})}{20.563.200(\text{R\$ obtidos}) - 3.528.000(\text{Reais manutenção})} = 4,95 (\text{anos})$$

6 CONCLUSÃO

O trabalho desenvolvido tomou como base a implantação de uma UTE anexa à usina de açúcar e etanol com capacidade de comercialização de 30 MWh, devido a incentivos fiscais fornecidos pelo governo.

Levando-se em consideração que a UTE permaneceu em operação durante 280 dias contínuos e que o excedente de energia elétrica foi comercializado por R\$ 102,00/MWh e ainda que são gastos com manutenção e operação R\$ 17,50/MWh produzido, chegou-se a estimativa de um período de aproximadamente cinco anos para o retorno do capital investido para implantação da UTE.

Adotando como o período médio de vida útil dos equipamentos vinte anos e o período de retorno para o investimento de 25% a 40% da vida útil do equipamento, tem como viável a implantação da UTE conforme o prazo obtido de cinco anos.

REFERÊNCIAS

- 7CIDADES. **Esquema de geração de energia eólica.** Figura Disponível em: < http://7cidades-montepalacehotel.blogspot.com.br/2010_10_01_archive.html>. Acesso em: 20 Novembro 2012.
- AMARAL, M.V. **Vista geral da saída de bagaço e caldeira.** 2012. Fotografia.
- AMARAL, M.V. **Transportador de Bagaço na saída da moenda.** 2012. Fotografia.
- AMARAL, M.V. **Vista geral do pátio de bagaço.** 2012. Fotografia.
- AMARAL, M.V. **Visor da Fornalha.** 2012. Fotografia.
- AMARAL, M.V. **Vista geral da caldeira.** 2012. Fotografia.
- AMARAL, M.V. **Subestação seccionadora.** 2012. Fotografia.
- AMARAL, M.V. **Vista geral da subestação e rede de transmissão.** 2012. Fotografia.
- AMARAL, M.V. **Interior da casa de Força.** 2012. Fotografia.
- AMARAL, M.V. **Turbina e painel.** 2012. Fotografia.
- ATLAS de energia elétrica do Brasil.: 2. ed. Brasília: ANEEL, 2005.
- CARVALHO, L. B. **Estudo da melhoria da eficiência de caldeiras através da utilização de secadores de bagaço.** 2011.
- CONAB. **A geração termelétrica com a queima do bagaço de cana-de-açúcar no Brasil – Análise do Desempenho da Safra 2009-2010.** 2011.
- CARDOSO, T. F. **Cogeração de energia através do braço de cana-de-açúcar:** revisão de literatura. Dissertação (Mestrado em gestão de produção sucroenergética) – Universidade federal de São Carlos, centro de ciências agrárias, São Carlos, 2011.
- EMERSON F. **Matriz energética brasileira.** Figura Disponível em: < <http://cadeodiploma.blogspot.com.br/2011/05/energia-nuclear-e-boa-para-o-brasil.html>>. Acesso em: 30 Maio 2012.
- Geração termelétrica, planejamento, projeto e operação volume 1 Electo Eduardo Silva Lora, Marco Antônio Rosa do Nascimento (coordenadores). – Rio de Janeiro : Intêrciencia, 2004.
- Geração termelétrica, planejamento, projeto e operação volume 2 Electo Eduardo Silva Lora, Marco Antônio Rosa do Nascimento (coordenadores). – Rio de Janeiro : Intêrciencia, 2004.
- Goldemberg José Energia e desenvolvimento sustentável São Paulo: Blucher 2010 série sustentabilidade volume 4 José Goldemberg Editora Edgard Blucher LTDA.

IBITIÚVA bioenergética S. A. **Equipamento utilizado para tratamento de água por osmose reversa.** 2010. Fotografia apresentada no Projeto UTE Ibitiúva Bioenergética.

IBITIÚVA bioenergética S. A. **Vista geral da estação de tratamento de água.** 2010. Fotografia apresentada no Projeto UTE Ibitiúva Bioenergética.

IBITIÚVA bioenergética S. A. **Equipamento utilizado para tratamento de água por osmose reversa.** 2010. Fotografia apresentada no Projeto UTE Ibitiúva Bioenergética.

IBITIÚVA bioenergética S. A. **Modelo de torre de transmissão.** 2010. Fotografia apresentada no Projeto UTE Ibitiúva Bioenergética.

IBITIÚVA bioenergética S. A. **Modelo de poste.** 2010. Fotografia apresentada no Projeto UTE Ibitiúva Bioenergética.

IBITIÚVA bioenergética S. A. **Distribuição dos postes às margens da rodovia.** 2010. Fotografia apresentada no Projeto UTE Ibitiúva Bioenergética.

Júnior S. O. Geração termelétrica e cogeração. Disponível em: <<http://143.107.98.150/PME2517/geracaoTermCoger.pdf>>. Acesso em: 20 Novembro 2012.

LUGO comercial elétrica LTDA. **Esquema representativo da subestação seccionadora.** Figura Disponível em: <<http://lugo.nei.com.br/aterramentos/cubiculos-e-subestaces/conjunto-completo/barramento-e-subestaces-69kv-a-230kv-multi-angular>>. Acesso em: 20 Novembro 2012.

TORRES R. **Painéis de energia solar.** Figura Disponível em: <<http://netef.blogspot.com.br/2011/12/energia-sola-r-400-milhoes-em-projetos.html>>. Acesso em: 20 Novembro 2012.

SILVA, J. N. **Estudo da viabilidade da ampliação de sistemas de cogeração em usinas de açúcar e álcool.** 2011.