

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DIRETORIA DE GRADUAÇÃO E EDUCAÇÃO PROFISSIONAL
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

MARCELO DE PAULA RIBEIRO

**Estudo de viabilidade econômica da ligação de uma usina
termelétrica movida à bagaço de cana no sistema elétrico do
Paraná**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CORNÉLIO PROCÓPIO
2016

MARCELO DE PAULA RIBEIRO

**Estudo de viabilidade econômica da ligação de uma usina
termelétrica movida à bagaço de cana no sistema elétrico do
Paraná**

Trabalho de Conclusão de Curso em
Engenharia Elétrica, do Departamento
Acadêmico de Eletrotécnica, da
Universidade Tecnológica Federal do
Paraná.

Orientador: Prof.^a Dra. Gabriela Helena
Bauab Shiguemoto

Coorientador: Prof. Esp. Ulisses Pereira
Rosa Borges

CORNÉLIO PROCÓPIO

2016



Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Cornélio Procópio
Departamento de Engenharia Elétrica
Curso de Engenharia Elétrica



FOLHA DE APROVAÇÃO

Marcelo de Paula Ribeiro

Estudo de viabilidade econômica da ligação de uma usina termelétrica movida à bagaço de cana no sistema elétrico do Paraná

Trabalho de conclusão de curso apresentado às 08:30hs do dia 09/06/2016 como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista no programa de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela Banca Avaliadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Avaliadora considerou o trabalho aprovado.

Prof(a). Dr(a). Gabriela Helena Bauab Shiguemoto - Presidente (Orientador)

Prof(a). Esp. Ulisses Pereira Rosa Borges - (Coorientador)

Prof(a). Dr(a). Murilo da Silva - (Membro)

Prof(a). Me(a). João Cesar de Paula Salve - (Membro)

Aos meus pais.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por sempre estar presente e iluminando meu caminho.

Agradeço a meus pais, Joel e Sirley, pelo amor, e por toda dedicação que tiveram em investir em minha formação, sempre acreditando em meu potencial.

Agradeço a meus irmãos, Viviane, Vanessa, Gabriel e Rodrigo que sempre estiveram ao meu lado me apoiando.

Agradeço a minha namorada, que esteve ao meu lado em todas as dificuldades e pelos momentos felizes que passamos durante o período da minha graduação.

Aos meus amigos, que contribuíram a cada dia para minha formação e que vão continuar presentes em minha vida com certeza.

Aos meus orientadores, Dra. Gabriela Helena Bauab Shiguemoto e Ulisses Pereira Rosa Borges pelos ensinamentos, dedicação e paciência que tiveram comigo para realização deste trabalho.

RESUMO

RIBEIRO, Marcelo de Paula. Estudo de viabilidade econômica da ligação de uma usina termelétrica movida à bagaço de cana no sistema elétrico do Paraná. 2016. 50 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Elétrica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2016.

Neste trabalho é realizado um estudo de viabilidade da geração térmica de energia elétrica usando o bagaço de cana-de-açúcar em usinas sucroalcooleiras no estado do Paraná, apresentando a importância que a bioeletricidade desempenha na matriz elétrica brasileira e como é realizada a geração nessas usinas. A comercialização da energia elétrica excedente destas geradoras pode ocorrer no mercado regulado ou no mercado livre. A participação da biomassa nos leilões de energia elétrica do mercado regulado tem aumentado, porém essa participação pode ser mais expressiva, pois as usinas ainda encontram dificuldades para gerar e comercializar maiores volumes de energia elétrica, dentre elas: a conexão com sistema elétrico, licenciamento ambiental e o investimento requerido. Os métodos utilizados para avaliar a viabilidade do projeto foram o *payback* e valor presente líquido, que são amplamente utilizados. Estes apresentam resultados favoráveis para geração de energia elétrica em usinas sucroalcooleiras, todavia a viabilidade econômica dos projetos de cogeração é específica de cada projeto, dependendo de uma série de fatores.

Palavras-chave: Geração térmica sucroalcooleira. Comercialização de energia. Viabilidade Econômica.

ABSTRACT

RIBEIRO, Marcelo de Paula. Economic feasibility study of a thermal power station moved to sugarcane bagasse in Parana State's power system. 2016. 50 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Elétrica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2016.

This work aimed to a feasibility study of a thermal power generation using sugarcane bagasse in sugarcane mills of Parana State, showing the importance that bioelectricity plays in the Brazilian energy matrix and how it is carried out to generate these mills. The sale of the surplus energy from these generators may occurs in the regulated market or free market. The participation of biomass in electricity auctions in the regulated market has increased, but this contribution could be more significant because the mills still find difficulties to generate and sell higher volumes of electricity. Examples of those difficulties are: the connection to the electrical system, environmental licensing and the investment required to do it. The methods used to assess the viability of the project were the payback period and the net worth, which are widely used. These methods have favorable results for electricity generation in sugarcane mills, but the economic viability of cogeneration projects is specific to each project, which depends on a huge number of factors.

Keywords: Sugarcane thermal generation, Energy trading, Economic viability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Investimento em geração de energia elétrica no Brasil.....	10
Figura 2 - Organização dos órgãos do setor elétrico brasileiro	12
Figura 3 - Processo de cogeração em usina sucroalcooleiras	15
Figura 4 - Projeção da produção de cana-de-açúcar	18
Figura 5 - Matriz elétrica brasileira	19
Figura 6 - Acréscimo anual de capacidade instalada pela biomassa (MW)	19
Figura 7 - Visão geral da comercialização de energia.....	22
Figura 8 - Critérios vigentes para se tornar consumidor livre.	23
Figura 9 - Energia comercializada no mercado de curto prazo.	25
Figura 10 - Divisão dos tipos de leilões.....	26
Figura 11 - Quantidade de energia contratada nos leilões.....	29
Figura 12 - Energia contratada x potencial de exportação de eletricidade gerada por bagaço	30
Figura 13 - Evolução do payback do projeto de cogeração na Usina A.	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Energia comercializada nos leilões pelas usinas sucroalcooleiras	28
Tabela 2 - Quantidade de cana-de-açúcar moída	40
Tabela 3 - Geração de energia da usina	41
Tabela 4 - Custo evitado com o consumo próprio de energia elétrica.....	41
Tabela 5 - Custos com operação e manutenção.....	41
Tabela 6 - Fluxo de caixa de investimento do projeto	43

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.2 JUSTIFICATIVA	13
1.3 OBJETIVOS	13
2. COGERAÇÃO EM USINAS SUCROALCOLEIRAS	15
2.1. PROCESSO DE COGERAÇÃO	15
2.2 PANORAMA ATUAL DA COGERAÇÃO NO BRASIL	18
2.3 BENEFÍCIOS DA BIOELETRICIDADE	20
3. COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	22
3.1 AMBIENTE DE CONTRATAÇÃO LIVRE	23
3.2 AMBIENTE DE CONTRATAÇÃO REGULADO	24
3.3 MERCADO DE CURTO PRAZO	24
3.4 LEILÕES DO AMBIENTE DE CONTRATAÇÃO REGULADO	25
3.5 SITUAÇÃO ATUAL DA COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA	27
4. ANÁLISE DAS DIFICULDADES TÉCNICAS E ECONÔMICAS	31
4.1. CONEXÃO COM O SISTEMA ELÉTRICO DA COPEL	31
4.1.1 Procedimentos de Acesso	31
4.1.2 Contratos para Acesso	33
4.1.3 Tipos e Requisitos das Conexões ao Sistema	34
4.1.4 Medição	35
4.1.5 Requisitos de Qualidade de Energia	35
4.2 INVESTIMENTO REQUERIDO	36
4.4 LICENCIAMENTO AMBIENTAL	36
5. MATERIAIS E MÉTODOS DE PESQUISA	38
5.1. MÉTODO PERÍODO DE <i>PAYBACK</i>	38
5.2. MÉTODO VALOR PRESENTE LÍQUIDO	39
5.3. PROCEDIMENTO DE COLETAS DE DADOS	40
6. ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA	43
7. CONCLUSÕES	46
REFERÊNCIAS	47

1. INTRODUÇÃO

O setor elétrico brasileiro passou por diversas reformulações em suas instituições e órgãos fiscalizadores no século passado, essas transformações muitas vezes ocorreram por motivos políticos e também visavam garantir a expansão do setor elétrico.

Na década de 90 teve início o programa de Reestruturação do Setor Elétrico Brasileiro (RESEB). Essa reformulação culminou com o atual modelo do setor elétrico (BARROS et al. 2010).

O projeto RESEB foi implantado em 1º de Agosto de 1996, o qual tinha objetivo de reestruturar o setor elétrico brasileiro com base em dois conceitos: assegurar que o setor fosse economicamente viável e assegurar os investimentos para expansão da oferta de energia (CUBEROS, 2008).

Um dos motivos para essa reformulação foi que o setor elétrico passava por uma crise financeira, não possuindo recursos suficientes para expansão do parque gerador, fato que pode ser observado na Figura 1, o acentuado declínio do investimento em geração de energia elétrica no Brasil.

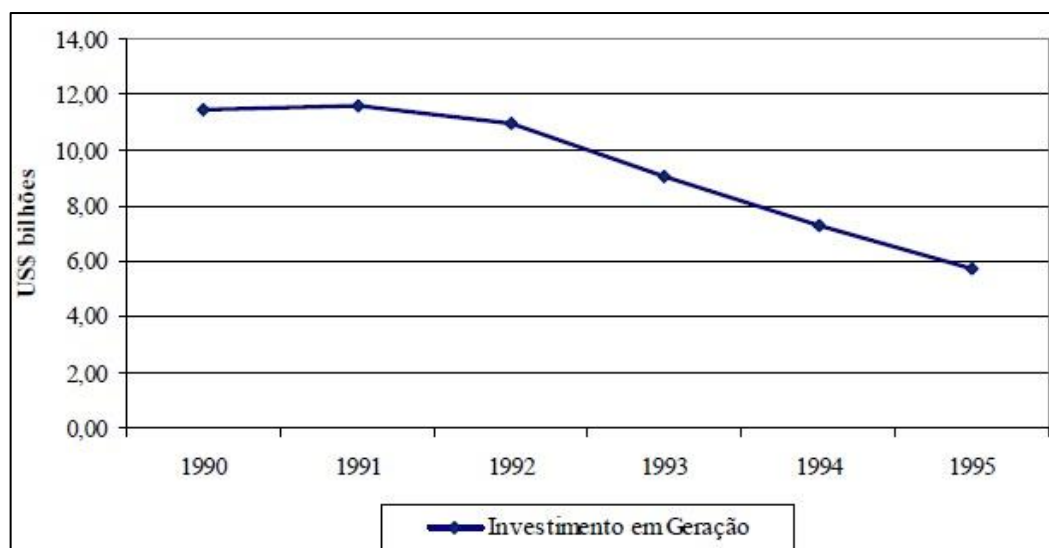


Figura 1 - Investimento em geração de energia elétrica no Brasil
 Fonte: ELETROBRÁS – GCOI (1997) apud Rosim (2008, p. 46).

Uma alternativa para a retomada dos investimentos no setor elétrico foi a desverticalização e a privatização das empresas. Segundo Barros et al. (2010) as empresas que eram verticalizadas foram reorganizadas em geradoras,

transmissoras, distribuidoras e comercializadoras. Após essa reorganização teve início o processo de privatização.

Outra medida tomada para amenizar a crise no setor elétrico foi a reformulação dos agentes e órgãos responsáveis pelo planejamento e fiscalização do setor (QUEIROZ, 2008).

Em 1996 foi instituída a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que tem como função regular e fiscalizar a produção, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica no país (QUEIROZ, 2008).

Em seguida com a reformulação, surgiu a necessidade de criar um Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), que tem como função executar as atividades de coordenação e controle da operação de geração e transmissão, no âmbito do sistema interligado nacional. E, por fim, a criação do Mercado Atacadista de Energia Elétrica (MAE), onde era realizada a compra e venda de energia elétrica no país (QUEIROZ, 2008).

A redução dos investimentos em geração de energia elétrica e a escassez de chuvas culminaram com o racionamento de energia elétrica ocorrido entre junho de 2001 e fevereiro de 2002 (BARROS et al. 2010).

Após essa crise de 2001, o governo precisou tomar novas medidas para eliminar o risco de uma nova escassez de energia elétrica. Foi neste ambiente que surgiram a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), responsável pelo desenvolvimento de estudos e pesquisas referentes ao planejamento energético, e a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), que substituiu o MAE e passou a ser responsável por realizar toda comercialização e contabilização de energia elétrica no sistema interligado brasileiro (QUEIROZ, 2008).

Com a crise de 2001 também surgiram o Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE), instituição com a função de avaliar permanentemente a segurança do suprimento de energia elétrica, e o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) tendo como principais atribuições formular políticas e diretrizes de energia, assegurar o suprimento de insumos energéticos às áreas mais remotas ou de difícil acesso no país (CCEE, 2010).

E no centro do setor elétrico o Ministério de Minas Energia (MME), conforme a Figura 2, órgão do governo federal responsável pela condução das políticas energéticas do país (CCEE, 2010).

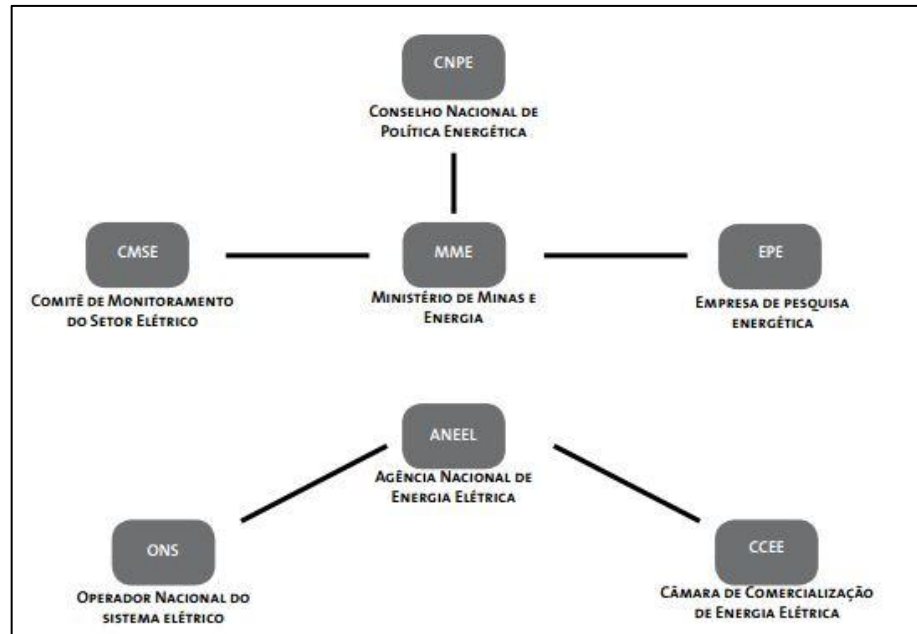


Figura 2 - Organização dos órgãos do setor elétrico brasileiro
Fonte: COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (2011, p. 145)

Outra medida tomada para se evitar uma nova crise foi a criação do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) com o intuito de promover a diversificação da matriz elétrica brasileira, buscando alternativas para aumentar a segurança no abastecimento de energia elétrica. As fontes utilizadas pelo PROINFA são eólica, biomassa e as pequenas centrais hidrelétricas (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2015). Sendo a biomassa de cana-de-açúcar abordada neste trabalho.

Segundo Baccarin e Castilho (2002), a cogeração de energia elétrica utilizando a biomassa de cana-de-açúcar pode ser uma possibilidade para a diversificação da matriz elétrica brasileira, pois o país possui um grande potencial dessa fonte de energia. Trata-se de uma fonte de geração de baixo custo e renovável.

Mesmo a biomassa de cana-de-açúcar se apresentando como uma alternativa para diversificação da matriz elétrica brasileira e como uma fonte de renda extra para usinas com cogeração de energia elétrica, essa fonte de energia ainda encontra dificuldades na implantação do sistema de cogeração e na comercialização de energia elétrica excedente, o que impede de ser inserida em maior escala na matriz elétrica brasileira (QUEIROZ, 2008).

1.2 JUSTIFICATIVA

Diante da necessidade da diversificação da matriz elétrica brasileira, conforme apresentado anteriormente, se faz necessário um estudo aprofundado de fontes alternativas que possam modificar o perfil da matriz elétrica do Brasil. Neste cenário surge como opção a geração de energia elétrica através da biomassa de cana-de-açúcar.

Segundo o Ministério de Minas e Energia (2015), em 2015 a biomassa contribuiu com 8,2% da matriz elétrica brasileira, dos quais a biomassa de cana representa cerca de 6,76%.

A energia elétrica gerada nas usinas sucroalcooleiras é de grande importância, pois além do setor se tornar autossuficiente em energia elétrica ainda é capaz de produzir excedentes que podem ser comercializados, gerando assim uma fonte de renda extra. Outro motivo importante é que a energia elétrica excedente entra no setor elétrico nos meses considerados secos, ajudando a poupar os reservatórios das usinas hidrelétricas.

A biomassa de cana-de-açúcar ainda encontra diversos fatores que inibem uma participação maior na matriz elétrica brasileira. Dentre os principais motivos estão a conexão com o sistema elétrico, investimento requerido e falta de obtenção de licença prévia ambiental (BRUMER, 2014). Diante dessas dificuldades se torna importante um estudo detalhado dessa fonte de energia.

1.3 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo propor o estudo de viabilidade econômica da ligação de uma usina termelétrica movida a bagaço de cana no sistema elétrico do Paraná, bem como, discutir os possíveis impactos de sua conexão ao sistema.

A partir deste objetivo principal, surgem os seguintes objetivos específicos ou metas a serem atingidas:

- Estudo sobre o cenário energético brasileiro e mercado de energia;
- Análise da inserção de uma pequena central geradora no sistema elétrico;

- Estudo de diferentes cenários econômicos para a inserção da geradora: seja como cogeneradora ou como energia de reserva;
- Estudo sobre custos de geração x venda de energia para o sistema elétrico;
- Estudo dos procedimentos e requisitos técnicos para conexão da usina cogeneradora ao sistema elétrico da COPEL;
- Análise de barreiras na comercialização de energia excedente e na implantação de usinas cogeneradoras movidas à bagaço de cana-de-açúcar.

2. COGERAÇÃO EM USINAS SUCROALCOLEIRAS

Existem várias definições para o termo cogeração. De acordo com Souza (2004, p. 101), “cogeração é o processo de produção simultânea de energia térmica para calor de processo e energia elétrica ou mecânica a partir de um combustível”. Sendo este o termo mais apropriado para as usinas sucroalcooleiras onde a queima do bagaço de cana-de-açúcar fornece energia térmica para produção de energia mecânica e elétrica que podem ser utilizadas no processo ou até mesmo no caso da energia elétrica dependendo da eficiência dos equipamentos há uma possível venda de excedentes (QUEIROZ, 2008).

2.1. PROCESSO DE COGERAÇÃO

“A usina termelétrica típica de uma indústria de açúcar, etanol e bioeletricidade é basicamente constituída dos seguintes equipamentos: caldeira geradora de vapor, turbina, gerador síncrono e sistema de condensação” (SANTOS, 2014, p. 40). O processo simplificado de cogeração em uma usina sucroalcooleira pode ser observado na Figura 3

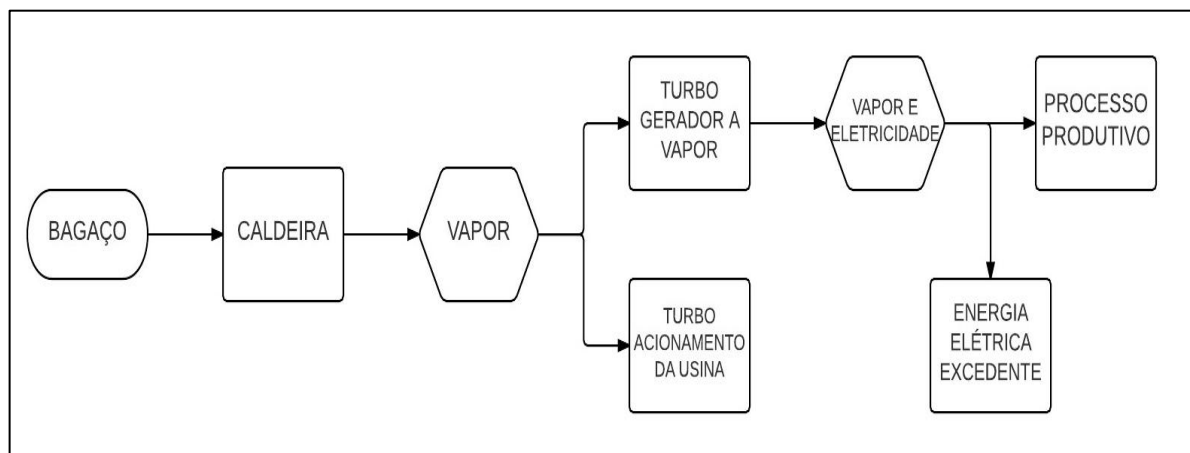


Figura 3 - Processo de cogeração em usina sucroalcooleiras
 Fonte: Autoria própria

A caldeira “é um equipamento que utiliza a energia química liberada durante

a combustão de um combustível para promover a mudança de estado da água do estado líquido para vapor, a uma pressão muitas vezes maior que a atmosférica” (SANTOS, 2012, p. 40). O vapor gerado nas caldeiras pode ser utilizado para movimentar as turbinas ou para aquecimento no processo industrial.

A caldeira mais utilizada no setor sucroalcooleiro é a do tipo aquotubular. Nas caldeiras aquotubulares a água circula pelo interior dos tubos e os gases trocam calor com a água através da parede dos mesmos (DANTAS FILHO, 2009).

As turbinas utilizam o vapor gerado na caldeira para produzir energia mecânica, essa energia pode ser utilizada para acionar equipamentos como compressores, ventiladores, moendas ou para gerar energia elétrica através de um gerador (SANTOS, 2014).

Existem diversos modelos de turbinas, as principais são: ciclo a vapor com turbinas de contrapressão, ciclo a vapor com turbinas de condensação e extração, ciclo combinado integrado à gaseificação da biomassa. Constantemente essas topologias passam por alterações e adaptações sempre em busca de uma melhor eficiência (ANEEL, 2008).

Nas turbinas de contrapressão a biomassa é queimada diretamente em caldeiras e a energia térmica resultante é utilizada na produção do vapor. O vapor gerado pode ser utilizado para acionar as turbinas usadas no trabalho mecânico requerido nas unidades de produção e nas turbinas para geração de energia elétrica. Sendo possível também a utilização deste vapor para o atendimento das necessidades térmicas do processo de produção (ANEEL, 2008).

Em turbinas de contrapressão a produção de energia elétrica está vinculada aos processos produtivos, isto inviabiliza a produção de energia elétrica na entressafra (SILVA, 2011).

As turbinas de condensação e extração consistem “na condensação total ou parcial do vapor ao final da realização do trabalho na turbina para atendimento às atividades mecânicas ou térmicas do processo produtivo”. Este sistema permite a obtenção de maior volume de energia elétrica (ANEEL, 2008, p. 64). O sistema com turbinas de condensação e extração proporciona flexibilidade à geração de eletricidade que pode ser desacoplada do processo produtivo, podendo gerar energia elétrica na entressafra (SILVA, 2011).

As turbinas com ciclo combinado integrado à gaseificação da biomassa possuem maior eficiência e conseqüentemente capacidade de produzir mais

energia, todavia essas turbinas são dificilmente encontradas devido ao alto custo de instalação (NASCIMENTO, 2015).

O gerador é o equipamento responsável por converter a energia mecânica, fornecida pela turbina, em energia elétrica. De acordo com Santos (2014, p. 56) “os geradores empregados em termelétrica à biomassa da cana são de eixo horizontal, de pequeno diâmetro e longo comprimento” e geralmente atingem uma potência de até 50 MW.

“O condensador é um trocador de calor no qual se realiza a conversão do vapor de exaustão da turbina ao estado líquido, a fim de reutilizar a água no ciclo térmico para alimentação da caldeira” (SANTOS, 2014, p. 57). O sistema de condensação somente é necessário em plantas que são utilizadas turbinas de condensação.

O setor sucroalcooleiro do Brasil é considerado bem desenvolvido no que se refere à produção e consumo de energia elétrica. A maior parte das usinas são autossuficientes, “produzindo mais kWh do que consomem por meio de turbinas que utilizam o vapor gerado nas caldeiras, disponibilizando o excedente à rede elétrica”(NASCIMENTO, 2015, p. 36).

Mesmo com este desenvolvimento do setor sucroalcooleiro na cogeração de energia elétrica, ainda existem dificuldades na área industrial das usinas a serem resolvidas para aumentar a eficiência energética e conseqüentemente a cogeração de energia via biomassa de cana (NASCIMENTO, 2015).

As dificuldades para produzir uma quantidade maior de energia elétrica são específicas de cada usina. De acordo com Nascimento (2015, p. 37), de modo geral os maiores empecilhos “são as ineficiências energéticas, pois muitas unidades ainda operam somente para autoconsumo com um ciclo térmico rudimentar, com caldeiras de baixa pressão e baixas temperaturas”.

O retrofit surge como uma nova possibilidade para o aumento da eficiência na produção de energia elétrica. O retrofit é troca de equipamentos antigos por equipamentos modernos e mais eficientes. Dentre as alternativas para maior produção de energia elétrica estão: o aproveitamento da palha como combustível das caldeiras, eletrificação dos acionamentos mecânicos, utilização de caldeiras de alta pressão e temperatura, projetos de redução do consumo específico de vapor na indústria para fabricação de açúcar e etanol (PRYNGLER, 2014).

2.2 PANORAMA ATUAL DA COGERAÇÃO NO BRASIL

O Brasil possui 362 usinas sucroalcooleiras em operação. Dessas usinas, cerca de 200 comercializam energia elétrica excedente (EPE, 2015). O estado do Paraná possui 30 usinas sucroalcooleiras, sendo que apenas seis dessas usinas comercializam energia elétrica excedente (ALCOPAR, 2013).

O setor sucroalcooleiro do Brasil apresenta uma projeção de constante crescimento na produção de cana-de-açúcar, fato que pode ser observado na Figura 4. Essa expansão na produção de cana-de-açúcar possibilita as usinas produzirem uma quantidade maior de biomassa, proporcionando uma oportunidade para o aumento da geração de energia elétrica através do bagaço da cana.

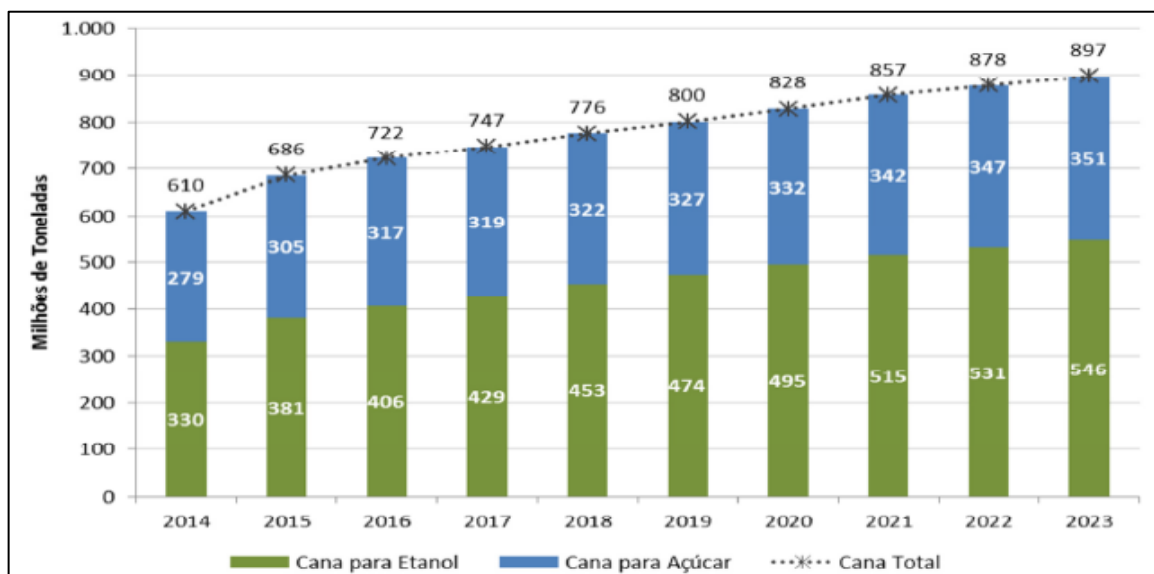


Figura 4 - Projeção da produção de cana-de-açúcar

Fonte: EPE (2014, p. 318)

A matriz elétrica brasileira já apresenta uma forte participação da biomassa. Em 2014 a biomassa foi a terceira fonte com maior participação na matriz elétrica brasileira, o que pode ser observado na Figura 5, e em 2015 manteve sua posição com um acréscimo de 0,8%. Levando em consideração a projeção da produção de cana-de-açúcar, a biomassa pode ganhar ainda mais destaque nos próximos anos.

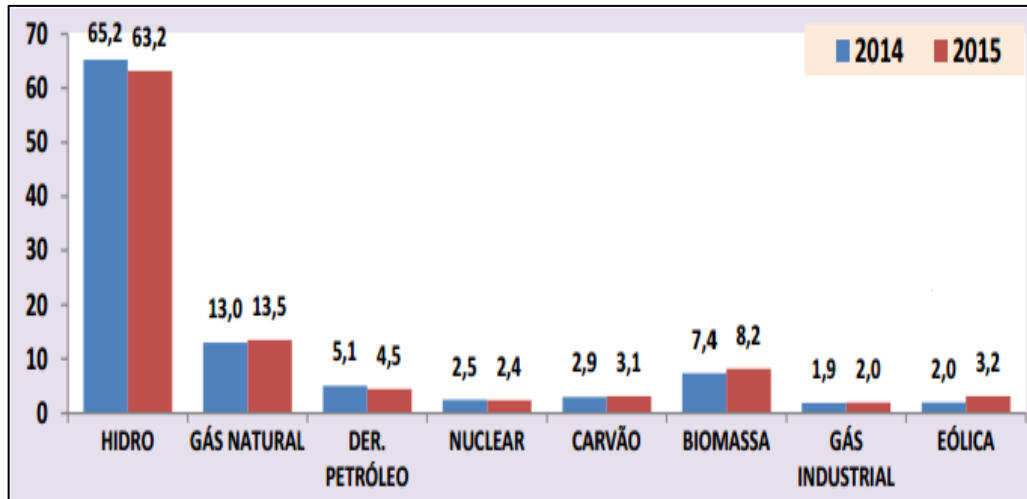


Figura 5 - Matriz elétrica brasileira

Fonte: Adaptado de Ministério de Minas Energia (2015).

De acordo com UNICA (2016b) em abril de 2016, “a fonte biomassa atingiu o total de 14.008 MW em potência instalada outorgada, superando a usina hidrelétrica de Itaipu, o setor sucroenergético respondeu por 11 mil MW ou 79% deste total”.

Apesar do cenário de crescimento da geração de energia elétrica usando a biomassa como matéria prima, a continuidade da expansão é um ponto de atenção, conforme apresentado na Figura 6, que mostra um decréscimo na potência a ser instalada no Brasil para os próximos anos (UNICA, 2016a). Essa diminuição na potência instalada anual ocorre principalmente pela crise política e econômica instalada no país.



Figura 6 - Acréscimo anual de capacidade instalada pela biomassa (MW)

Fonte: UNICA (2016, p. 2)

Frente a esse crescimento da participação da bioeletricidade na matriz elétrica, se torna importante analisar quais são os benefícios que essa fonte de energia elétrica traz para o sistema elétrico, que serão apresentados na próxima seção.

2.3 BENEFÍCIOS DA BIOELETRICIDADE

“Por utilizar um resíduo como insumo energético, a bioeletricidade é, por definição, uma fonte de energia renovável, eficiente e sustentável” (SOUZA et al., 2010, p.144).

Além de ser uma fonte de energia renovável, a energia elétrica proveniente de usinas sucroalcooleiras apresenta outros benefícios como: complementaridade da energia hidroelétrica, contribuição na redução de emissões de gases de efeito estufa e a proximidade ao centro de carga (SOUZA et al., 2010).

A cogeração de energia elétrica através da biomassa de cana-de-açúcar opera de forma complementar com a geração hidroelétrica, pois a maior parte da colheita da cana se faz no período seco do ano, que compreende os meses de maio a novembro, assim complementando a geração de energia hidroelétrica, assim colaborando com a preservação do nível dos reservatórios (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2011).

De acordo com a Associação da Indústria de Cogeração de Energia (COGEN) e da União da Indústria de Cana-de-Açúcar (UNICA), em 2014 a geração de energia elétrica através da biomassa foi responsável por ter poupado 14% da água nos reservatórios das hidrelétricas do submercado elétrico Sudeste/Centro-Oeste, principal do país, responsável por 60% do consumo nacional de eletricidade (UNICA, 2015).

A geração de energia elétrica através da biomassa da cana-de-açúcar “é neutra em relação à emissão de gases efeito-estufa” e evita o uso de termelétricas que usam combustíveis mais agressivos ao meio-ambiente (SOUZA et al., 2010, p. 149).

“A partir da estimativa de 14.379 MW médio de bioeletricidade (potencial total) para exportação na safra 2020/21 é possível calcular uma geração equivalente

de 125.960 GWh”. Para produzir a mesma quantidade de energia com termoelétricas a carvão representaria a emissão de 100,7 milhões de toneladas de CO₂. Se a produção fosse por meio de termoelétricas a óleo, as emissões seriam de 69,3 milhões de toneladas de CO₂ (SOUZA et al., 2010, p. 150).

A produção de energia elétrica através da biomassa de cana-de-açúcar tem maior potencial nas regiões sul, sudeste e centro-oeste, onde também se localiza o principal centro de carga do país. Essa proximidade entre a geração e o centro de carga reduz a necessidade de expansão da transmissão e também reduz as perdas na transmissão (SOUZA et al., 2010).

O maior benefício para as usinas com cogeração de energia elétrica é a venda de excedentes na geração. No próximo capítulo será abordado como é feita a comercialização dessa energia elétrica excedente e em quais ambientes é comercializada.

3. COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Após a reformulação do setor elétrico em 2004 e a criação da CCEE, a comercialização de energia elétrica passou a ocorrer em dois ambientes: o Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e o Ambiente de Contratação Livre (ACL) (CCEE, 2010).

A contratação de energia no ACR é realizada através de contratos bilaterais regulados que são denominados Contratos de Comercialização de Energia Elétrica no Ambiente Regulado (CCEAR). Já no ACL a negociação é livre onde os agentes firmam acordos bilaterais de compra e venda de energia entre as empresas através dos Contratos de Compra de Energia no Ambiente Livre (CCEAL) (CCEE, 2010).

Todas as transações tanto do ACR como no ACL devem ser registradas na CCEE para servir de base para a Contabilização e Liquidação das Diferenças no Mercado de Curto Prazo (CCEE, 2010).

Os agentes participantes e o ambiente em que cada um realiza transações de compra e venda de energia é apresentado na Figura 7.



Figura 7 - Visão geral da comercialização de energia.
Fonte: CCEE (2010, p. 14)

As usinas cogeneradoras podem comercializar energia excedente nos dois ambientes e são classificadas como autoprodutor e produtor independente.

Autoprodutor é o agente que possui autorização, permissão ou concessão

para produzir energia para próprio consumo e podendo comercializar excedentes desde que autorizado pela ANEEL (CCEE, 2010).

O Produtor Independente de Energia Elétrica deve receber a concessão, permissão ou autorização do poder concedente para produzir energia elétrica por sua conta e risco, destinando essa energia a comercialização (CCEE, 2010).

3.1 AMBIENTE DE CONTRATAÇÃO LIVRE

Estão presentes no ambiente de contratação livre, os agentes geradores, comercializadores, importadores e exportadores de energia elétrica, consumidores livres e especiais. No ACL os agentes são livres para estabelecer a quantidade de compra e venda de energia, os preços e prazos, registrando essas negociações através do contrato de compra de energia no ambiente livre (CCEE, 2010).

Mesmo participando do ACL os consumidores livres devem ser agentes da CCEE e devem pagar todos os encargos, taxas e contribuições determinadas na legislação (CCEE, 2010).

No ACL as usinas cogeneradoras podem realizar a venda de energia excedente para comercializadores, consumidores livres ou especiais.

Para ser considerado um consumidor livre o agente deve atender a legislação vigente, e assim poderá escolher seu fornecedor de energia elétrica através de livre negociação (CCEE, 2010). A Figura 8 apresenta as condições básicas para se tornar um consumidor livre.

Demanda mínima	Tensão mínima de fornecimento	Data da ligação do consumidor
3 MW	Qualquer tensão	Após 07/07/1995
3 MW	69 kV	Até 07/07/1995

Figura 8 - Critérios vigentes para se tornar consumidor livre.
Fonte: CCEE (2010, p. 9)

Para ser classificado como consumidor especial o agente deve possuir uma demanda entre 500 kW e 3 MW, o consumidor pode comprar energia de qualquer fornecedor, desde que essa energia seja proveniente de fontes incentivadas especiais (biomassa, eólica, solar e pequenas centrais hidrelétricas) (CCEE, 2010).

3.2 AMBIENTE DE CONTRATAÇÃO REGULADO

Estão presentes no ambiente de contratação regulado, os agentes comercializadores e os agentes distribuidores. O art. 13 do Decreto nº 5.163/04 estabelece que os distribuidores podem adquirir energia das seguintes formas:

Leilões de compra de energia elétrica proveniente de empreendimentos de geração existentes e de novos empreendimentos de geração.
Geração distribuída, desde que a contratação seja precedida de chamada pública realizada pelo próprio Agente de Distribuição, contratação esta limitada ao montante de 10% do mercado do distribuidor.
Usinas que produzem energia elétrica a partir de fontes eólicas, pequenas centrais hidrelétricas e biomassa, contratadas na primeira etapa do PROINFA.
Itaipu Binacional, no caso de agentes de distribuição cuja área de concessão esteja localizada nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste. (CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, p. 15, 2010)

As usinas cogeneradoras movidas à bagaço de cana possuem maior potencial de comercialização de excedente de energia elétrica no mercado de contratação regulado, vendendo em leilões de energia nova e fontes alternativas. Porém as usinas cogeneradoras não estão tendo todo seu potencial utilizado, pois muitas usinas desistem dos leilões ainda na primeira fase. Este fato ocorre pelos seguintes fatores: falta de obtenção de licença prévia ambiental, falta de acesso a rede de transmissão e os preços baixos (QUEIROZ, 2008).

3.3 MERCADO DE CURTO PRAZO

Todos os contratos de compra e venda de energia elétrica tanto do ACR

como do ACL devem ser registrados na CCEE. A CCEE verifica a medição dos montantes efetivamente produzidos/consumidos, na Figura 9 pode ser observado um exemplo básico de como funciona o mercado de curto prazo (CCEE, 2010).

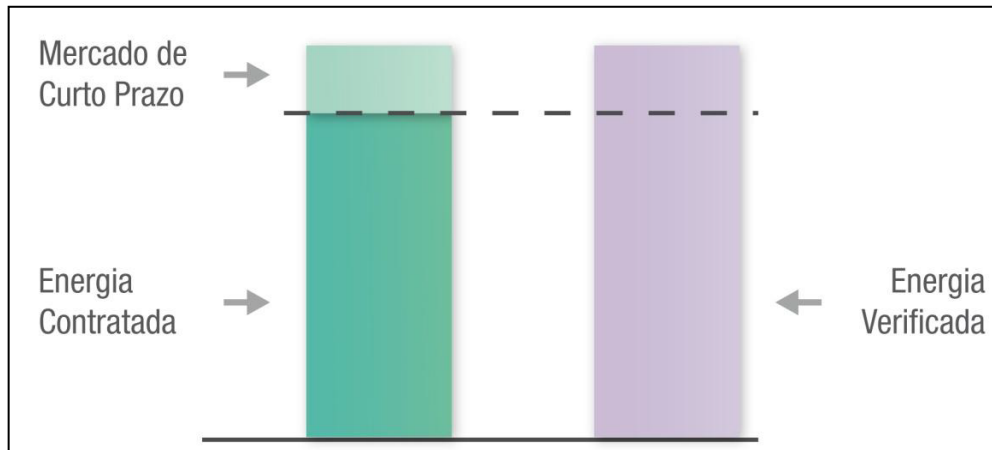


Figura 9 - Energia comercializada no mercado de curto prazo.
Fonte: CCEE (2010, p. 22)

O preço da energia no mercado de curto prazo é calculado com base no Preço de Liquidação de Diferenças (PLD), o PLD é calculado semanalmente e limitado por um preço máximo e um mínimo (CCEE, 2010).

Caso um agente produzir mais energia do que o contratado, ele receberá um crédito pelo excedente de energia produzida ao preço do PLD. Caso um agente produzir uma quantidade menor de energia do que a contratada ele pagará a diferença ao preço do PLD (CCEE, 2010).

3.4 LEILÕES DO AMBIENTE DE CONTRATAÇÃO REGULADO

O comércio de energia elétrica no ambiente regulado é realizado através de leilões. Os leilões possuem como objetivos contratar energia para os consumidores cativos pela menor tarifa possível, conceder ao investidor um contrato firme de fornecimento de longo prazo e proporcionar os incentivos corretos para a expansão da geração (LOPES, 2013).

Os leilões do Ambiente de Contratação Regulado são realizados geralmente com antecedência ao ano de suprimento, conhecido como ano "A". Os leilões se

dividem em Leilão de Energia Nova, Leilão de Energia Existente e Leilão de Energia de Reserva, na Figura 10 é apresentado a divisão dos tipos de leilões no ACR (Instituto Acende Brasil, 2012).

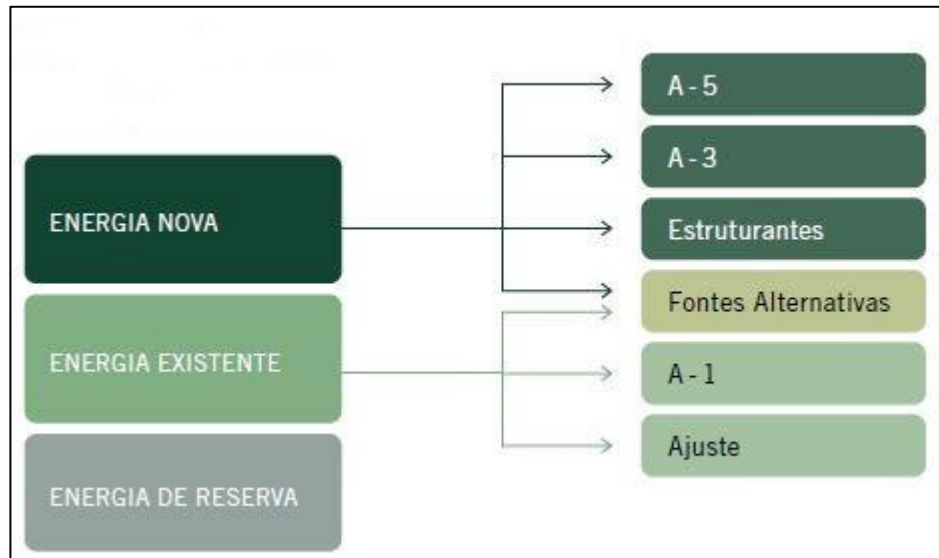


Figura 10 - Divisão dos tipos de leilões
Fonte: Instituto Acende Brasil (2012, p. 3)

Os Leilões de Energia Nova (LEN) são realizados com alguns anos de antecedência do início de suprimento, com isso o governo consegue promover a expansão do parque gerador. O total de energia a ser comercializada nos Leilões de Energia Nova é determinado pela projeção da demanda das concessionárias. Existem três modalidades de Leilão de Energia Nova: Leilão A-5, Leilão A-3 e Leilão de Projetos Estruturantes (Instituto Acende Brasil, 2012).

Os leilões A-5 e A-3 são realizados com cinco e três anos, respectivamente, antes do início de fornecimento de energia elétrica. Este prazo de antecedência tem como objetivo proporcionar o tempo requerido para construção das novas usinas e priorizar a contratação de novos empreendimentos. O tempo de contrato desses leilões varia entre 15 e 30 anos (Instituto Acende Brasil, 2012).

A energia comercializada nos Leilões de Projetos Estruturantes é proveniente de empreendimentos que trazem mudanças estruturais ao SIN e acrescentam uma quantidade expressiva de potência, são projetos considerados prioritários pelo Conselho Nacional de Política Energética (Instituto Acende Brasil, 2012).

Os Leilões de Fontes alternativas podem ser realizados como energia nova

ou existente. A energia comercializada deve ser proveniente de fontes alternativas como a eólica, pequenas centrais hidrelétricas e biomassa (Instituto Acende Brasil, 2012).

O Leilão de Energia Existente comercializa energia de projetos que já estão em operação, estes leilões proporcionam maior flexibilidade contratual para que os distribuidores possam lidar com o risco de mercado. Os leilões são realizados anualmente e com início de fornecimento de energia no ano seguinte. Existem duas modalidades de leilão de energia existente: Leilão A-1 e Leilão de Ajuste (Instituto Acende Brasil, 2012)

O Leilão de Energia Existente A-1 possui contrato de 3 a 15 anos de duração. Os contratos possuem cláusulas que admitem que as distribuidoras diminuam o montante contratado para compensar a redução de sua carga devido a migração de consumidores para o ACL (Instituto Acende Brasil, 2012)

O Leilão de Ajuste possui contrato que pode variar de 3 a 24 meses. Este leilão possibilita que as distribuidoras complementem o montante de energia contratada com maior antecedência. É uma técnica que possibilita o 'ajuste fino' na contratação de energia (Instituto Acende Brasil, 2012).

A energia de reserva é uma garantia na continuidade do fornecimento de energia elétrica por meio da aquisição de reserva de capacidade de geração. A contratação de energia de reserva deve ser proveniente de usinas específicas, cuja geração é destinada a assegurar o fornecimento de energia elétrica ao sistema interligado nacional (CCEE, 2010).

A energia de reserva é contratada por meio de Leilões de Energia de Reserva (LER), que são promovidos pela ANEEL, os contratos de energia de reserva não podem exceder 35 anos. Existem duas modalidades para contratação de energia de reserva: por quantidade e por disponibilidade (CCEE, 2010).

3.5 SITUAÇÃO ATUAL DA COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA

As usinas sucroalcooleiras comercializam energia no Ambiente de Contratação Livre e no Ambiente de Contratação Regulado. Dentre as 362 usinas

em operação, cerca de 200 unidades comercializam energia e dentre estas 40% comercializam através dos leilões (EPE, 2015).

Até outubro de 2015, foram realizados trinta e dois leilões de energia, sendo que as usinas sucroalcooleiras comercializaram energia em dezenove deles. O total de energia comercializada nos leilões até o fim de 2020 será de aproximadamente 1,8 GWméd. A Tabela 1 apresenta a energia comercializada nos leilões pelas usinas sucroalcooleiras, na tabela não foi considerada a energia proveniente do PROINFA.

Tabela 1 - Energia comercializada nos leilões pelas usinas sucroalcooleiras

Leilão	Ano de Realização	Tipo	Energia Negociada (MW médio)	Participação %
1º Leilão de Energia Nova	2005	A-3	91,6	5,66
2º Leilão de Energia Nova	2006	A-3	58,0	3,58
3º Leilão de Energia Nova	2006	A-5	61,0	3,77
7º Leilão de Energia Nova	2008	A-5	35,0	2,16
8º Leilão de Energia Nova	2009	A-3	10,0	0,62
8º Leilão de Energia Existente	2008	A-1	1,0	0,06
13º Leilão de Energia Nova	2011	A-3	58,1	1,30
13º Leilão de Energia Nova	2011	A-5	21,0	3,59
16º Leilão de Energia Nova	2013	A-5	133,6	8,25
18º Leilão de Energia Nova	2013	A-5	69,3	4,28
20º Leilão de Energia Nova	2014	A-5	89,7	5,54
21º Leilão de Energia Nova	2015	A-5	37,1	2,29
22º Leilão de Energia Nova	2015	A-3	15,5	0,90
1º Leilão de Fontes Alternativas	2007	FA	115,0	7,10
2º Leilão de Fontes Alternativas	2010	FA	22,3	1,38
3º Leilão de Fontes Alternativas	2015	FA	67,2	4,15
1º Leilão de Energia de Reserva	2008	ER	543,0	33,54
3º Leilão de Energia de Reserva	2010	ER	168,3	10,40
4º Leilão de Energia de Reserva	2011	ER	23,3	1,44
Total			1.619,0	100,0

Fonte: Plano decenal de expansão de energia 2024 (EPE, 2015)

Como a energia contratada nos leilões é inferior a garantia física total das usinas, há um excedente de energia que ainda pode ser comercializada no

Ambiente de Contratação Livre.

Garantia física representa a quantidade máxima que as usinas disponibilizam para comercialização. A Figura 11 apresenta a quantidade de energia contratada no ambiente regulado e aquela que ainda pode ser comercializada no ambiente livre.

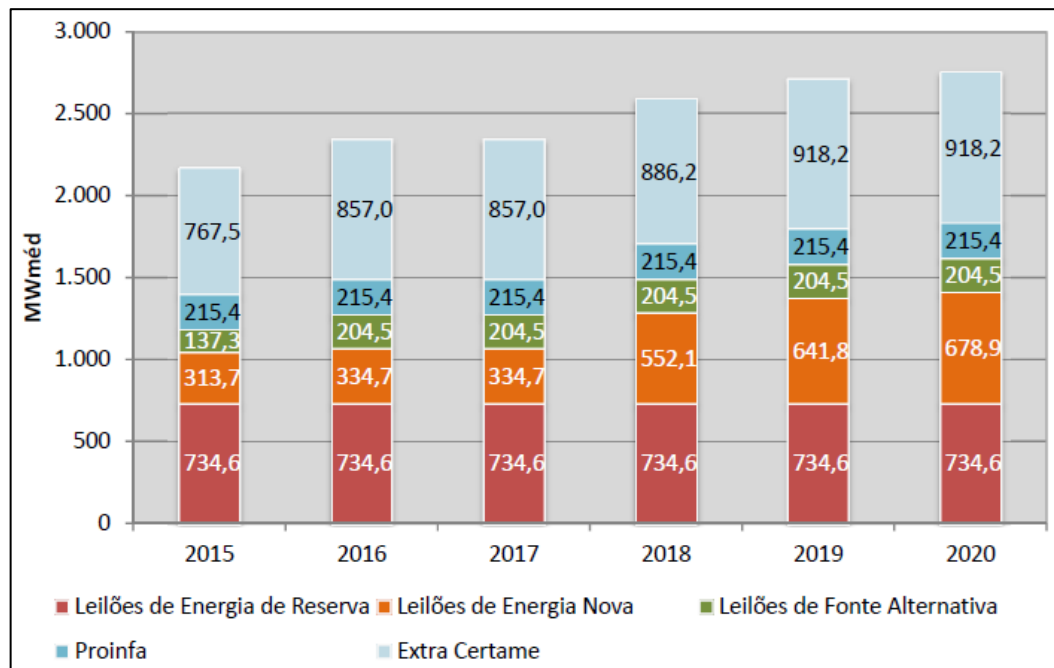


Figura 11 - Quantidade de energia contratada nos leilões
Fonte: EPE (2015, p. 365)

“Além da participação nos leilões de energia, a participação da biomassa, nos últimos anos, tem aumentado nos ambientes de contratação livre – ACL.” (EPE, 2015, p. 368). Mesmo com aumento da comercialização de energia, a contração no ACR e a exportação para o SIN ficam muito abaixo de seu potencial. A Figura 12 apresenta uma projeção da energia contratada no ACR e o potencial de exportação para o SIN.

O potencial técnico, apresentado na Figura 12, foi calculado considerando “que todo o bagaço gerado no processamento da cana colhida para produção de açúcar e etanol seria utilizado para geração de energia”. A curva de conversão “baseada no histórico considerou o montante de energia exportada pelo setor sucroalcooleiro (em kWh) e a quantidade de cana processada (em tc) anualmente, no período de 2007 a 2014” (EPE, 2015, p. 366).

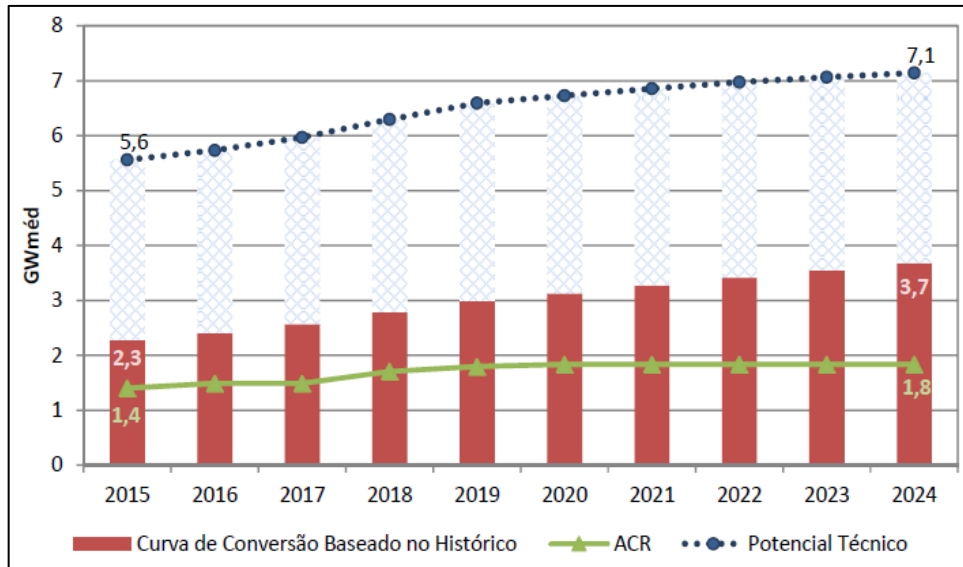


Figura 12 - Energia contratada x potencial de exportação de eletricidade gerada por bagaço

Fonte: EPE (2015, p. 367)

No mercado de curto prazo o preço da energia vem se mantendo acima dos preços negociados nos leilões o que tem incentivado a expansão da geração na entressafra (EPE, 2015).

Os principais fatores que impossibilitam uma maior comercialização e geração de energia elétrica excedente proveniente de usinas sucroalcooleiras são: conexão com sistema elétrico, financiamentos, investimento requerido e licenciamento ambiental. Fatores estes que serão abordados no próximo capítulo.

4. ANÁLISE DAS DIFICULDADES TÉCNICAS E ECONÔMICAS

Conforme mencionado no capítulo anterior, a geração e a comercialização de excedentes de energia elétrica encontram alguns obstáculos. Neste capítulo será abordado os principais fatores que impedem a bioeletricidade de ganhar mais destaque na matriz elétrica.

4.1. CONEXÃO COM O SISTEMA ELÉTRICO DA COPEL

Sendo a conexão com o sistema elétrico um dos fatores para a baixa comercialização de energia elétrica proveniente de usinas movidas a bagaço de cana-de-açúcar, esta seção apresenta a Norma Técnica 905100 (NTC 905100) da Companhia Paranaense de Energia (COPEL).

A NTC 905100 “fornece os requisitos para acesso de geradores de energia elétrica ao sistema elétrico de distribuição da Copel em Média Tensão - MT (13,8 e 34,5 kV) e em Alta Tensão - AT (69 e 138 kV)” seja ele com comercialização de energia no Ambiente de Contratação Livre ou Regulado (COPEL, 2013, p. 4).

Esta norma estabelece padrões que, associados às demais prescrições, visam à uniformização e à adoção de procedimentos, observando as exigências técnicas e de segurança recomendadas, em conformidade com as prescrições vigentes nos Procedimentos de Distribuição – PRODIST e nas Resoluções Normativas da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL (COPEL, 2013, p. 3).

4.1.1 Procedimentos de Acesso

Os procedimentos de acesso são as etapas que os acessantes de geração devem realizar, desde o primeiro contato com a COPEL até a entrada em operação de sua usina.

“São 4 as etapas iniciais a serem observadas para a viabilização do acesso:

consulta de acesso, informação de acesso, solicitação de acesso e parecer de acesso” (COPEL, 2013).

A consulta de acesso é uma etapa obrigatória para centrais geradoras objetos de concessão ou solicitantes de autorização. E tem como objetivo fornecer as informações técnicas necessárias referentes ao acesso, para avaliação da COPEL (COPEL, 2013).

Informação de acesso é a resposta formal concedida pela COPEL sobre a consulta de acesso, fornecendo informações sobre o acesso pretendido. A COPEL possui um prazo máximo de sessenta dias a partir do recebimento da consulta de acesso, para emitir a informação de acesso (COPEL, 2013).

Na etapa de solicitação de acesso o acessante deve formular um requerimento de acesso, e deverá encaminhar o requerimento para a COPEL juntamente com a ficha de dados cadastrais do empreendimento; comprovante da regularidade perante a ANEEL quando aplicável; indicação do ponto de conexão pretendido se existente; projeto das instalações de conexão incluindo memorial descritivo, localização, arranjo físico e esquemas. Caso a documentação entregue pelo acessante não seja suficiente para a emissão do parecer de acesso, o mesmo será notificado para entrega de informações complementares (COPEL, 2013).

O parecer de acesso é o documento formal entregue pela COPEL para o acessante, o qual possui todas as informações sobre as condições de acesso, a conexão e o uso do sistema, e os requisitos técnicos para a conexão das instalações do acessante, com os respectivos prazos. A COPEL possui um prazo máximo de trinta dias, após receber a solicitação de acesso, para emissão do parecer de acesso (COPEL, 2013).

A realização de obras para o acesso da central geradora ao sistema de distribuição deverá observar a legislação vigente no setor elétrico. As instalações e projetos de uso exclusivo da central geradora são de responsabilidade do acessante, sempre de acordo com as determinações técnicas da COPEL. As instalações que não são de uso exclusivo da central geradora, mesmo estas realizadas pelo acessante deverão ser transferidas para COPEL através de contratos específicos. O acessante só poderá comprar os equipamentos após a COPEL analisar e concordar com todas as especificações técnicas dos equipamentos (COPEL, 2013).

O acessante deve solicitar a COPEL uma vistoria e liberação para operação.

Após essa solicitação a COPEL possui um prazo de trinta dias para realizar a vistoria e mais quinze dias para emitir o relatório, permitindo a conexão ou solicitando adequações na instalação. A vistoria avalia pontos como segurança, sistemas de proteção e condições de operação da unidade geradora (COPEL, 2013).

4.1.2 Contratos para Acesso

A COPEL estabelece que o acesso a sua rede seja conforme os Procedimentos de Distribuição (PRODIST), pela legislação vigente e por contratos firmados entre a COPEL e o acessante. Os contratos devem ser assinados após a emissão do parecer de acesso e com prazo máximo de 90 dias (COPEL, 2013).

A COPEL estabelece quatro contratos para a realização do acesso, são eles: conexão às instalações de distribuição (CCD), uso do sistema de distribuição (CUSD), acordo operativo e prestação de serviços de engenharia (COPEL, 2013).

O CCD estabelece a descrição detalhada do ponto de conexão e os equipamentos necessários, com seus respectivos valores de encargos. Também define a capacidade de demanda, os locais de medição, os índices de qualidade das instalações e as penalidades pelo não atendimento dos itens de qualidade (COPEL, 2013).

O CUSD define o montante de uso do sistema de distribuição (MUSD) que é contratado para injeção e consumo, também define os locais e procedimentos para medição, os índices de qualidade dos serviços de transmissão e distribuição e as penalidades pelo não atendimento dos itens de qualidade (COPEL, 2013).

O Acordo operativo é um documento anexo do CCD que tem como função definir algumas atribuições, responsabilidades e procedimentos técnicos, operacionais e administrativos necessários ao relacionamento operacional entre a COPEL e o acessante (COPEL, 2013).

A norma estabelece que quando houver a necessidade de serviços de engenharia pela COPEL para realizar o acesso da central geradora, será elaborado um contrato de prestação de serviços, sendo que este serviço deve constar no parecer de acesso (COPEL, 2013).

4.1.3 Tipos e Requisitos das Conexões ao Sistema

A COPEL define que os tipos de conexões devem ser de acordo com a potência de geração de cada cliente. As conexões podem ser feitas em 13,8 kV, 34,5 kV, 69 kV ou 138 kV.

Para acessante com geração de 76 kW até 300 kW, a conexão será em média tensão (13,8 ou 34,5 kV) trifásica, por meio de relés de proteção secundários e transformador exclusivo do acessante. Sendo que para esta faixa de potência a proteção pode ser instalada na baixa tensão e de acordo com análise da COPEL a conexão pode ser em pingo de rede (COPEL, 2013). A conexão em pingo de rede é a conexão do acessante em uma linha já existente da COPEL.

Acessante com geração de 301 kW até 500 kW, a conexão será em média tensão (13,8 ou 34,5 kV) trifásica, por meio de disjuntor de média tensão, relés de proteção secundários e transformador exclusivo do acessante. Para esta faixa de potência e de acordo com análise da COPEL a conexão pode ser em pingo de rede ou através de linha expressa diretamente a uma subestação, sendo que os equipamentos de proteção e operação devem ser automatizados e os comandos disponíveis no centro de operações de distribuição (COPEL, 2013).

A geração com potência de 501 kW até 1000 kW, deve atender os mesmo requisitos do acessante com potência entre 301 kW e 500 kW. (NTC 905100, 2013)

Para a geração com potência entre 1001 kW e 2000 kW, será feita análise da COPEL e se o acessante puder ser conectado em pingo de rede o mesmo deve seguir os padrões do acessante com potência de 501 kW até 1000 kW, caso contrário deve seguir os requisitos do acessante com potência maior que 2000 kW (COPEL, 2013).

A geração com potência superior a 2000 kW, a conexão deve ser em média tensão (13,8 ou 34,5 kV) ou alta tensão (69 ou 138 kV), em linha expressa a partir de uma subestação da COPEL, com disjuntor ou religador, relés de proteção secundários e transformador exclusivo do acessante. Devendo ocorrer adequação na proteção dos setores 69/138 kV das subestações. Sendo que os equipamentos de proteção e operação devem ser automatizados e os comandos disponíveis no centro de operações de distribuição (COPEL, 2013).

4.1.4 Medição

A responsabilidade sobre o sistema de medição depende da forma de comercialização da energia, se com a COPEL ou no mercado livre.

Para empreendimentos geradores com comercialização de energia no mercado livre o acessante “é o responsável técnico e financeiro por todo o sistema de medição utilizado, incluindo os custos relacionados à manutenção, coleta e envio dos valores medidos à CCEE” (COPEL, 2013).

Os empreendimentos geradores com comercialização de energia com a COPEL devem seguir os padrões de medição estabelecidos pela CCEE (COPEL, 2013).

4.1.5 Requisitos de Qualidade de Energia

A COPEL (2013) estabelece que o gerador não deve causar distúrbios na qualidade de energia da rede distribuidora e aos demais usuários do sistema. A COPEL possui o direito de realizar medidas no ponto de conexão para verificar os impactos que as instalações do acessante causam nos níveis de qualidade de energia. A medição de qualidade pode ser realizada juntamente com medidor de faturamento ou em equipamento independente. Se a conexão com o sistema causar algum distúrbio na qualidade de energia é de total responsabilidade do acessante tomar medidas para extinção dessas perturbações. Os itens observados pela COPEL na qualidade de energia são:

- Nível de tensão eficaz em regime permanente;
- Desequilíbrio de tensão;
- Distorção harmônica total;
- Flutuação de tensão.

4.2 INVESTIMENTO REQUERIDO

Para aumentar a produção de energia elétrica ou até mesmo implantar um sistema de geração de energia elétrica, as usinas sucroalcooleiras devem fazer altos investimentos na troca de equipamentos antigos por equipamentos mais eficientes.

Muitas vezes essa troca de equipamentos não é bem vista pelos gestores da usina, uma vez que os equipamentos que estão sendo substituídos ainda possuem vida útil e em alguns casos ainda estão sendo pagos (BRUMER, 2014).

O Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) é um dos grandes investidores no setor elétrico brasileiro, possuindo linhas de financiamento em projetos de cogeração com baixas taxas de juros e participação no investimento inicial total na faixa de 70% a 80%. O BNDES possui duas linhas de financiamento para usinas com interesse na cogeração de energia elétrica: uma linha para projetos de eficiência energética e outra para leilões de energia no mercado regulado (BRUMER, 2014).

A oferta de crédito para as usinas com geração de energia elétrica não é uma barreira para expansão da bioeletricidade, mas sim a dificuldade de acesso ao crédito, pois o BNDES exige garantias de que o financiamento será pago. Muitas vezes, essas garantias são os contratos de longo prazo de venda de energia elétrica o que nem sempre é fácil de realizar (BRUMER, 2014).

4.4 LICENCIAMENTO AMBIENTAL

O licenciamento ambiental tem sido uma barreira que impede uma maior comercialização da energia elétrica no mercado regulado. De acordo com Queiroz (2008, p.121), “a falta da licença prévia de instalação (LP) foi a grande responsável pelo alto volume de desistências das usinas termelétricas a biomassa de cana-de-açúcar nos leilões de energia nova e fontes alternativas”.

Nesta seção serão apresentados os procedimentos que as usinas devem seguir para obter o licenciamento ambiental necessário.

De acordo com Ministério do Meio Ambiente (2002, p.7), licença ambiental é

O ato administrativo pelo qual o órgão ambiental competente estabelece as condições, restrições e medidas de controle ambiental que deverão ser obedecidas pelo empreendedor, pessoa física ou jurídica, para localizar, instalar, ampliar e operar empreendimentos ou atividades utilizadores dos recursos ambientais consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras ou aquelas que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental.

As usinas termoelétricas somente são autorizadas a queimar o bagaço da cana após receberem a Licença Prévia (LP), Licença de Instalação (LI) e a Licença de Operação (LO).

A Licença Prévia é emitida durante o planejamento e a concepção do projeto. “É ela que atestará a viabilidade ambiental do empreendimento, aprovará sua localização e concepção e definirá as medidas mitigadoras e compensatórias dos impactos negativos do projeto”. Se um projeto apresentar grande potencial de degradação ambiental será necessário a realização de Estudo de Impacto Ambiental - EIA e correspondente Relatório de Impacto ao Meio Ambiente – RIMA (IBAMA, 2007, p.17).

A Licença de Instalação aprova a instalação do empreendimento ou atividade. Na LI é fornecida “as informações detalhadas do projeto, processos e tecnologias adotadas para a neutralização, mitigação ou compensação dos impactos ambientais provocados” (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2002, p.7).

A LO “autoriza o interessado a iniciar suas atividades. Tem por finalidade aprovar a forma proposta de convívio do empreendimento com o meio ambiente e estabelecer condicionantes para a continuidade da operação” (IBAMA, 2007, p.19).

A obtenção destas licenças pode levar meses até serem emitidas pelos órgãos competentes. Então, se não houver um bom planejamento das usinas, elas podem perder o prazo para participação nos leilões de energia nova e fontes renováveis, sendo a obtenção da licença é um condicionante para participação nos leilões.

5. MATERIAIS E MÉTODOS DE PESQUISA

Neste capítulo serão apresentados os métodos e os dados utilizados para realizar o estudo de viabilidade econômica de uma usina termelétrica movida a bagaço de cana-de-açúcar que se encontra instalada no estado do Paraná.

5.1. MÉTODO PERÍODO DE *PAYBACK*

O *payback* “é o período de tempo necessário para que o fluxo de caixa operacional do projeto recupere o valor a ser investido no projeto”. Este método é um dos mais utilizados para tomada de decisão de investimentos de longo prazo e também como uma medida de risco (LEMES JÚNIOR et al, 2010, p. 173).

O cálculo do *payback* é realizado da seguinte forma: os fluxos de caixa são somados até que o valor dessa soma se iguale ao investimento inicial do projeto. Assim, o período de *payback* está compreendido entre o ano inicial do investimento e o ano correspondente a última soma necessária para igualar o investimento inicial (GITMAN, 2010).

A empresa deve definir qual o *payback* padrão ela pretende para um projeto. As regras para análise do *payback* são:

- *Payback* < Padrão da empresa: aceita o projeto;
- *Payback* = Padrão da empresa: aceita o projeto;
- *Payback* > Padrão da empresa: rejeita o projeto.

O *payback* é um método de fácil entendimento, porém apresenta alguns pontos falhos como ignorar o valor do dinheiro no tempo, exige um limite de tempo arbitrário e ignora fluxos de caixa após o período de *payback* (LEMES JÚNIOR et al, 2010).

5.2. MÉTODO VALOR PRESENTE LÍQUIDO

O Valor Presente Líquido (VPL) “é o valor presente do fluxo de caixa operacional do projeto, descontado ao custo de capital da empresa” (LEMES JÚNIOR et al, 2010, p. 176). “A taxa de custo de capital ou taxa de atratividade da empresa é a remuneração mínima exigida em seus projetos de investimento” (LEMES JÚNIOR et al, 2010, p. 173).

O VPL “é encontrado subtraindo-se o investimento inicial de um projeto (FC_0) do valor presente de suas entradas de caixa (FC_t), descontadas à taxa de custo de capital da empresa (r)” (GITMAN, 2010, p. 369). O VPL é calculado através da seguinte fórmula, onde n é a vida útil do projeto.

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+r)^t} - FC_0 \quad (1)$$

As regras para análise do VPL são:

- $VPL > R\$ 0$: aceita o projeto;
- $VPL = R\$ 0$: aceita o projeto;
- $VPL < R\$ 0$: rejeita o projeto.

“Se o VPL for maior que $R\$ 0$, a empresa obterá um retorno maior do que o custo de seu capital. Isso aumentará o valor de mercado da empresa e, portanto, a riqueza de seus proprietários, em um valor correspondente ao VPL” (GITMAN, 2010, p. 370).

As vantagens do VPL são: leva em consideração o valor do dinheiro no tempo, dependem apenas dos fluxos de caixa e do custo de capital e o VPL de um projeto pode ser somado ao VPL de um projeto diferente (LEMES JÚNIOR et al, 2010, p. 177).

5.3. PROCEDIMENTO DE COLETAS DE DADOS

Os dados utilizados para realizar o estudo de viabilidade deste trabalho foram obtidos através de um artigo publicado na Revista Ciências Exatas e da Terra e Ciências Agrárias, onde foi formulado um questionário e enviado as usinas sucroalcooleiras do estado do Paraná que possuem geração de energia elétrica através do bagaço de cana-de-açúcar.

Os resultados apresentados são referentes à Usina A. Essa denominação de Usina A foi adotada para manter o sigilo da empresa, sendo que foi a única usina que forneceu os dados necessários para a realização do estudo de viabilidade do projeto.

A quantidade de cana-de-açúcar moída pela Usina A é apresentada na Tabela 2. A usina destina 75% da cana-de-açúcar para a produção de açúcar e 25% para a produção de etanol, sendo considerada uma usina de grande porte (SILVA; SILVA, 2013).

Tabela 2 - Quantidade de cana-de-açúcar moída	
Usina	A
Cana-de-açúcar moída (diária)	9.100 toneladas
Cana-de-açúcar (mensal)	227.500 toneladas

Fonte: SILVA; SILVA (2013, p. 17)

A produção Usina A durante uma safra “gera 398.304 toneladas de bagaço de cana-de-açúcar própria, destinando 55.000 toneladas para a geração de energia, sendo trabalhadas 24 horas/dia, o que equivale a 5.040 horas de operação” (SILVA; SILVA, 2013, p. 17). Com estes dados é calculada a capacidade de geração da Usina A e assim demonstrado na Tabela 3.

Tabela 3 - Geração de energia da usina

Usina	A
Capacidade instalada (MW)	26,5
Consumo próprio (MW)	9,5
Excedente (MW)	17
Horas/safra	5.040
MWh gerado	133.560
MWh excedente	85.680

Fonte: SILVA; SILVA (2013, p.18)

A Usina A possui uma geração de energia elétrica maior que seu próprio consumo, conforme pode ser verificado na Tabela 3, gerando excedentes que podem ser comercializados.

A cogeração na Usina A evitou a compra de energia elétrica de terceiros, assim evitando gastos no processo. A Tabela 4 apresenta os custos evitados com o consumo de energia elétrica própria obtida pela cogeração,

Tabela 4 - Custo evitado com o consumo próprio de energia elétrica

Usina	A
Preço da energia - R\$/MWh	127,00
Consumo próprio - MWh	47.880
Custo evitado em R\$	6.080.760,00

Fonte: SILVA; SILVA (2013, p. 18)

A geração de energia elétrica nas usinas sucroalcooleiras geram custos de operação e manutenção (O&M). Os custos de O&M na Usina A são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Custos com operação e manutenção

Usina	A
Quantidade de MWh gerado	133.560
Custo O&M – R\$/MWh	23,00
Custo total com O&M	3.071.880,00

Fonte: SILVA; SILVA (2013, p. 18)

O custo total de O&M apresentado na Tabela 5 é menor que o custo evitado apresentado na Tabela 4, verificando que a geração de energia elétrica apresenta resultados favoráveis, isso sem contar a possibilidade de venda de excedentes de energia elétrica. Diante deste cenário favorável, no próximo capítulo será analisada a viabilidade deste projeto da Usina A utilizando o método de *payback* e VPL.

6. ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Para avaliação da viabilidade do projeto de cogeração da Usina A foi elaborado o fluxo de caixa do investimento, com base nas informações fornecidas pela Usina A, apresentado na Tabela 6 (SILVA; SILVA, 2013).

O investimento inicial no ano de 2006 para implantação do projeto foi de R\$ 30.000.000,00, representando uma saída de caixa. No período de 2007 a 2012 o projeto apresenta entradas de caixa anuais nos valores de R\$ 2.310.000,00 e no período de 2013 com projeção final para o ano de 2026 apresenta entradas de caixa anuais nos valores de R\$ 6.755.000,00.

Ano	Valor (R\$)
2006	-R\$ 30.000.000,00
2007	R\$ 2.310.000,00
2008	R\$ 2.310.000,00
2009	R\$ 2.310.000,00
2010	R\$ 2.310.000,00
2011	R\$ 2.310.000,00
2012	R\$ 2.310.000,00
2013	R\$ 6.755.000,00
2014	R\$ 6.755.000,00
2015	R\$ 6.755.000,00
2016	R\$ 6.755.000,00
2017	R\$ 6.755.000,00
2018	R\$ 6.755.000,00
2019	R\$ 6.755.000,00
2020	R\$ 6.755.000,00
2021	R\$ 6.755.000,00
2022	R\$ 6.755.000,00
2023	R\$ 6.755.000,00
2024	R\$ 6.755.000,00
2025	R\$ 6.755.000,00
2026	R\$ 6.755.000,00

Fonte: SILVA; SILVA (2013)

Com a elaboração do fluxo de caixa do projeto, aplicou-se o método do valor presente líquido utilizando a Fórmula (1), com um custo de capital de 10% e 15%. O custo de capital é calculado com base na expectativa de retorno que a empresa espera do investimento e também com base nos juros dos financiamentos adquiridos para realizar a implantação do projeto. Os resultados obtidos são apresentados no Quadro 1.

Custo de capital	10%	15%
VPL	R\$ 8.149.989,12	R\$ - 4.540.241,47

Quadro 1: Resultado do VPL
Fonte: Autoria própria

A análise do resultado do VPL indica que se o projeto for elaborado com um custo de capital de 10%, o projeto deve ser aceito pela Usina A, pois o VPL é maior que zero, e gera uma riqueza para a Usina A no valor de R\$ 8.149.989,12.

Com um custo de capital de 15%, o projeto deixa de ser viável, pois apresenta um VPL menor que zero.

A avaliação pelo método do *payback* apresentou um período de 9,38 anos. A Figura 13 apresenta a evolução do *payback* do projeto.

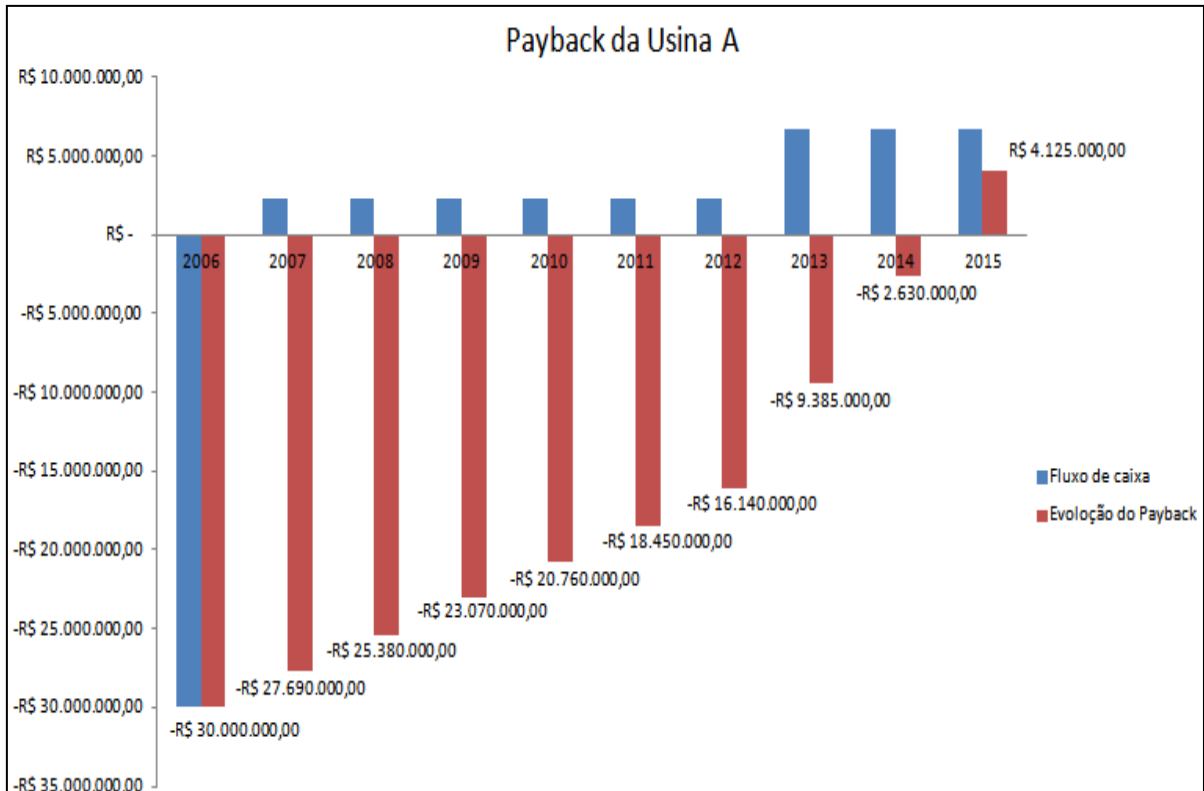


Figura 13 - Evolução do payback do projeto de cogeração na Usina A.
Fonte: Autoria própria

Como se pode observar na Figura 13, as entradas de caixa acumuladas ultrapassou o valor inicial do projeto entre os anos de 2014 e 2015. O período de *payback* de 9,38 anos pode ser aceito ou não pela empresa. Assim a viabilidade deste projeto pelo método de *payback* depende diretamente do padrão adotado pela empresa.

7. CONCLUSÕES

Este trabalho analisou a viabilidade econômica da ligação de uma usina termelétrica movida à bagaço de cana-de-açúcar no sistema elétrico do Paraná. Com os estudos realizados foi verificado que a matriz elétrica brasileira é predominantemente hídrica, porém com a necessidade de diversificação da matriz elétrica, a geração de energia elétrica em usinas sucroalcooleiras ganhou mais destaque.

Algumas usinas sucroalcooleiras possuem capacidade de produzir energia elétrica para atender seu consumo interno e realizar a venda de excedentes para o sistema elétrico. O estado do Paraná ainda possui poucas usinas sucroalcooleiras que comercializam energia elétrica excedente. Das 30 usinas instaladas no estado apenas seis realizam essa comercialização. Diante de um número baixo como esse fica evidente que algumas usinas ainda encontram dificuldades para gerar e comercializar um volume maior de energia elétrica.

As principais dificuldades encontradas pelo setor sucroenergético estão na conexão com o sistema elétrico da COPEL, a falta de obtenção de licença prévia ambiental e no acesso a linhas de crédito para subsidiar a implantação de um sistema de cogeração, seja ele novo ou na modernização de um já existente. Com essas dificuldades encontradas pelas usinas foi realizado o estudo de viabilidade de um projeto de geração de energia elétrica em uma usina sucroalcooleira.

O estudo de viabilidade foi realizado utilizando os métodos VPL e *payback*. No método VPL foi constatado que para o projeto analisado a viabilidade vai depender da taxa de custo de capital. No método *payback* a viabilidade do projeto depende do período padrão adotado pela empresa. Os resultados apresentaram que é possível um projeto de geração de energia elétrica em usina sucroalcooleira ser viável.

A viabilidade do projeto de geração de energia elétrica utilizando o bagaço de cana-de-açúcar em cada usina sucroalcooleira deve ser avaliada separadamente, pois envolve variáveis que são específicas de cada projeto, como: distância da usina até um ponto de conexão com o sistema elétrico, os impactos ambientais que são gerados na região, o preço de comercialização da energia elétrica e as taxas de juros dos financiamentos necessários para a implantação do projeto.

REFERÊNCIAS

ALCOPAR. **Indústria de bioenergia do Paraná: Relatório 2013**. 2013, Maringá. Disponível em: <<http://www.alcopar.org.br/>>. Acesso em: 5 mai. 2016

ANEEL. **Atlas de energia elétrica do Brasil**, Brasília, 2008. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/>>. Acesso em: 14 mar. 2016

BACCARIN, J. G.; CASTILHO R, C. **A geração de energia como opção de diversificação produtiva da agroindústria canavieira**. 2002. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 09 mar. 2015.

BARROS, B. F.; BORELLI, R.; GEDRA, R. L. **Gerenciamento de energia: ações administrativas e técnicas de uso adequado da energia elétrica**. 1. Ed. São Paulo: Érica, 2010.

BRUMER, Eduardo. **Oportunidades e desafios da geração de energia elétrica através de resíduos de cana no Estado de São Paulo**. 2014. 98f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Programa de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

CCEE - CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. **Visão geral das operações na CCEE**. 2010. Disponível em: <www.ccee.org.br>. Acesso em: 10 abr. 2015.

COPEL – COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA. **NTC 905100: acesso de geração distribuída ao sistema da COPEL: com comercialização de energia**. Curitiba, 2013.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **A geração termoelétrica com a queima do bagaço de cana-de-açúcar no Brasil: Análise do desempenho da safra 2009-2010**, 2011. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 14 mar. 2015.

CUBEROS, Fábio Luiz. **Novo modelo institucional do setor elétrico brasileiro: análise dos mecanismos de mitigação de riscos de mercado das distribuidoras**. 2008. 119f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

DANTAS FILHO, Paulo Lucas. **Análise de custos na geração de energia com bagaço de cana-de-açúcar: um estudo de caso em quatro usinas de São Paulo.** 2009. 175f. Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Energia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

EPE. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2023.** Brasília: MME/EPE 2014. Disponível em: < <http://www.epe.gov.br>>. Acesso em: 30 mar. 2015.

EPE. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2024.** Brasília: MME/EPE 2015. Disponível em: < <http://www.epe.gov.br>>. Acesso em: 25 jan. 2016.

GITMAN, Lawrence J. **Princípios de administração financeira.** 12 ed. São Paulo: Pearson Prentice, 2010

IBAMA. **Cartilha de licenciamento ambiental.** 2007, 2ª ed. Brasília. Disponível em: <<http://portal2.tcu.gov.br/portal/pls/portal/docs/2059156.PDF>>. Acesso em: 02 mai. 2016.

Instituto Acende Brasil. **Leilões no Setor Elétrico Brasileiro: Análises e Recomendações,** São Paulo, White Paper 7, 2012. Disponível em: < <http://www.acendebrasil.com.br/br/estudos?busca=leil%C3%B5es+no+setor+el%C3%A9trico&tipo=> >. Acesso em: 04 abr. 2016.

LEMES JÚNIOR, Antônio Barbosa et al. **Administração financeira: princípios, fundamentos e práticas financeiras.** 3 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

LOPES, Otavio Augusto. **Avaliação de métodos avançados de geração de energia elétrica na indústria de açúcar e bioenergia.** 2013. 63f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Escola de Economia de São Paulo – Fundação Getúlio Vargas – São Paulo, 2013.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Programa de incentivo às fontes alternativas de energia elétrica.** Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/programas/proinfra/>>. Acesso em 27 fev. 2015.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Guia de Procedimentos do Licenciamento Ambiental Federal.** 2002. Brasília. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_pnla/_arquivos/Procedimentos.pdf>. Acesso em: 2 mai. 2016

NASCIMENTO, Adriana. Cogeração Eficiente. **Revista RPANEWS**, Ribeirão Preto, n. 171, jul. 2015. Disponível em: < <http://revistarpanews.com.br/index.php/edicoesrpanews/item/128-edicao-171>>. Acesso em: 15 mar. 2016.

PRYNGLER, Aron. **Proposta de aperfeiçoamento da Geração Distribuída para Viabilizar os Projetos de “Retrofit” de usinas existentes do Estado de São Paulo**. 2014. 53f. Monografia (Curso de Especialização em Gestão Ambiental e Negócios no Setor Energético)– Instituto de Eletrotécnica e Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

QUEIROZ, Gil Mesquita de Oliveira Rabello. **Análise de dificuldades técnicas e econômicas na inserção da cogeração pelas usinas sucroalcooleiras**. 2008. 135f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2008

ROSIM, Sidney Olivieri. **Geração de energia elétrica – Um enfoque histórico e institucional das questões comerciais no Brasil**. 2008. 153 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

SANTOS, Fernando Alves dos. **Análise da aplicação da biomassa da cana como fonte de energia elétrica: usina de açúcar, etanol e bioeletricidade**. 2012. 115 f. Dissertação (Mestrado em Energia) – Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétrica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

SILVA, Rui Guilherme Altieri. **Uso da biomassa na geração de energia**. 2011 Brasília. Disponível em: <<http://www.relop.org/eventos/Documents/IV/ANEEL%20-%20Rui%20Altieri%20Silva.pdf>>. Acesso em: 13 abr. 2016

SILVA, Vanessa Souza; SILVA, Clandio Medeiros. **Análise da viabilidade de projetos de cogeração de energia por meio do bagaço da cana-de-açúcar: um estudo a partir de agroindústrias sucroalcooleiras do Paraná**. *Revista Ciências Exatas e da Terra e Ciências Agrárias*, v. 8, n. 2, p. 9-22, dez. 2013. Disponível em: <<http://revista.grupointegrado.br/revista/index.php/campodigital/article/view/1437>>. Acesso em: 10 set. 2015

SOUZA, Zilmar José de. **Geração de energia elétrica excedente no setor sucroalcooleiro: entraves estruturais e custos de transação**. 2004. 278 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação de Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004.

SOUZA, Eduardo L. L. et al. **Etanol e bioeletricidade** : a cana-de-açúcar no futuro da matriz energética. São Paulo: Luc Projetos de Comunicação, 2010.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. **Biomassa ajuda a poupar 14% da água nos reservatórios das hidrelétricas em 2014**. 2015. Disponível em: <<http://www.unica.com.br>>. Acesso em: 23 mar. 2015.

UNICA. **Bioeletricidade em números – maio 2016**. Abr. 2016a. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/documentos/documentos/bioeletricidade/>>. Acesso em: 11 mai. 2016.

UNICA. **Biomassa supera potência instalada de uma Itaipu, mas expansão ainda preocupa**. Abr. 2016b. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/noticia/29063662920317494047/biomassa-supera-potencia-instalada-de-uma-itaipu-por-cento2C-mas-expansao-ainda-preocupa/>>. Acesso em: 09 mai. 2016.