



CURSO SUPERIOR DE BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Estudo de caso na Usina São João: Uma Análise da Geração de Energia por Biomassa de Cana-de-Açúcar para Compensação de Energia Futura

JOÃO PESSOA

2023

ANTONIO FLORIANO DOS SANTOS JUNIOR

Estudo de caso na Usina São João: Uma Análise da Geração de Energia por Biomassa de Cana-de-Açúcar para Compensação de Energia Futura

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso Superior de Bacharelado em Engenharia Elétrica do Instituto Federal da Paraíba como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Walmeran Jose Trindade Junior, Dr.

JOÃO PESSOA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação – CIPBiblioteca
Nilo Peçanha – IFPB, *Campus* João Pessoa

S237e Santos Junior, Antonio Floriano dos
Estudo de caso na Usina São João: uma análise da geração de energia por biomassa de cana-de-açúcar para compensação de energia futura / Antonio Floriano dos Santos Junior. – 2023. 34 f.
TCC (Graduação – Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Instituto Federal da Paraíba – IFPB / Coordenação de Engenharia Elétrica, 2023.
Orientador: Prof^o Dr. Walmeran Jose Trindade Junior.
1. Energia Elétrica - Biomassa. 2. Sistemas de cogeração de energia elétrica. 3. Biomassa – Cana de Açúcar. I. Título.

CDU 620.91

Bibliotecária responsável Ivanise Andrade Melo de Almeida – CRB15/96

ANTONIO FLORIANO DOS SANTOS JUNIOR

Estudo de caso na Usina São João: Uma Análise da Geração de Energia por Biomassa de Cana-de-Açúcar para Compensação de Energia Futura

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso Superior de Bacharelado em Engenharia Elétrica do Instituto Federal da Paraíba como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Trabalho Aprovado em 19/12/ 2023 pela banca examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **ALAN MELO NOBREGA**
Data: 29/12/2023 11:35:51-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Alan Melo Nobrega, Dr.

Examinador(a), IFPB

Documento assinado digitalmente
 **HELDER ROLIM FLORENTINO**
Data: 03/01/2024 14:28:17-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Helder Rolim Florentino, Dr.

Examinador(a), IFPB

Documento assinado digitalmente
 **WALMERAN JOSE TRINDADE JUNIOR**
Data: 29/12/2023 10:43:57-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Walmeran José Trindade Junior, Dr.

Orientador, IFPB

JOÃO PESSOA
2023

"A vida é mais do que ficar só esperando"

(Jesse Koz)

AGRADECIMENTOS

À minha mãe e ao meu pai, que são o meu porto seguro na terra, pois ninguém fez por mim o que vocês fizeram, assim como os meus irmãos. Meu agradecimento é por todo o apoio durante o período de estágio, assim como no curso de engenharia elétrica. À minha noiva que sempre esteve comigo desde o começo do curso, me dando apoio e incentivando para chegar ao fim deste ciclo.

À gerente industrial, Ana Carla, da Usina São João, que me forneceu informações e conhecimento sobre o assunto tratado nesse TCC juntamente com o engenheiro eletricitista Fábio Fernandes.

Ao meu orientador Dr. Walmeran José Trindade Junior, pelo apoio e orientação nessa trajetória final de curso.

RESUMO

Este trabalho de conclusão de curso (TCC) visa abordar os aspectos técnicos e regulatórios relacionados à geração de energia por meio da biomassa de cana-de-açúcar, proporcionando uma visão holística das oportunidades e seus desafios. Paralelamente, serão abordados aspectos burocráticos relacionados ao acesso à rede de distribuição da Energisa. O estudo abrange as leis que regulamentam a geração de energia, como o exemplo da Lei 14.300, que visa a regulamentação da geração de energia elétrica para compensação futura, no contexto específico da biomassa de cana-de-açúcar. Ao explorar a aplicação prática da biomassa de cana-de-açúcar, o trabalho concentra-se em uma análise da Usina São João. Este estudo de caso destaca os benefícios da implementação da biomassa na geração de energia, além de considerar os trâmites necessários para a conexão à rede da distribuidora Energisa, visando à futura compensação de energia.

Palavras Chaves: Biomassa, Cana-de-açúcar, Distribuição, Cogeração.

ABSTRACT

This undergraduate thesis (TCC) aims to address the technical and regulatory aspects related to energy generation through sugarcane biomass, providing a holistic view of opportunities and challenges. Simultaneously, bureaucratic aspects related to access to the Energisa distribution network will be discussed. The study encompasses laws regulating energy generation, such as the example of Law 14,300, which aims to regulate electric power generation for future compensation, in the specific context of sugarcane biomass. By exploring the practical application of sugarcane biomass, the work focuses on an analysis of the São João Plant. This case study highlights the benefits of implementing biomass in energy generation, in addition to considering the necessary procedures for connection to the Energisa distributor network, aiming for future energy compensation.

Keywords: Biomass, Sugarcane, Distribution, Cogeneration.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa de produtores de etanol no Brasil.....	13
Figura 2 - Mapa da produção de etanol no Brasil.....	14
Figura 3 - Mapa distribuição de plantação de cana-de-açúcar no Brasil.....	14
Figura 4 - Fluxograma do processo de produção do setor sucroalcooleiro	17
Figura 5 - Conjunto gerador de energia elétrica 5MVA	25
Figura 6 - Conjunto gerador de energia elétrica 1,5MVA.....	27
Figura 7 - Planta baixa casa da casa de força da usina São João.....	28
Figura 8 - Localização da usina São João e ponto de medição Energisa	29
Figura 9 - Fluxograma de procedimentos de acesso a minigeração a rede de distribuição da Energisa	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Consumo de energia elétrica da usina São João.....	23
Tabela 2 - Dados para cálculo de consumo de biomassa e produção de energia elétrica	25
Tabela 3 - Horas de processamento de cana e geração de energia elétrica	28

SUMÁRIO

1. Introdução	10
1.1. Objetivo.....	11
1.2. Justificativa do tema.....	11
1.3. Metodologia	12
2. Fundamentação teórica.....	13
2.1. Setor sucroalcooleiro brasileiro	13
2.2. Processo de produção de açúcar e etanol.....	15
2.3. Biomassa oriunda da cana-de-açúcar.....	17
2.4. Sistema de geração de energia na indústria sucroalcooleira.....	18
2.4.1. Caldeira.....	18
2.4.2. Turbina a Vapor	19
2.4.3. Gerador de energia elétrica.....	20
2.5. Diferença entre geração distribuída e cogeração de energia elétrica e lei 14.300/2022.....	20
3. Estudo de caso: aplicação da cogeração na Usina São João para compensação de energia.....	22
3.1. Sistema de geração de energia da USJ.....	23
3.2. Sistema de geração de energia da USJ para a compensação de energia.....	26
3.3. Processo para conexão do sistema de geração distribuída à rede da Energisa.....	30
4. Conclusão	33
Referências.....	34

A matriz elétrica de um país desempenha um papel fundamental em seu desenvolvimento econômico, social e ambiental. No caso do Brasil, uma nação de dimensões continentais e com uma economia em crescimento, a matriz elétrica desempenha um papel ainda mais crucial.

O Brasil possui uma das maiores matrizes elétricas do mundo, sustentada por uma combinação diversificada de fontes de energia. As principais fontes de geração de eletricidade no país incluem hidrelétricas, termelétricas, usinas nucleares e fontes renováveis, como eólica e solar. A predominância de usinas hidrelétricas historicamente tem sido uma característica marcante da matriz elétrica brasileira, proporcionando uma vantagem em relação a países que dependem predominantemente de fontes não renováveis.

A geração distribuída e cogeração de energia elétrica tem se tornado cada vez mais relevante no cenário energético mundial, principalmente devido à necessidade de buscar fontes de energia mais limpas e sustentáveis. No Brasil, essa tendência não é diferente, e a geração distribuída tem ganhado destaque nos últimos anos como uma alternativa para diversificar a matriz elétrica e reduzir a dependência de fontes tradicionais, como hidrelétricas e termelétricas.

Com a crescente demanda por fontes de energia limpa e sustentável, a geração distribuída e cogeração surgem como uma solução eficiente e acessível para consumidores e empresas que desejam reduzir seus custos com energia e contribuir para a preservação do meio ambiente.

O setor sucroalcooleiro no Brasil é um importante pilar da economia nacional, responsável pela produção de açúcar, etanol e energia elétrica a partir da biomassa de cana-de-açúcar. A geração distribuída pode ser realizada por meio de sistemas de cogeração, que utilizam o bagaço da cana como combustível para produzir eletricidade e vapor, simultaneamente.

Este trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade técnica e econômica da cogeração em uma empresa do setor sucroalcooleiro no estado da Paraíba, bem como os desafios e oportunidades que essa modalidade de geração de energia apresenta. No decorrer do presente trabalho de conclusão de curso serão abordados aspectos como a regulamentação vigente e os custos e benefícios da implantação de sistemas de cogeração de energia elétrica através de termoelétrica que utiliza a biomassa da cana-de-açúcar.

1.1. OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo geral a aplicação da cogeração na Usina São João, através da utilização da sobra da biomassa proveniente da cana-de-açúcar para a geração de energia elétrica, visando a obtenção de créditos para compensação junto à concessionária. Neste contexto, são delineados objetivos específicos que se desdobram em distintas abordagens metodológicas.

Primeiramente, busca-se realizar uma revisão bibliográfica abrangente sobre o setor sucroalcooleiro no Brasil e o funcionamento de usinas de produção de álcool e açúcar. De maneira elucidativa, o objetivo é analisar a relação entre a quantidade de biomassa de cana-de-açúcar disponível na Usina São João e o potencial de geração de energia elétrica por meio da cogeração.

Além disso, propõe-se uma avaliação das tecnologias existentes na Usina São João para a cogeração de energia elétrica. Serão destacados os principais pontos de eficiência e serão consideradas as informações regulatórias relevantes para a obtenção de créditos junto à concessionária.

1.2. JUSTIFICATIVA DO TEMA

Existem diversos motivos que justificam a escolha desse tema para a pesquisa. Primeiramente, a cogeração possui um papel importante na promoção da segurança energética, uma vez que permite a produção de energia próxima ao consumo, reduzindo a necessidade de longas linhas de transmissão e minimizando perdas na distribuição. Além disso, a cogeração contribui para a redução das emissões de gases de efeito estufa, uma vez que muitas fontes utilizadas nessa modalidade são renováveis, como a solar, eólica e a biomassa.

No contexto brasileiro, o tema se torna ainda mais relevante, considerando a matriz elétrica predominantemente baseada em hidrelétricas. A cogeração pode proporcionar uma diversificação do sistema energético, reduzindo a dependência de uma única fonte e tornando-o mais resiliente a eventos climáticos extremos e oscilações no fornecimento de água. Além disso, o setor sucroalcooleiro brasileiro é um exemplo de como a cogeração pode ser aplicada de forma eficiente e sustentável, utilizando a biomassa da cana-de-açúcar para produção de energia elétrica.

Outro aspecto relevante é a existência de regulamentações específicas para a cogeração no Brasil, como a Resolução Normativa 482/2012 da ANEEL, que, em 2022, foi convertida na Lei 14.300. Essa lei estabelece as regras para a conexão de micro e minigeradores à rede elétrica, permitindo a compensação de energia elétrica.

1.3. METODOLOGIA

O presente trabalho foi organizado da seguinte forma:

- Capítulo 1: a introdução, justificativa e os objetivos do desenvolvimento do trabalho são apresentados neste capítulo;
- Capítulo 2: neste capítulo é feita a fundamentação teórica sobre a matriz elétrica do Brasil em geral, fontes renováveis de energia, setor sucroalcooleiro no Brasil, potencial energético do bagaço de cana-de-açúcar e um levantamento literário sobre as leis que dar arcabouço para geração distribuída no Brasil;
- Capítulo 3: no presente capítulo é apresentado o estudo de caso da viabilidade técnica de implementação da geração distribuída na Usina São João;
- Capítulo 4: neste último capítulo, demonstra-se o resultado sobre a viabilidade da geração distribuída na Usina São João.

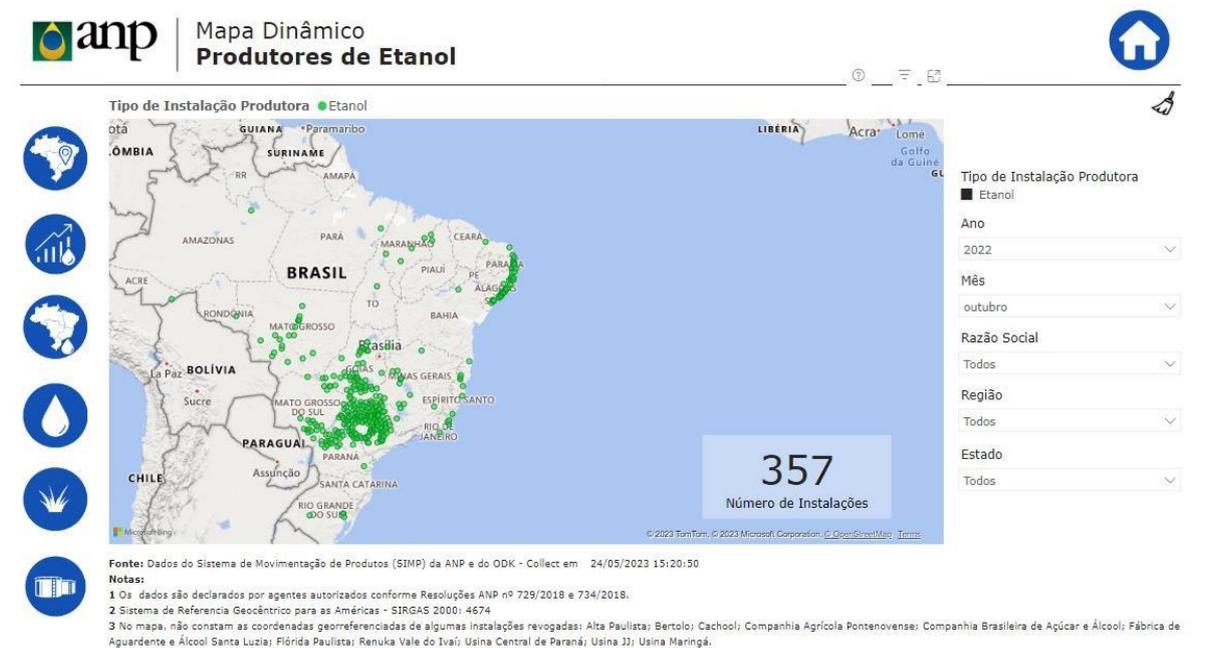
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. SETOR SUCROALCOOLEIRO BRASILEIRO.

A produção de açúcar e álcool no Brasil tem suas raízes no período colonial, quando a cana-de-açúcar foi introduzida pelos portugueses. Ao longo dos anos, o setor passou por transformações significativas, modernizando suas técnicas de produção e diversificando seus produtos. Segundo a Embrapa (2022) o Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, com mais de sete milhões de hectares plantados, produzindo mais de 480 milhões de toneladas de cana, o que coloca o país na liderança mundial em tecnologia de produção de etanol.

A figura 1 a seguir mostra o mapa atualizado do ano de 2022 dos estados que mais produzem etanol no Brasil:

Figura 1 - Mapa de produtores de etanol no Brasil

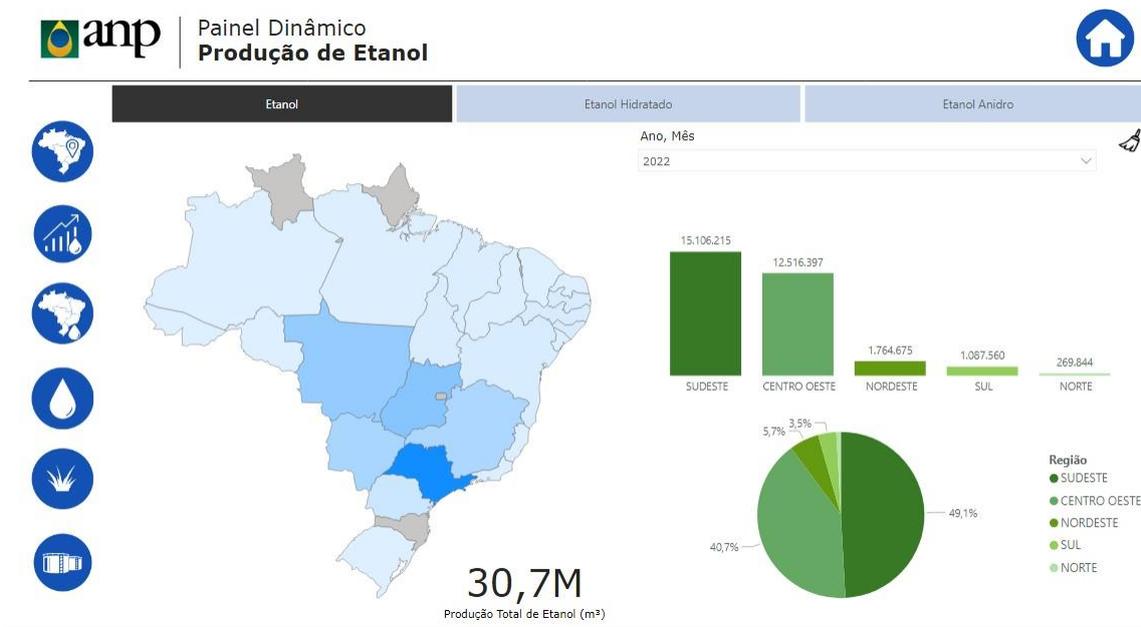


Fonte: (ANP, 2023)

A cana-de-açúcar é cultivada em várias regiões do país, como podemos ver na figura 1 e as grandes concentrações dessas usinas estão nas regiões Sudeste e Centro-Oeste com destaque para os estados de São Paulo, Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso do Sul e Paraná, juntos, esses estados possuem 267 usinas instaladas. As usinas de açúcar e álcool processam a cana-de-açúcar para produzir açúcar cristal, açúcar refinado, açúcar mascavo, álcool etílico hidratado (utilizado como combustível) e álcool anidro (misturado à gasolina

como aditivo). De acordo com a figura 2, nós temos que no ano de 2022 foi produzido 30,7 milhões no qual 18,4 milhões foram de álcool hidratado e 12,3 milhões de álcool anidro, esses valores de álcool produzido não é apenas oriundo da cana de açúcar, temos como matéria prima o milho e outros.

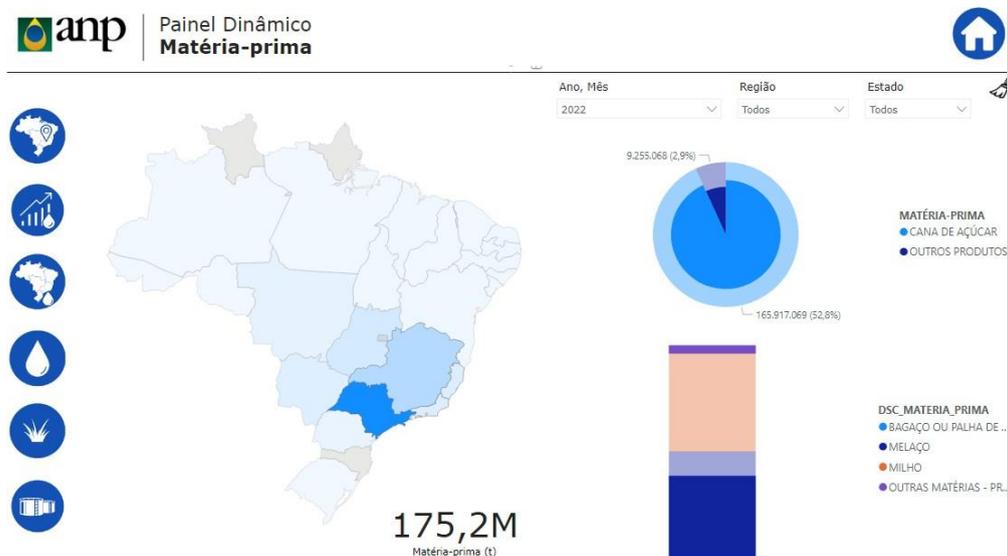
Figura 2 - Mapa da produção de etanol no Brasil



Fonte: (ANP, 2023)

A figura 3 mostra que para termos esses valores de álcool produzido em 2022, de acordo com a ANP, o Brasil teve um cultivo de cana-de-açúcar de 293.063.295 toneladas onde sua maior parte localiza-se nos estados da região Sudeste com cerca de 165.917.069 toneladas o que corresponde a 52,8% do cultivo de cana-de-açúcar do Brasil.

Figura 3 - Mapa distribuição de plantação de cana-de-açúcar no Brasil



Fonte: (ANP, 2023)

Diante dos números expostos acima podemos notar que o setor sucroalcooleiro tem uma importância socioeconômica significativa no Brasil. Ele impacta na geração de empregos diretos e indiretos em áreas rurais e urbanas, contribui para a arrecadação de impostos e impulsiona a economia local. Além disso, a produção de açúcar e álcool a partir da cana-de-açúcar é considerada uma atividade com menor impacto ambiental se comparada a outras fontes de energia do mercado interno.

2.2. PROCESSO DE PRODUÇÃO DE AÇÚCAR E ETANOL

O processo em uma usina sucroalcooleira é complexo e envolve várias etapas, desde o cultivo da cana-de-açúcar até a obtenção dos produtos finais. Abaixo, é detalhado cada etapa deste processo de acordo com Machado (2012):

1. **Plantio e Cultivo da Cana-de-Açúcar:** o processo começa com o plantio da cana-de-açúcar. A usina geralmente possui terras agrícolas dedicadas ao cultivo da cana-de-açúcar, onde são realizadas práticas de plantio, como o preparo do solo, o plantio propriamente dito e a aplicação de fertilizantes e defensivos agrícolas.
2. **Colheita da Cana-de-Açúcar:** a colheita da cana-de-açúcar pode ser realizada manualmente ou mecanicamente, dependendo do tamanho da usina e da tecnologia utilizada. A colheita manual é mais comum em pequenas usinas, enquanto as usinas maiores costumam usar máquinas específicas para a colheita.
3. **Transporte e Preparo da Cana-de-açúcar:** após a colheita, a cana é transportada para a usina, onde passa por um processo de preparo, que envolve a remoção das folhas e o corte dos ponteiros das hastes.
4. **Extração do caldo de Cana-de-açúcar:** a cana-de-açúcar preparada é alimentada em moendas, onde é esmagada para extrair o caldo de cana-de-açúcar. Este caldo é rico em sacarose, que é o açúcar natural encontrado na cana-de-açúcar.
5. **Tratamento do caldo:** o caldo extraído da cana pode conter impurezas, como terra, bagaço e outros resíduos. Nesta etapa, o caldo é submetido a processos de tratamento, como a adição de agentes químicos ou processos físicos, para remover as impurezas e melhorar a qualidade do produto final.
6. **Produção de Açúcar:** o caldo tratado é levado para um processo de evaporação e aquecimento em caldeiras. Conseqüentemente, a água presente no caldo é evaporada, deixando uma solução concentrada de sacarose. Essa solução é então transferida para

cristalizadores, onde o açúcar começa a se formar em cristais. Após o processo de cristalização, o açúcar é separado do líquido restante (melado) em centrífugas e está pronto para ser embalado e comercializado.

7. Produção de Etanol: o caldo também pode ser destinado à produção de etanol. Para isso, o caldo passa por um processo de fermentação, onde leveduras são adicionadas para converter a sacarose em etanol e dióxido de carbono. O líquido resultante da fermentação, chamado de "vinho", possui uma concentração de etanol em torno de 6-8%. O vinho é destilado para aumentar a concentração de etanol e produzir o álcool etílico com cerca de 95% de pureza. Por fim, esse álcool é desidratado para atingir a concentração de etanol anidro utilizado como combustível.
8. Produção de Energia Elétrica: algumas usinas sucroalcooleiras possuem um sistema de cogeração de energia elétrica. Isso é feito utilizando o bagaço da cana, que é um subproduto da extração do caldo. O bagaço é queimado em caldeiras, gerando vapor que é utilizado para movimentar turbinas e, conseqüentemente, gerar eletricidade. Esse processo reduz a necessidade de energia externa para a usina e pode até mesmo gerar excedentes que podem ser vendidos para a rede elétrica local.
9. Tratamento de Efluentes e Resíduos: a usina também deve se preocupar com o tratamento adequado dos efluentes líquidos gerados no processo, bem como a destinação correta dos resíduos sólidos, como o bagaço após a queima.
10. Armazenamento e Distribuição: o açúcar e o etanol produzidos são armazenados em silos ou tanques próprios até serem embalados e distribuídos para o mercado consumidor.

É importante ressaltar que cada usina sucroalcooleira pode ter particularidades em seus processos e tecnologias empregadas, mas essas etapas representam o fluxo geral do processo de produção nesse tipo de instalação industrial conforme a figura 4. Além disso, é fundamental que as usinas operem de forma sustentável, levando em consideração questões ambientais e sociais ao longo de todo o processo produtivo.

Figura 4 - Fluxograma do processo de produção do setor sucroalcooleiro



Fonte: (Google, 2023)

2.3. BIOMASSA ORIUNDA DA CANA-DE-AÇÚCAR

De acordo com Operador Nacional do Sistema Elétrico (2011), biomassa é qualquer matéria orgânica que possa ser transformada em energia mecânica, térmica ou elétrica.

A geração de energia a partir do bagaço da cana-de-açúcar é amplamente utilizada no Brasil. Este resíduo, composto por fibras e cascas deixadas após a extração do suco da cana-de-açúcar, é aproveitado como biomassa para a produção de eletricidade e calor.

O bagaço da cana é queimado em caldeiras, gerando vapor que alimenta turbinas a vapor para a geração de eletricidade. Este processo, conhecido como cogeração, possibilita a produção simultânea de eletricidade e calor.

Dessa forma, a geração de energia apresenta diversas vantagens. Primeiramente, o bagaço da cana-de-açúcar é uma fonte renovável de biomassa, derivada de uma cultura agrícola, o que a torna uma opção sustentável. Seu uso contribui para reduzir a dependência de fontes não renováveis, como carvão e petróleo. Além disso, aproveitar o bagaço evita que esse resíduo seja descartado no meio ambiente, minimizando os impactos ambientais e otimizando os recursos da planta. A queima do bagaço em substituição a combustíveis fósseis também contribui para a redução das emissões de gases de efeito estufa, auxiliando no combate às mudanças climáticas.

Outro benefício significativo é a autossuficiência energética das usinas sucroenergéticas. Elas podem suprir suas próprias necessidades de energia elétrica utilizando

o bagaço da cana-de-açúcar como fonte renovável. O excedente de energia ainda pode ser fornecido à rede elétrica, gerando receita adicional para a usina.

Além das vantagens ambientais e energéticas, a utilização do bagaço da cana na produção de energia também promove o desenvolvimento econômico e social das regiões produtoras de cana-de-açúcar. Essa atividade gera empregos e estimula a economia local.

No entanto, é importante ressaltar que a eficiência e o potencial de geração de energia a partir do bagaço da cana-de-açúcar podem variar de acordo com a tecnologia empregada nas usinas e a quantidade e qualidade do bagaço disponível. Avanços contínuos na tecnologia de cogeração e a exploração de outros resíduos da cana-de-açúcar, como a palha, estão sendo estudados para aumentar a eficiência e a sustentabilidade desse método de produção de energia.

O poder calorífico do bagaço de cana-de-açúcar varia dependendo de vários fatores, como a umidade do bagaço e a variedade da cana-de-açúcar. Em geral, o poder calorífico do bagaço de cana está na faixa de 17-19 MJ/kg (megajoules por quilograma) ou 4.000-4.500 kcal/kg (quilocalorias por quilograma) na base seca que refere-se à composição de um material ou substância após a remoção de toda a umidade contida nele.

2.4. SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA NA INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA

O sistema de geração de energia elétrica de uma usina sucroalcooleira é composto por caldeira e turbina a vapor e gerador, nesta seção iremos explicar o funcionamento de cada um desses elementos identificando suas principais características e explicando sua forma de funcionamento.

2.4.1. CALDEIRA

De acordo com manual técnico de caldeiras e vasos de pressão caldeiras podem ter a seguinte definição “caldeiras a vapor são equipamentos destinados a produzir e acumular vapor sob pressão superior à atmosférica, esse processo ocorre utilizando qualquer fonte de energia, excetuando-se os refervedores e equipamentos similares utilizados em unidades de processo” (Ministério, 2006, p. 7).

De acordo com a NR-13 item 13.4.1.1, pág. 6, as caldeiras devem ser categorizadas da seguinte forma:

- “Caldeiras da categoria A são aquelas cuja pressão de operação é igual ou superior a 1.960 kPa (19,98 kgf/cm²);
- Caldeiras da categoria B são aquelas cuja pressão de operação seja superior a 60 kPa (0,61 kgf/cm²) e inferior a 1 960 kPa (19,98 kgf/cm²)”.

Diversos tipos de caldeiras a vapor, como as flamotubulares, aquatubulares e de recuperação, têm características específicas para diferentes aplicações. Cada tipo é escolhido com base na aplicação e nos requisitos de eficiência energética. A seleção apropriada é crucial para garantir segurança, eficiência e sustentabilidade nas operações industriais. Uma caldeira a vapor, equipamento complexo, possui características construtivas fundamentais, como o tambor de vapor, tubos de água, tubos de fumaça, queimadores, economizador, superaquecedor, isolamento térmico e sistema de controle e segurança.

Essas são algumas das principais características construtivas de uma caldeira a vapor. Vale ressaltar que a aparência e a configuração podem variar dependendo do tipo e do tamanho da caldeira, bem como do combustível utilizado e do objetivo específico da sua aplicação.

2.4.2. TURBINA A VAPOR

A turbina, segundo Bloch (1996), é um dispositivo que converte a energia térmica do vapor em trabalho útil por meio da expansão do vapor. Ao entrar na turbina com alta pressão e temperatura, o vapor passa pelas palhetas, resultando em expansão e perda de energia térmica. Esse processo gera trabalho mecânico no eixo da turbina devido à mudança no momento angular.

Existem diversos tipos de turbinas a vapor, como as de ação e de reação, adequadas para diversas aplicações, desde pequenas máquinas até grandes usinas de energia. A escolha do tipo de turbina depende das necessidades específicas da aplicação, considerando variáveis como pressão, temperatura e carga.

Amplamente utilizadas na indústria, as turbinas a vapor desempenham papéis essenciais na geração de energia elétrica, acionamento de equipamentos e fornecimento de energia para processos industriais. Destacam-se em usinas termoelétricas, onde a energia térmica do vapor é convertida em eletricidade por meio de geradores acoplados às turbinas.

Além disso, são empregadas em navios, refinarias, indústria petroquímica e outras aplicações que demandam energia mecânica.

2.4.3. GERADOR DE ENERGIA ELÉTRICA

Um gerador de energia elétrica converte energia mecânica em energia elétrica por meio do princípio da indução eletromagnética. Composto por um rotor e um estator, o rotor é a parte móvel que, ao girar, cria um campo magnético variável em torno das bobinas fixas do estator. Esse processo gera uma corrente elétrica induzida no estator, que pode ser utilizada para alimentar diversas cargas elétricas. Os geradores são essenciais em usinas de energia e também em pequena escala, como em geradores portáteis ou de emergência, sendo empregados em setores diversos, desde residências até locais remotos.

2.5. DIFERENÇA ENTRE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E COGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA E LEI 14.300/2022

A geração distribuída e a cogeração são abordagens inovadoras na produção de energia, visando maior eficiência e descentralização. Vamos entender cada conceito para poder compará-los.

De acordo com Zilles et al. (apud BAJAY, 2018, p. 197) na geração distribuída, o foco está na produção de energia em pequena escala, frequentemente próxima aos locais de consumo. Ao contrário das grandes usinas centralizadas, essa abordagem incorpora diversas tecnologias, como painéis solares, turbinas eólicas e microturbinas a gás. Essa diversidade reduz a dependência de uma única fonte de energia e permite a geração em locais variados. Além disso, a geração distribuída minimiza as perdas de transmissão, pois a energia é produzida nas proximidades dos pontos de uso.

O termo cogeração para Coelho (1999) se define como “A geração simultânea de energia térmica e mecânica a partir de uma mesma fonte primária de energia”, dessa forma a cogeração, concentra-se na produção simultânea de eletricidade e calor útil a partir de uma única fonte de energia. Essa técnica é especialmente eficiente, uma vez que aproveita o calor residual que normalmente seria perdido em processos de geração de eletricidade convencionais. Amplamente aplicada em setores industriais, a cogeração aumenta a eficiência global do sistema ao utilizar de maneira completa tanto a eletricidade quanto o calor gerados.

Em 6 de janeiro de 2022, foi sancionada a Lei 14.300 de 2022, que estabelece as diretrizes para geração distribuída e cogeração de energia no Brasil. No entanto, o marco legal sobre esse tema teve início com a Resolução Normativa 482/2012 da ANEEL. Essa resolução definiu as diretrizes para a conexão de sistemas à rede elétrica e introduziu o "sistema de compensação de energia elétrica" ou "net metering". Essa abordagem permitiu que os consumidores gerem eletricidade, utilizando créditos para abater o consumo da rede, resultando em economia na conta de luz. A Resolução 482/2012 também impulsionou o mercado de energia solar no Brasil, incentivando o crescimento da indústria fotovoltaica.

Entretanto, a Resolução Normativa 891/2020, aprovada pela ANEEL em abril de 2020, trouxe alterações significativas. Isso envolveu o fim da isenção de encargos e tarifas para sistemas de geração distribuída a partir de março de 2020, além da implementação gradual de regras de compensação a partir de março de 2023. Nesse novo sistema, os consumidores recebem menos créditos pela energia excedente conforme a quantidade de sistemas instalados em sua área.

3. ESTUDO DE CASO: APLICAÇÃO DA COGERAÇÃO NA USINA SÃO JOÃO PARA COMPENSAÇÃO DE ENERGIA

A Companhia Usina São João foi fundada no ano de 1888 pela Companhia de Engenhos Centrais, em parceria com um grupo holandês e contando com o incentivo do governo da República. A usina localiza-se entre as cidades de Santa Rita e Espírito Santo, a 16 km da capital João Pessoa.

A produção de cana-de-açúcar moída por safra é de 392.172,24 toneladas, sendo uma parte em suas próprias terras, cerca de 289.876,89ton e 102.295,35ton do produto proveniente de fornecedores. Os produtos gerados através do processamento no último período de safra 2022/2023 foram o Etanol Hidratado com graduação alcoólica em torno de 93,2° INPM, em geral utilizado como combustível automotivo e o Etanol Anidro usado como aditivo aos combustíveis, composto de 99,5% de álcool puro mais 0,5% água. O Etanol Anidro é adicionado à gasolina a 22% para substituir o chumbo (venenoso, prejudicial à saúde e ao meio ambiente), sendo menos poluente e, adicionado na proporção correta, não afeta o desempenho do motor. A produção de ambos foi de 29.200,187 litros e 1.504,079 litros, respectivamente.

O consumo de energia na Usina São João pode ser subdividido em dois períodos distintos. O primeiro compreende os meses de janeiro a agosto, quando a usina está no intervalo entre safras, durante esse período, o gerador de energia encontra-se inativo, uma vez que não há processamento de cana-de-açúcar. Nesse cenário, a usina recorre diretamente à Energisa para suprir suas necessidades energéticas.

Já o segundo momento ocorre durante a safra, que se estende dos meses seguintes a agosto e vai até dezembro. Durante esse período, a usina gera sua própria energia, conforme detalhado adiante. No entanto, é importante notar que, mesmo durante a fase de moagem, a tabela abaixo indica a continuidade do consumo de energia da concessionária Energisa. Isso ocorre devido às paradas programadas, nas quais a usina é completamente desligada para a realização de manutenção preventiva e corretiva no parque fabril. Na tabela 1 temos o descritivo do consumo de energia ao longo do ano de 2022.

Tabela 1 - Consumo de energia elétrica da usina São João

Mês/2022	KWh
Janeiro	284.900
Fevereiro	210.000
Março	141.400
Abril	112.000
Maio	85.400
Junho	90.300
Julho	107.800
Agosto	95.900
Setembro	27.300
Outubro	9.100
Novembro	18.900
Dezembro	17.500
Consumo total	1.200.500

Fonte: (Autoria Própria, 2023)

3.1. SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA DA USJ

O sistema de geração de energia elétrica da Usina São João compreende três elementos principais: a caldeira, a turbina a vapor e o gerador elétrico. Abordarei brevemente as características desses componentes.

A caldeira, fabricada pela empresa M. Dedini S. A. Metalúrgica em 1986, é do tipo aquatubular e possui as seguintes especificações:

- Capacidade: 66.000 kg/h;
- Vapor: superaquecido a 350° C;
- Pressão de trabalho: 30 kg/cm²;
- Pressão máxima permitida: 38 kg/cm²;
- Pressão de prova hidráulica: 57 kg/cm²;
- Área de superfície de vaporização: 1859 m²;
- Modelo: BMP – 2100/4T.

Em 2020, a caldeira passou por um processo de melhoria realizado pela empresa SGE – S. Gomes Engenharia Ltda, especializada em reforma e aprimoramento de caldeiras. Após essa intervenção, as especificações foram atualizadas para:

- Capacidade: 85.000 kg/h;
- Vapor: superaquecido a 380° C;
- Pressão de trabalho: 30 kg/cm²;

- Pressão máxima permitida: 38 kg/cm²;
- Pressão de prova hidráulica: 57 kg/cm²;
- Área de superfície de vaporização: 1960 m²;
- Categoria: A.

Diante das principais alterações realizadas na caldeira, é notável as mudanças em relação à sua capacidade de produção de vapor. Tais modificações foram implementadas com o objetivo de aprimorar a eficiência da caldeira, possibilitando que a empresa gere mais energia por meio da capacidade aprimorada de produção de vapor.

O sistema em questão é composto por uma turbina de contrapressão multiestágio, responsável por converter a energia do vapor produzido pela caldeira em energia mecânica rotativa. Em condições em que a pressão do fluido não é totalmente liberada, ocorre uma pressão residual no lado de saída da turbina, conhecida como contrapressão. A configuração multiestágio é estrategicamente utilizada para otimizar a eficiência da conversão de energia, visto que cada estágio contribui para a extração eficaz de energia do fluido.

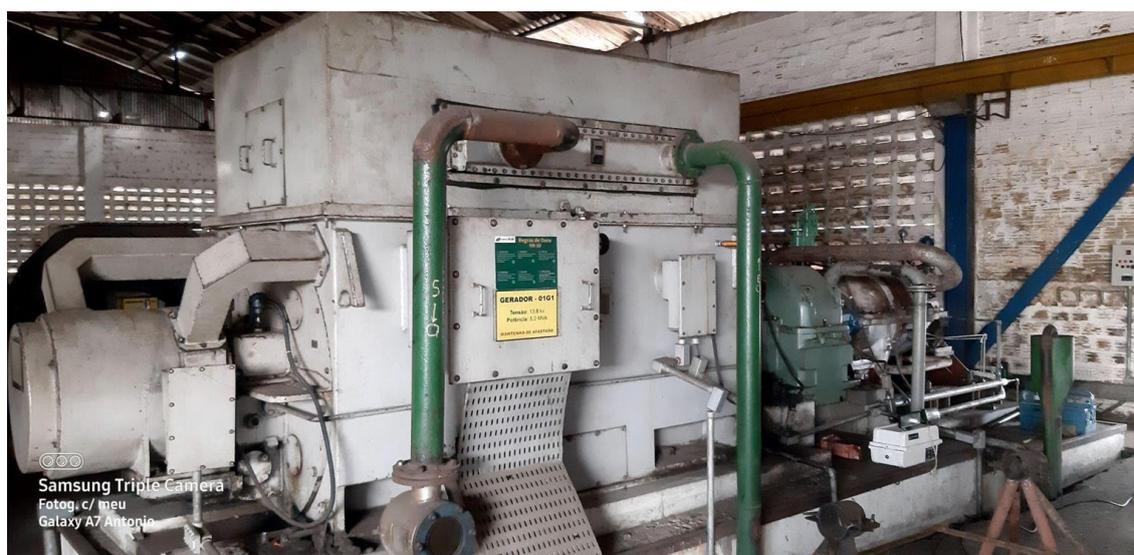
A turbina a vapor em questão possui as seguintes características:

- Fabricante: Texas
- Modelo: TXM 5000/30
- Potência: 5.000/6705.1 KW/HP
- Rotação de trabalho: 6032 rpm
- Rotação de desarme: 6635 rpm
- Pressão de vapor vivo: 30 Kg/cm²
- Pressão de vapor escape: 2,5 kg/cm²
- Temperatura de vapor vivo: 380° C

A turbina está acoplada a um redutor que se conecta ao gerador de 5MVA. As características detalhadas do gerador não podem ser fornecidas devido à ausência de sua placa de identificação e à falta de registro digital de suas especificações. Contudo, a produção média de energia elétrica gerada pelo conjunto (turbina, redutor e gerador) é de aproximadamente 2.900 KW/h por hora.

A figura 5 abaixo apresenta o conjunto formado pela turbina a vapor, redutor e gerador elétrico.

Figura 5 - Conjunto gerador de energia elétrica 5MVA



Fonte: (Autoria Própria)

O sistema, em conjunto com os dados de moagem da safra 2022/2023 presentes na Tabela 2 e as informações da Tabela 1, possibilita a verificação do total de biomassa consumido pela caldeira da Usina São João. Além disso, permite analisar a quantidade de vapor gerado para a produção de energia elétrica por meio do conjunto turbina, redutor e gerador.

Essa capacidade é crucial para atender às necessidades de vapor dos demais processos industriais.

Tabela 2 - Dados para cálculo de consumo de biomassa e produção de energia elétrica

Caná processada (ton/h)	105
Vazão de vapor da caldeira (ton/h)	55
Poder calorífico inferior (PCI)	1.764
Temp. água da caldeira (°C)	109
Eficiência da caldeira (%)	90
Bagaço disponível (ton/h)	28,88
Entalpia do vapor (Kcal/Kg)	750

Fonte: (Autoria Própria, 2023)

Para encontrarmos a relação entre o consumo de biomassa e vapor gerado pela caldeira, fazemos uso das seguintes equações fornecidas e utilizadas pela gerente industrial da Usina São João, equação I:

$$\frac{(PCI * eficiência da caldeira)}{(entalpia do vapor * temp_água_caldeira)} \quad (I)$$

A seguir, substituímos os valores na equação acima e obtemos o seguinte resultado em quilograma vapor por quilograma bagaço:

$$\frac{(1764 * 0,90)}{(750 - 109)} = 2,47 \text{ KgV/KgB}$$

Com este valor é possível também encontrarmos o consumo de biomassa pela caldeira por toneladas hora, para isto usamos a equação II:

$$\frac{\text{Vazão de vapor da caldeira}}{\text{consumo específico de biomassa}} \quad \text{(II)}$$

E obtemos o seguinte resultado:

$$\frac{55}{2,47} = 22,67 \text{ ton/h}$$

A partir deste valor e sabendo que com uma moagem de 106 toneladas de cana por hora nos geram aproximadamente 28.88 toneladas de biomassa, então, podemos inferir que temos uma sobra de 6,61 ton/h, que em um dia, irá gerar uma sobra total de 158,70 toneladas de biomassa de cana-de-açúcar.

3.2. SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA DA USJ PARA A COMPENSAÇÃO DE ENERGIA

O sistema no qual pode ser usado para a geração de energia é composto por: gerador elétrico com as seguintes características:

- Fabricante: Worthington
- Potência: 1563 KVA
- Tensão: 480 V
- Fases: ~3
- Corrente: 1880 A
- RPM: 1200
- Frequência: 60 Hz
- Fator de potência: 0,80

Também está presente no sistema, uma turbina a vapor, abaixo especificada:

- Fabricante: AZK
- Potência Máxima Contínua: 1000 KW
- Rotação Máxima Contínua: 5.400 rpm
- Velocidade de Desarme: 5.950 rpm
- Pressão de Vapor Vivo: 30 Kg/cm²
- Temperatura de Vapor Vivo: 360° C
- Pressão de Vapor de Escape: 2,5 Kg/cm²

E por último um redutor com as seguintes características:

- Fabricante: ABB
- Caixa de redução: 555:310
- Eixo de alta velocidade: 4725 rpm
- Eixo de baixa velocidade: 1050 rpm
- Potência máxima: 612 KW

Na figura 6 abaixo podemos ver o conjunto de 1,5 MVA para geração de energia.

Figura 6 - Conjunto gerador de energia elétrica 1,5MVA



Fonte: (Autoria Própria, 2023)

Para permitir o nível adequado de tensão para exportação, a unidade conta com uma subestação elevatória para conexão entre a usina de geração distribuída e o cubículo de média tensão. Esta subestação também poderá funcionar como rebaixadora quando a central de geração não estiver em funcionamento e seja necessário manter o suprimento de energia elétrica da planta pela rede de distribuição.

Com base no conjunto de dados fornecidos acima, e somando as informações contidas na tabela 3 abaixo, que apresenta a média de horas mensais dedicadas ao processamento de cana-de-açúcar pela usina, é possível determinar o valor mensal da produção de energia elétrica. Isso será obtido a partir de um gerador de 1,5 MVA, configurado para gerar uma média de 1.000 KWh.

Tabela 3 - Horas de processamento de cana e geração de energia elétrica

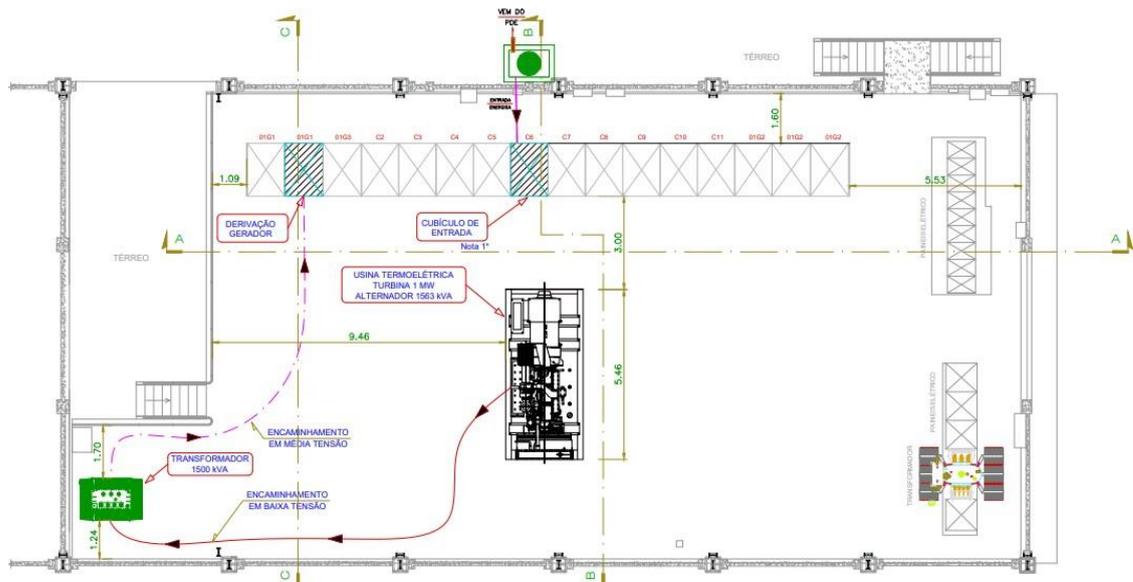
Mês	Horas de geração de energia elétrica (h)	Geração de energia em (KWh)
Agosto	270,50	270.500,00
Setembro	602,50	602.500,00
Outubro	669,66	669.660,00
Novembro	575,83	575.830,00
Dezembro	647,25	647.250,00
Total	2.765,74	2.765.740,00

Fonte: (Autoria Própria, 2023)

Na representação esquemática abaixo, dispomos o layout da casa de força da usina, destacando a disposição dos equipamentos cruciais para a produção de energia, juntamente com os cubículos encarregados de desempenhar funções críticas, como proteção, disjunção e seccionamento em média tensão. Esses cubículos desempenham um papel fundamental na interligação da exportação de energia da central geradora com a rede de distribuição da Energisa.

Concentrando a atenção na figura 7, notamos o segundo cubículo da direita para a esquerda, dedicado à derivação e conexão da central geradora de 1,5 MVA em média tensão. Este cubículo abriga três TC's - transformador de corrente - de proteção, com uma relação de transformação de 100/5A, e três TP's - transformador de potência - de proteção, ambos destinados ao comando do sistema.

Figura 7 - Planta baixa casa da casa de força da usina São João



Fonte: (Usina São João, 2023)

No cubículo C6, situado estrategicamente, encontra-se a entrada na rede Energisa. Aqui, são empregados três TC's com uma relação de 150/5A 10P25, três TPs de 13.8/0.115KV

400VA e um relé Schneider G82, projetado com funcionalidades de proteção específicas para operações em paralelo, tanto em rampa quanto permanentes. Adicionalmente, um disjuntor de 630A/17,5KV é incorporado para fins de medição e proteção.

A fim de garantir um nível apropriado de tensão para a exportação, a unidade está equipada com uma subestação elevatória. Essa subestação desempenha um papel crucial na conexão entre a usina de geração distribuída e o cubículo de média tensão. Vale ressaltar que essa subestação possui a capacidade de operar como rebaixadora nos momentos em que a central de geração não está em funcionamento, assegurando o fornecimento contínuo de energia elétrica através da rede de distribuição.

De acordo com a figura 8, mostra que a medição da concessionária encontra-se em poste aéreo externo ao empreendimento, localizada na Rua Joana Gomes da Silva, s/n, Santa Rita-PB, e segue, já medido, até chegar ao cubículo de entrada C6 da Usina São João. Com a geração de energia se faz necessário a troca do medidor unidirecional existente por um medidor bidirecional para permitir a leitura não só da carga mas também da geração seja contabilizada. Esta informação atende a norma NDU 002, onde a medição deve ser em até 140m do ponto de derivação.

Figura 8 - Localização da usina São João e ponto de medição Energisa



Fonte: (Usina São João, 2023)

3.3. PROCESSO PARA CONEXÃO DO SISTEMA DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA À REDE DA ENERGISA

A geração de crédito é possível apenas se a empresa estiver em conformidade com as diretrizes básicas, seguindo as normas estabelecidas pela Lei 14.300 de 2022 e as normas técnicas da concessionária responsável, que, no caso da Paraíba, é a Energisa.

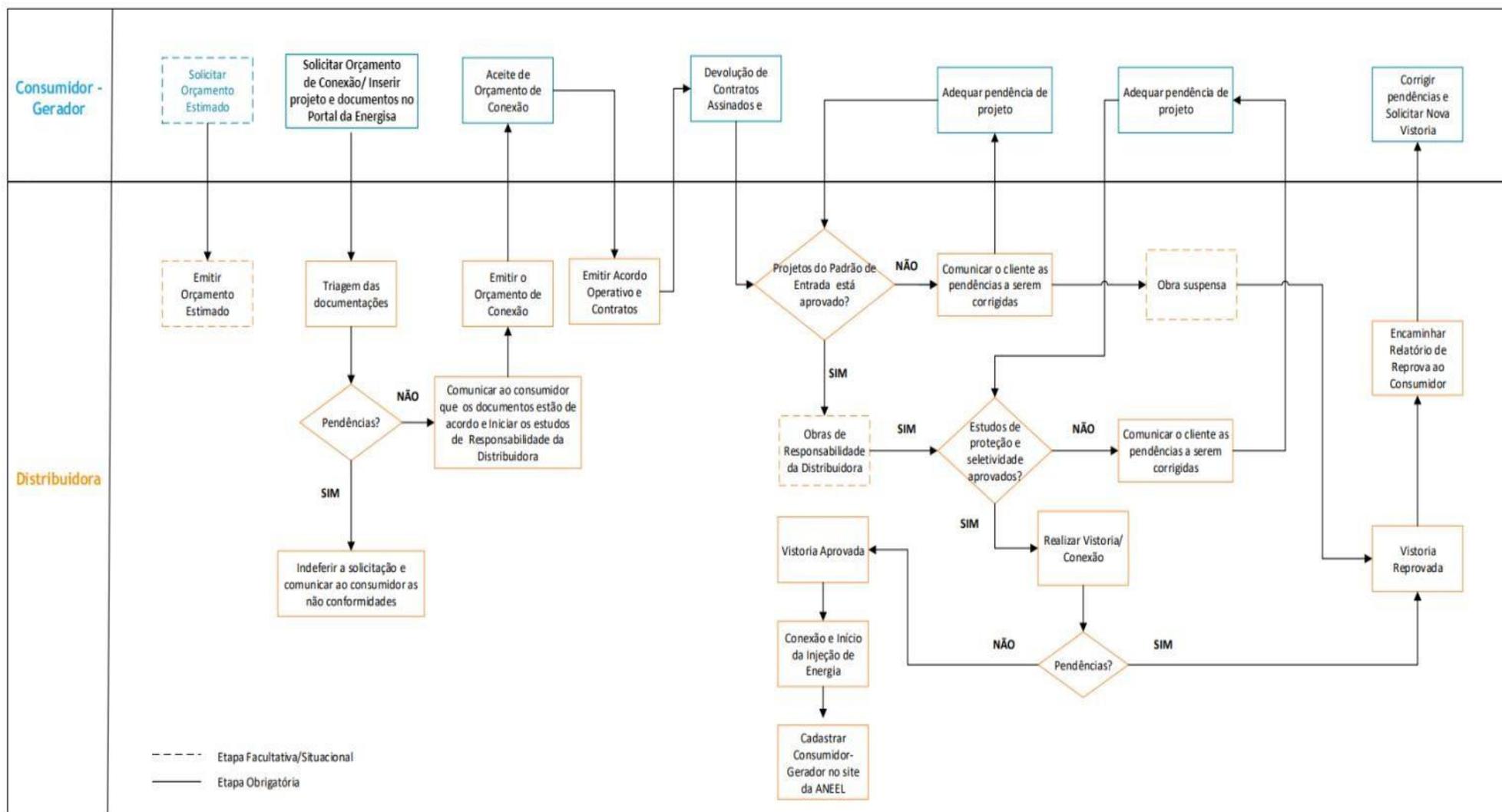
No primeiro artigo da Lei 14.300/2022, várias definições sobre microgeração e minigeração distribuída são adotadas. No contexto da Usina São João, a definição mais adequada é a de minigeração distribuída, que diz o seguinte:

“[...] central geradora de energia elétrica renovável ou de cogeração qualificada que não se classifica como microgeração distribuída e que possua potência instalada, em corrente alternada, maior que 75 kW (setenta e cinco quilowatts), menor ou igual a 5 MW (cinco megawatts) para as fontes despacháveis e menor ou igual a 3 MW (três megawatts) para as fontes não despacháveis, conforme regulamentação da Aneel, conectada na rede de distribuição de energia elétrica por meio de instalações de unidades consumidoras;”

Nesse cenário, como mencionado anteriormente, a intenção é gerar energia elétrica por meio da biomassa de cana-de-açúcar, com uma capacidade de 1 MVA, conferindo à usina a qualificação como fonte despachável. Dentro das diretrizes da legislação geral da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), agora nos dedicaremos à análise de como submeter um projeto de mineração distribuída à concessionária Energisa. Para essa finalidade, utilizaremos a Norma de Distribuição Unificada (NDU-015), cujo propósito é fornecer as diretrizes básicas para regulamentar a elaboração de projetos e atender às demais exigências necessárias à interligação com a rede de distribuição.

De acordo com a norma NDU-015 os procedimentos de acesso para minigeração são obrigatórios e se constituem de várias etapas para obtenção do Orçamento de Conexão, conforme Resolução Normativa ANEEL 1.000/2021. A figura 9 abaixo representa o fluxo com as etapas a serem seguidas.

Figura 9 - Fluxograma de procedimentos de acesso a minigeração a rede de distribuição da Energisa



Fonte: (Energisa NDU-015)

No item 7.2.2.2 da norma nós temos os requisitos para a elaboração do orçamento de conexão, destacando a necessidade de um memorial descritivo que deve ser enviado à Energisa juntamente com a solicitação do orçamento. O memorial deve incluir informações como normas técnicas, identificação da unidade consumidora, dados do ponto de entrega, descrição das cargas a serem atendidas, levantamento da carga instalada, demanda de carga e geração, dimensionamento de equipamentos, descrição do sistema de aterramento, funções de proteção, características técnicas de geradores e inversores, lista de materiais e equipamentos, além da previsão de ligação.

Ainda no capítulo 7 desta norma, temos a especificação no qual informam que o usuário deve enviar o projeto elétrico das instalações de entrada, que inclui a planta georreferenciada, diagramas unifilar e trifilar, esquemas de comando, proteção, e funcional, além do layout da planta destacando a posição dos equipamentos. A representação da medição deve incluir detalhes da entrada frontal do padrão, identificação do medidor e ramal de entrada, sistema de aterramento e instalação da placa de advertência, conforme as normas técnicas.

Outro ponto importante da norma, é em relação a vistoria e conexão. Ela é essencial para que o projeto elétrico da unidade consumidora seja aprovado pela distribuidora, assim como o estudo de proteção e seletividade, quando aplicável. A vistoria e a instalação dos equipamentos de medição devem ocorrer em até 10 dias úteis (para tensões entre 2,3 kV e 69 kV), contados a partir do primeiro dia útil subsequente à aprovação do orçamento de conexão, conclusão de obras pela distribuidora ou comissionamento da obra executada pelo consumidor. Em caso de pendências detectadas que impeçam a conexão à rede, a distribuidora deve enviar um relatório de vistoria com as correções necessárias em até 3 dias úteis. Após a resolução das pendências, o usuário deve solicitar nova vistoria. A execução do projeto de geração distribuída deve seguir rigorosamente o projeto aprovado, e a vistoria será recusada em caso de discrepâncias. As concessionárias têm o direito de realizar inspeções nas instalações do consumidor a qualquer momento para verificar as condições do sistema de paralelismo.

A norma aborda detalhes técnicos nos seus capítulos, descrevendo as características do sistema de distribuição da Energisa em média tensão (MT), métodos de conexão para minigeração e requisitos de proteção necessários para essa conexão. Além disso, define padrões de qualidade relacionados à tensão em operação regular, faixa de frequência aceitável e aspectos de segurança em situações como perda de tensão na rede, variações de tensão e frequência, e proteção contra curtos-circuitos, entre outros aspectos relevantes.

Diante do exposto, o presente trabalho alcança seu objetivo principal ao explorar a aplicação da cogeração na Usina São João, utilizando a biomassa excedente da cana-de-açúcar para a geração de energia elétrica, com o intuito de obter créditos compensatórios junto à concessionária. Os objetivos específicos delineados proporcionaram uma abordagem metodológica abrangente e integrada.

As revisões bibliográficas realizadas sobre o setor sucroalcooleiro no Brasil e o funcionamento das usinas de produção de álcool e açúcar contribuíram para uma compreensão aprofundada do contexto em que a Usina São João está inserida. Esta análise permitiu estabelecer uma relação clara entre a quantidade de biomassa de cana-de-açúcar disponível na Usina São João e o potencial de geração de energia elétrica por meio da cogeração, destacando a relevância da matéria-prima na viabilidade do projeto.

Adicionalmente, este estudo abre portas para diversas perspectivas e pontos que podem ser explorados em trabalhos futuros, ampliando o conhecimento e a aplicação prática da cogeração na Usina São João e em contextos similares.

Para projetos futuros podem-se pontuar dois pontos importantes que são: otimização do processo de cogeração e a busca por métodos mais eficientes para este processo. Mediante o aprimoramento dos processos tecnológicos vigentes na Usina São João e os aspectos econômicos em longo prazo se fazem necessário e imprescindível uma investigação mais minuciosa dos benefícios econômicos em horizontes temporais prolongados decorrentes da cogeração, que abranja o retorno sobre o investimento, os custos de manutenção e a viabilidade financeira em longo prazo. Todos esses pontos estudados mais a fundo, proporcionam uma visão mais abrangente da sustentabilidade econômica do projeto.

Ao explorar essas temáticas em pesquisas futuras, será possível aprimorar ainda mais a compreensão da cogeração na Usina São João. Este enfoque não apenas contribuirá para o desenvolvimento contínuo de práticas sustentáveis no setor, mas também fornecerá insights valiosos que poderão ser aplicados em outras usinas e indústrias correlatas.

Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Painel Dinâmico de Produtores de Etanol. Disponível em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/paineis-dinamicos-da-anp/paineis-e-mapa-dinamicos-de-produtores-de-combustiveis-e-derivados/painel-dinamico-de-produtores-de-etanol#:~:text=O%20Painel%20Din%C3%A2mico%20de%20Produtores%20de%20Etanol%20apresenta,tanto%20de%20etanol%20hidratado%20quanto%20de%20etanol%20anidro>>. Acesso em 20 ago. 2023.

BAJAY, S.; JANNUZZI, G. M.; HEIDEIR, R. B.; VILELA, I. R.; PACCOLA, J. A.; Gomes, R. Geração Distribuída e Eficiência Energética: reflexões para o setor elétrico de hoje e do futuro. Campinas, sp: [s.n], 2018.

Bloch, H. P. A practical guide to steam turbine technology. New York: McGraw-Hill, 1996. 348p.

COELHO, S. T.. Mecanismos para a implementação da cogeração de eletricidade a partir de biomassa. Um modelo para o estado de São Paulo. 1999. Tese (Doutorado em Energia) - Instituto de Eletrotécnica e Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

Grupo Energisa. (2023). Norma Técnica Unificada – NDU-015.

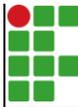
Machado, Simone Silva. Tecnologia da Fabricação do Açúcar. Inhumas: IFG; Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2012. 56 p.

NR-13 : Manual técnico de caldeiras e vasos de pressão. – Edição comemorativa 10 anos da NR-13. – 1. reimpressão. – Brasília : MTE, SIT, DSST, 2006. 124 p.

Ministério de Minas e Energia. Lei_n_14.300/2022. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/aceso-a-informacao/legislacao/leis/lei-n-14-300-2022.pdf/view#:~:text=Lei_n_14.300%2F2022%20Institui%20o%20marco%20legal%20da%20microgera%C3%A7%C3%A3o%20e,de%20dezembro%20de%201996%3B%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%A2ncias>. Acesso em: 12 nov. 2023.

Ministério do Trabalho e Emprego. Norma Regulamentadora No.13 (NR-13). Disponível em: <<https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/arquivos/normas-regulamentadoras/nr-13-atualizada-2022-retificada.pdf>>. Acessado em: 10 nov.2023.

Normas do Brasil. Resolução Normativa ANEEL nº 482 DE 17/04/2012. Disponível em:<https://www.normasbrasil.com.br/norma/resolucao-normativa-482-2012_342518.html> . Acesso em: 13 nov. 2023.

	INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA
	Campus João Pessoa
	Av. Primeiro de Maio, 720, Jaguaribe, CEP 58015-435, Joao Pessoa (PB)
	CNPJ: 10.783.898/0002-56 - Telefone: (83) 3612.1200

Documento Digitalizado Ostensivo (Público)

TCC Antonio Floriano

Assunto:	TCC Antonio Floriano
Assinado por:	Antonio Junior
Tipo do Documento:	Dissertação
Situação:	Finalizado
Nível de Acesso:	Ostensivo (Público)
Tipo do Conferência:	Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- Antonio Floriano dos Santos Junior, **ALUNO (20172610047) DE BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA - JOÃO PESSOA**, em 04/01/2024 09:54:56.

Este documento foi armazenado no SUAP em 04/01/2024. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 1045473

Código de Autenticação: d628f4033b

