



**INSTITUTO FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS PENEDO
CURSO TÉCNICO INTEGRADO EM AÇÚCAR E ÁLCOOL**

JADILSON SOARES DA SILVA

**COGERAÇÃO DE ENERGIA NAS USINAS SUCROALCOOLEIRAS ATRAVÉS DO
BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR**

**PENEDO, AL
2025**

JADILSON SOARES DA SILVA

COGERAÇÃO DE ENERGIA NAS USINAS SUCROALCOOLEIRAS ATRAVÉS DO
BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso Técnico de Nível Médio Integrado em Açúcar e Alcool do Instituto Federal de Alagoas, *campus* Penedo, como requisito parcial para a obtenção do grau de Técnico em Açúcar e Alcool.

Orientador (a): Taciana do Nascimento Santos

PENEDO, AL
2025



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Instituto Federal de Alagoas
Campus Penedo
Biblioteca

S586c

Silva, Jadilson Soares da.

Cogeração de energia nas usinas sucroalcooleiras através do bagaço da cana-de-açúcar / Jadilson Soares da Silva. – 2025.

21f.; il.

Orientação: Prof.^a Taciana do Nascimento Santos.

Trabalho de Conclusão de Curso (Técnico de Nível Médio Integrado em Açúcar e Álcool) – Instituto Federal de Alagoas, *Campus Penedo*, Penedo, 2025.

Trabalho acadêmico em versão digital.

1. Energias sustentáveis. 2. Usina sucroalcooleira 3. Cana-de-açúcar - Bagaço. I. Santos, Taciana do Nascimento. II. Título.

CDD: 621.194

Maria Luzia Alexandre de Oliveira
Bibliotecária/Documentalista
CRB-4/2159

JADILSON SOARES DA SILVA

COGERAÇÃO DE ENERGIA NAS USINAS SUCROALCOOLEIRAS ATRÁVES DO
BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR

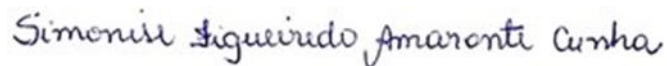
Trabalho de Conclusão de curso apresentado ao Curso Técnico de Nível Médio Integrado em Açúcar e Álcool do Instituto Federal de Alagoas, *campus* Penedo, como requisito parcial para a obtenção do grau de Técnico em Açúcar e Álcool.

APROVADO(A) EM: 25/07/2025.

BANCA EXAMINADORA



Taciana do Nascimento Santos
Instituto Federal de Alagoas - IFAL



Simonise Figueiredo Amarante Cunha
Instituto Federal de Alagoas - IFAL



Taciana Carneiro Chaves
Instituto Federal de Alagoas - IFAL

RESUMO

A crescente demanda por fontes de energia sustentáveis tem impulsionado o desenvolvimento de tecnologias que aproveitam recursos renováveis. A cogeração de energia nas usinas de açúcar e álcool, utilizando o bagaço da cana-de-açúcar, se destaca como uma solução eficiente e ambientalmente amigável. Este trabalho busca evidenciar a importância da cogeração na matriz energética brasileira, contribuindo para a redução da dependência de fontes fósseis e promovendo a sustentabilidade. Além disso, aborda a relevância econômica e ambiental desse processo, que se torna cada vez mais essencial em um cenário de busca por alternativas limpas. Também será abordado dentro desse contexto alguns conceitos dos principais componentes, equipamentos e da biomassa utilizada.

Palavras-chave: Cogeração; Bagaço; Energia elétrica; Energia térmica; Caldeira.

ABSTRACT

The growing demand for sustainable energy sources has driven the development of technologies that leverage renewable resources. The cogeneration of energy in sugar and ethanol mills, using sugarcane bagasse, stands out as an efficient and environmentally friendly solution. This work aims to highlight the importance of cogeneration in the Brazilian energy matrix, contributing to the reduction of dependence on fossil sources and promoting sustainability. Additionally, it addresses the economic and environmental relevance of this process, which is becoming increasingly essential in a scenario that seeks clean alternatives. Within this context, some concepts related to the main components, equipment, and biomass used will also be discussed.

Keywords: Cogeneration; Bagasse; Electric energy; Thermal energy; Boiler.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	6
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
2.1. MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA.....	7
2.2. BIOMASSA NO SETOR SUCROALCOOLEIRO.....	8
2.3. COGERAÇÃO DE ENERGIA.....	9
2.4. COGERAÇÃO NAS USINAS SUCROALCOOLEIRAS.....	10
2.5. EQUIPAMENTOS.....	11
2.5.1. Caldeiras.....	11
2.5.2. Turbina a vapor.....	15
2.5.3. Turbo Gerador (Turbina acoplada a um gerador)	16
2.6. VANTAGENS DA COGERAÇÃO DE ENERGIA.....	17
3. CONCLUSÃO	18
REFERÊNCIAS.....	19

1. INTRODUÇÃO

A energia elétrica é fundamental para o desenvolvimento da sociedade moderna, ela impulsiona a indústria, facilita a comunicação e melhora a qualidade de vida das pessoas, desde o funcionamento de eletrodomésticos até a iluminação pública, a eletricidade é uma fonte essencial que possibilita o avanço tecnológico e econômico. De acordo com Empresa de Pesquisa Energética (2022), no Brasil a principal fonte de geração são as hidrelétricas, mas com o desenvolvimento de novas tecnologias vem surgindo alternativas visando menores riscos ao meio ambiente, sustentabilidade ambiental e economia. Dentre as alternativas, a utilização de sistemas de cogeração vem crescendo cada vez mais e são uma tendência mundial.

Cogeração de energia é o processo de geração simultânea de eletricidade e calor a partir de uma única fonte de energia. Essa técnica aproveita a energia térmica que, de outra forma, seria desperdiçada, aumentando a eficiência geral do sistema. Entre as principais vantagens estão a possibilidade de geração própria de energia elétrica e a elevada eficiência energética que o sistema proporciona, convertendo combustíveis tanto em energia térmica útil quanto em energia elétrica (Villari, 2021).

A cogeração em operação comercial no Brasil é de 21,9 GW, o que equivale a 1,56 vezes a capacidade instalada da maior hidrelétrica do país, a usina de Itaipu, que contém 14GW. No setor sucroalcooleiro essa cogeração é feita reaproveitando o bagaço da cana-de-açúcar, subproduto que antes era descartado, e atualmente é o principal combustível para esse processo. A produção de energia movida a bagaço de cana-de-açúcar conta com aproximadamente 386 usinas, totalizando 13,03 GW instalados, o que representa 59,5% do total da cogeração no país, segundo dados da Aneel e da Cogen (Gottens, 2025).

Este trabalho tem por objetivo mostrar como as usinas sucroalcooleiras se beneficiam da cogeração, produzindo e se tornando autossuficientes em energia elétrica, além de analisar a tecnologia utilizada para transformar a biomassa (bagaço) em energia térmica, mecânica e elétrica.

O trabalho de conclusão de curso foi desenvolvido através de revisão de literatura em artigos científicos, trabalhos acadêmicos, dissertação e publicações em sites relacionadas ao tema.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

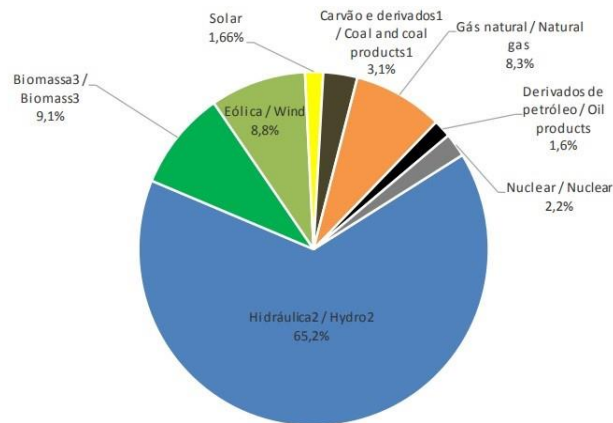
2.1. MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA

Nota-se que o Brasil dispõe de uma matriz elétrica de origem predominantemente renovável, com destaque para a fonte hídrica que responde por 65,2% da oferta interna. As fontes renováveis (hidroeletricidade, solar, eólica e biomassa) representam 84,8% da oferta interna de eletricidade no Brasil, que é resultante da soma dos montantes referentes à produção nacional mais as importações, que são essencialmente de origem renovável, como observado na Figura 1 (Santiago, 2021).

As usinas termelétricas são responsáveis pela cogeração de energia feita através da utilização de combustíveis não renováveis, sendo eles demonstrados na Figura 1: carvão e derivados (3,1%), gás natural (8,3%), derivados de petróleo (1,6%) e nuclear (2,2%). Porém esse modelo de geração de energia é o principal responsável pela emissão de gases de efeito estufa (Sales, 2022).

Boa parte da energia proveniente da Biomassa (9,1%) está associada ao setor sucroenergético. Tendo em vista que o setor sucroenergético no Brasil é um dos mais competitivos do mundo, existe uma perspectiva de que o país venha a ser um dos grandes nomes se tratando em produção de bioeletricidade, pois, a cana-de-açúcar, além de ter um alto teor de açúcar e alto teor energético, possui também um bom nível de combustão na queima do bagaço, sendo este a principal biomassa da cana-de-açúcar a ser usada na geração da bioeletricidade (Santiago, 2021).

Figura 1. Gráfico da Matriz Elétrica Brasileira



Fonte: Santiago (2021)

2.2. BIOMASSA NO SETOR SUCROALCOOLEIRO

Biomassa é qualquer matéria orgânica que possa ser transformada em energia mecânica, térmica ou elétrica. De acordo com a sua origem, pode ser: florestal (madeira, principalmente), agrícola (soja, arroz e cana-de-açúcar, entre outras) e rejeitos urbanos e industriais (sólidos ou líquidos, como o lixo). Os derivados obtidos dependem tanto da matéria-prima utilizada, cujo potencial energético varia de tipo para tipo, quanto da tecnologia de processamento para obtenção dos energéticos (Cardoso, 2011).

Nas usinas e destilarias, a produção do bagaço inicia-se na fase de recepção da matéria-prima e após a extração do caldo, o bagaço sai das moendas com uma umidade de aproximadamente 50%, sendo enviado em seguida às caldeiras para sua combustão. O excesso de bagaço é enviado a um pátio de estocagem. Entretanto, como se trata de uma indústria de caráter sazonal, o fornecimento de bagaço excedente para fins industriais (produção de vapor e geração de energia elétrica) não pode ser realizado de forma direta e contínua, havendo a necessidade da formação de estoques reguladores, a fim de suprir a sua carência no período da entressafra. A estocagem do bagaço nos pátios das usinas é um dos fatores que contribuem para a ineficiência de sua exploração. A organização física das pilhas é complicada pelas suas dimensões. Na maioria das usinas brasileiras, um trator espalha o bagaço no alto da pilha, que pode chegar a ter cerca de 300 m de extensão, 100 m de largura e 40 m de altura (aproximadamente 100.000 toneladas

de bagaço estocadas). Nestas, a deterioração da camada externa protege as camadas internas, gerando perdas de até 15 % (Santos et al., 2011)

Segundo Alcarde e Silva (2025) a quantidade de bagaço produzida depende do teor de fibra da cana processada, apresentando, em média, 46% de fibra e 50% de umidade, resultando, aproximadamente, em 280 quilos de bagaço por tonelada de cana processada.

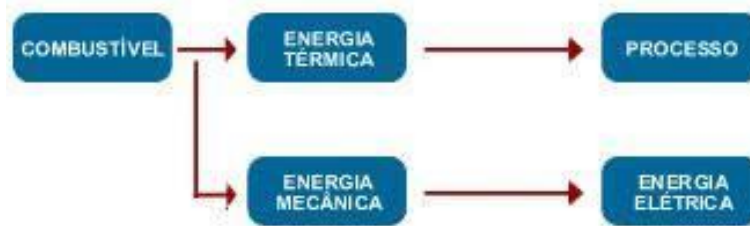
O bagaço da cana-de-açúcar é uma fonte de energia renovável, e usado de forma sustentável, portanto, a geração de energia através desse material pode ajudar a evitar o uso de reservatórios de hidrelétricas em períodos mais secos.

2.3. COGERAÇÃO DE ENERGIA

Cogeração é a produção simultânea e de forma sequenciada, de duas ou mais formas de energia a partir de um único combustível. O processo mais comum é a produção de eletricidade e energia térmica (calor ou frio) a partir do uso de gás natural e/ou de biomassa (Cogen, [s.d.]).

Segundo Oddone, citado por Pilon et al., (2012) “Cogeração é definida como o processo de transformação de uma forma de energia em mais de uma forma de energia útil. ” A cogeração apresenta alta eficiência energética, pois não há o desperdício de energia térmica (como ocorre nas termoelétricas puras), pois essa energia é utilizada em processos industriais, como secagem, aquecimento, cozimento, destilação. Possibilita melhor aproveitamento do gás, com mais eficiência e custos atrativos para o usuário devido a grande produção de energia e calor de serviço com o combustível que seria utilizado apenas para que realizasse um serviço.

Devido a grande produção de energia com um sistema de cogeração, a indústria pode ter uma independência parcial ou até total da concessionária da energia devido ao fato de grande produção de energia. Na Figura 2, temos um único combustível que será utilizado como fonte de energia térmica e energia mecânica no qual a energia térmica será utilizada no processo e a mecânica irá posteriormente gerar a energia mecânica na ponta do eixo de um gerador.

Figura 2. Cogeração de Energia

Fonte: Pilon et al. (2012)

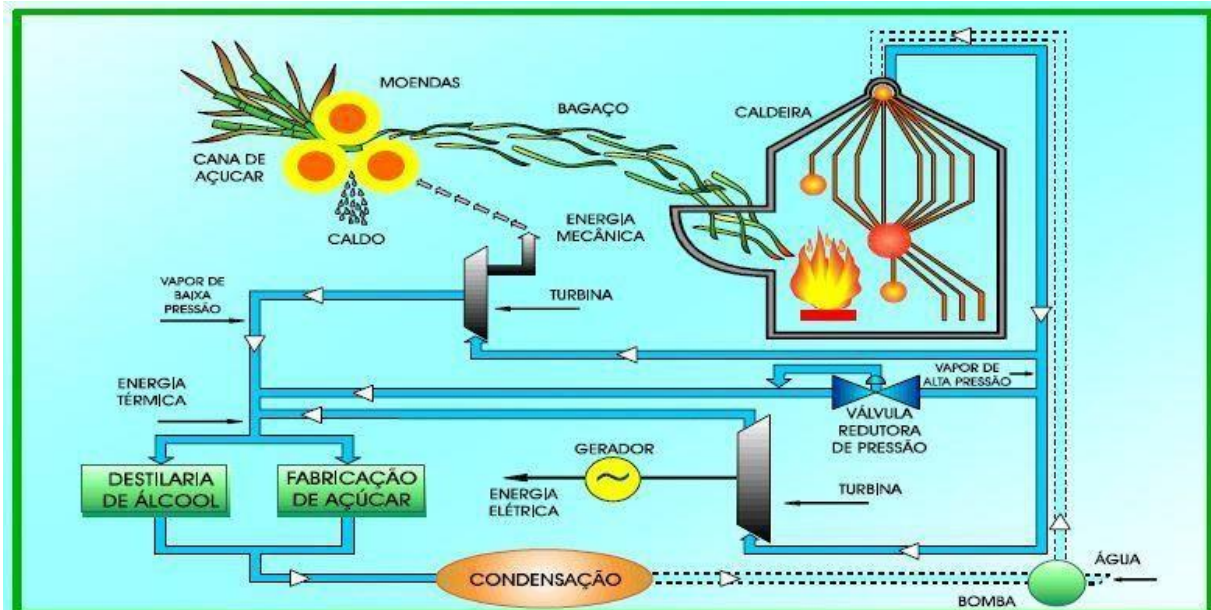
2.4. COGERAÇÃO NAS USINAS SUCROALCOOLEIRAS

Conforme descrito no site da Propeq (2020), a cogeração de energia foi utilizada pela primeira vez no Brasil em 1987, na Usina São Francisco que pertence ao grupo Balbo. O processo foi feito reaproveitando a biomassa residual da produção, ou seja, o bagaço da cana-de-açúcar, e o mesmo método é utilizado até os dias atuais.

O bagaço é utilizado como combustível, através da sua queima. Esta etapa ocorre em caldeiras, onde o calor produzido na queima é utilizado para aquecer água, transformando-a em vapor. Dois tipos de vapor podem ser produzidos: vapor de alta pressão e vapor de baixa pressão; sendo que ambos podem ser utilizados em diversos processos dentro da própria usina. Outra forma de aproveitamento energético do vapor consiste em acoplar turbinas à geradores elétricos (Propeq, 2020).

O vapor de baixa pressão (cerca de 2,5 bar) é utilizado como fonte de calor em processos de tratamento e evaporação do caldo e destilação do etanol. O vapor de alta pressão pode ser utilizado no acionamento de turbinas, as quais fornecem energia mecânica para picadores, desfibradores e ternos de moenda, processos que fazem parte dos sistemas de preparo da cana e de extração de caldo. Ou, o vapor de alta pressão pode ser utilizado na geração de energia elétrica, através de turbinas acopladas à geradores. Desta forma, o vapor é aproveitado como energia térmica, mecânica e elétrica, conseguindo suprir toda a demanda da indústria, como é mostrado na Figura 3 (Propeq, 2020).

Figura 3. Fluxograma de cogeração nas usinas



Fonte: CARDOSO (2011).

2.5. EQUIPAMENTOS

A seguir será apresentado os principais equipamentos utilizados na cogeração de energia.

2.5.1. Caldeiras

De acordo com Cyrino (2022) as caldeiras industriais são utilizadas em diversos segmentos como na indústria alimentícia, automotiva, em hospitais e em muitas outras áreas. Ela possui uma série de dispositivos que fazem parte desse processo de geração de vapor, como por exemplo: válvulas de segurança, economizadores, controladores de pressão, tratamento de água, e outros.

A função de uma caldeira industrial é o fornecimento eficiente de energia na forma de água quente ou vapor. Por definição presente na NR13, as caldeiras industriais a vapor “são equipamentos destinados a produzir e acumular vapor sob pressão superior à atmosférica, utilizando qualquer fonte de energia, projetados conforme códigos pertinentes, excetuando-se refervedores e similares”. Durante séculos as caldeiras foram utilizadas de várias formas, desde aquecer água ou produzir vapor. Elas são equipamentos conhecidos por sua eficiência energética e

produção massiva de calor que tem a capacidade de executar diversos processos, geram calor com a ajuda de uma fonte de combustível que em seguida é transferido para vários tubos que se conectam a turbinas, rotores, caixas de evaporação, cozedores e demais equipamentos industriais (Cyrino, 2022).

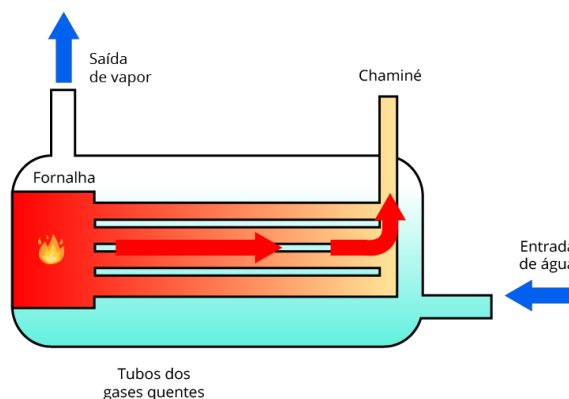
O funcionamento de uma caldeira se assemelha a um trocador de calor de tubos e carcaças, ou seja, tipo casco tubo, Gudjenian e Souza (2024) citou que os trocadores de calor de tubos desempenham um papel crucial na transferência eficiente de energia térmica entre dois ou mais fluidos em temperaturas diferentes. Esses aparelhos consistem em um conjunto de tubos, por onde um desses fluidos flui, e um compartimento maior, chamado casco, que cerca os tubos. O segundo fluido escoar pelo casco, de maneira que haja o máximo contato entre as superfícies do fluido e do tubo para a transferência eficaz de calor.

Nota-se a importância dessa tecnologia para o sistema de cogeração, se destacando como o principal equipamento de cogeração de energia no setor sucroalcooleiro, sendo utilizado como principal combustível o bagaço da cana-de-açúcar.

Tipos de Caldeiras

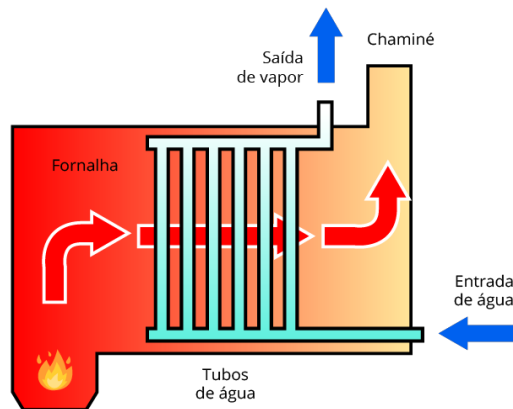
Será abordado as caldeiras do tipo Flamo Tubular e Aquatubular que são as mais utilizadas, porém há também a caldeira mista. Ainda conforme Cyrino (2022), a caldeira de tubo de fogo (flamo tubulares, Figura 4) são aquelas onde os gases quentes da combustão circulam dentro dos tubos que estão imersos na água.

Figura 4. Esquemático do fluxo de calor e água da Caldeira Flamo tubular



Já no processo da Caldeira de tubo de água (aquatubular, Figura 5) a água a ser aquecida é quem passa pelo interior dos tubos, que por sua parte, são envolvidos pelos gases da combustão.

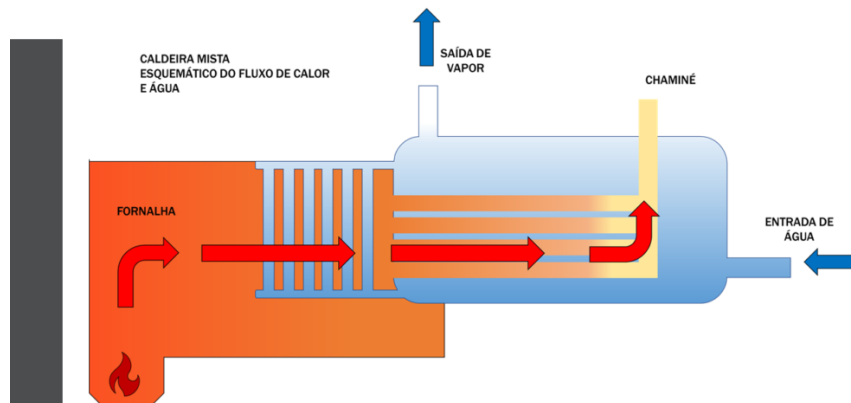
Figura 5. Esquemático do fluxo de calor e água da Caldeira aquatubular



Fonte: Traction (2022)

As caldeiras mistas como o próprio nome diz contém características híbridas, na fornalha passam os tubos de água e em seguida os gases de exaustão se direcionam para a parte flamo tubular através de tubos e conseqüentemente para a chaminé, conforme a Figura 6 (Togawa, 2020).

Figura 6. Esquemático do fluxo de calor e água na caldeira mista.



Fonte: Togawa (2020)

Tratamento de água das caldeiras

Santos (2017) citou que apesar da grande abundância e viabilidade econômica no uso da água para geração de vapor em caldeiras, essa substância quando captada em corpos hídricos subterrâneos ou de superfície apresenta diversos contaminantes indesejáveis ao processo e um deles é a significativa quantidade de sais minerais dissolvidos, estes que são os responsáveis por incrustações e perda de eficiência, acarretando também em um vapor de má qualidade, paradas para manutenções mais frequentes, desgaste precoce de componentes e acidentes de grandes proporções.

Devido a impossibilidade da obtenção de uma água isenta de contaminantes, é necessário que por intermédio de métodos de tratamento se alcance os valores mínimos de impurezas mediante os parâmetros de trabalho das caldeiras estabelecidos no projeto, tais como: pressão, temperatura, volume, demanda nominal de geração de vapor, entre outros (Santos, 2017).

As caldeiras aquatubulares, devido os níveis elevados de pressão e temperatura em que operam, necessitam de tratamentos mais severos, incluindo desaeração e tratamentos internos como fostatização e quelante. Já no caso das flamotubulares que trabalham em faixas de pressão mais baixas, em determinadas condições, um programa de tratamento de água mais simples, com retirada apenas da turbidez através da clarificação, pode ser adotado. Para isso, existem tecnologias de tratamento que devem ser cuidadosamente definidas mediante esses parâmetro e objetivos do sistema (Santos, 2017).

Os principais tratamentos feitos na água de alimentação da caldeira aquatubular, que são utilizados em algumas usinas:

Abrandamento – ou amolecimento da água, consiste na retirada total ou parcial dos íons de cálcio e magnésio, normalmente na forma de bicarbonatos, sulfatos e cloretos. Existem três processos de abrandamento, dois por precipitação, utilizando cal soldada a frio ou a quente e cal com fosfato, pouco utilizado, e um terceiro por troca iônica com resinas. São resinas catiônicas que trocam o Mg^+ por Ca^{+2} e Na^{+2} eliminando a possibilidade de incrustações. (Santos, 2017)

Osmose reversa – trata-se de uma técnica de filtração com o uso de membranas. Na osmose reversa, devido ao micro tamanho da porosidade da membrana, é possível remover íons – incluindo Ca^{+2} e Mg^{+2} responsáveis pela dureza da água,

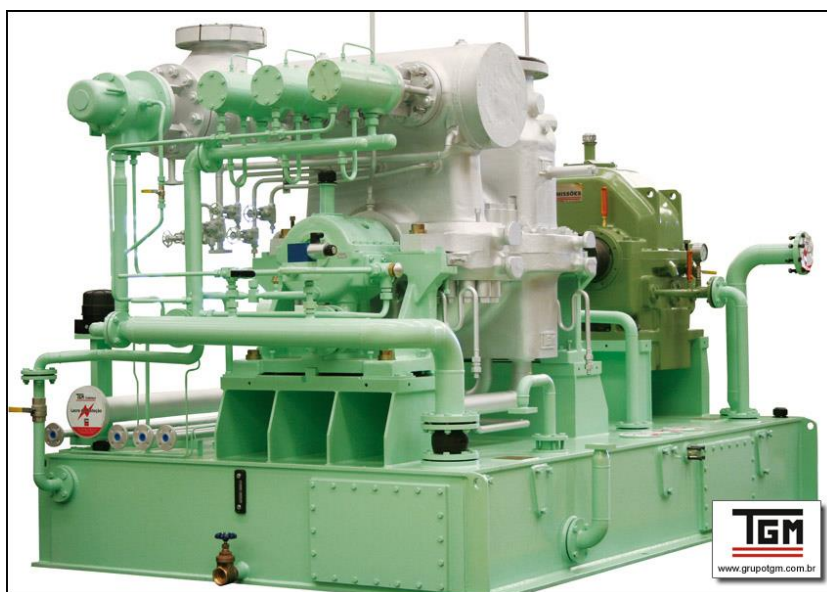
sais dissolvidos e praticamente toda matéria orgânica com peso molecular inferior a 200 g/mol. Com esse tratamento reduz-se a condutividade com a retirada dos íons e evita a formação de espuma com a remoção dos outros contaminantes, mitigando assim os riscos de arraste e retira a dureza evitando a formação de depósitos e incrustações nas superfícies metálicas para que não haja superaquecimento (Santos, 2017).

2.5.2. Turbina a vapor

Segundo Cittadino (2017), turbina a vapor são máquinas rotativas que convertem a energia térmica do vapor (entalpia) em energia mecânica de eixo para acionamentos, conforme a Figura 7. De acordo com a segunda lei da termodinâmica, para um ciclo térmico, somente parte da energia contida no vapor inserido na máquina pode ser convertido em trabalho, o restante da energia continua no vapor ou condensado que é encontrado na saída da turbina.

Inicialmente a energia do vapor é transformada em energia cinética, pois o vapor escoar através de pequenos orifícios, denominados expansores, aumentando a sua velocidade, e conseqüentemente diminuindo a sua entalpia, pressão e temperatura. Na segunda parte do processo, a energia cinética é transformada em trabalho mecânico através do princípio da ação e reação, no qual a força do vapor irá mover o expansor, conforme mostrado na Figura 7 (Cittadino, 2017).

Figura 7. Conjunto da turbina a vapor.



Fonte: Cittadino (2017).

2.5.3. Turbo Gerador (turbina acoplada a um gerador)

Conforme descrito por Monteiro (2023) o Turbo Gerador ou simplesmente TG, é o responsável por gerar energia elétrica a partir do vapor produzido nas caldeiras. Essa energia é utilizada para alimentar alguns equipamentos, instalações e sistemas da indústria, além de ser exportado todo o excedente para rede elétrica.

Ele é composto por duas partes principais: a turbina e o gerador. A turbina é movida pelo vapor que vem das caldeiras, enquanto o gerador transforma esse movimento em energia elétrica. O vapor entra na turbina com alta pressão e temperatura, fazendo com que as pás girem em alta velocidade. Essa rotação é transmitida ao gerador, que produz eletricidade (Monteiro, 2023).

Como mostrado na Figura 8, o Turbo gerador é um equipamento robusto e confiável, capaz de operar por longos períodos sem interrupção e pode ser dimensionado de acordo com a demanda de energia da instalação, sendo possível instalar vários TGs em paralelo para aumentar a capacidade de geração. Além disso, o TG é capaz de suportar variações na qualidade do vapor e na carga elétrica, garantindo estabilidade e segurança na operação (Monteiro, 2023).

Figura 8. Turbogenerador



Fonte: Próprio autor (2021)

2.6. VANTAGENS DA COGERAÇÃO DE ENERGIA

Segundo o site da Propeq (2020) a primeira vantagem da aplicação da cogeração é a diminuição do gasto energético que seria utilizado para aquecer as correntes necessárias para a produção de etanol, uma vez que antes haveria a necessidade da queima de outros combustíveis para essa operação.

Desse modo, além de representar uma grande redução de custo operacional, a cogeração na indústria sucroalcooleira também se mostra uma alternativa sustentável, uma vez que se trata de uma fonte renovável de energia. Isso significa que há um maior equilíbrio na emissão de gás carbônico (CO₂) quando relacionada à absorção dele pela cana-de-açúcar do próximo ciclo. Cria-se, assim, um ciclo sustentável, que reduz os impactos ambientais (Propeq, 2020).

Destaca-se também a rentabilidade que a cogeração pode gerar as usinas desse setor, uma vez que os custos podem ainda ser menores. Isso se deve ao excedente de energia gerado pelo vapor nas turbinas sendo vendido para a rede aberta. Isso, por sua vez, pode ser obtido por meio da negociação de seu fornecimento ou créditos de energia. Esses créditos são, então, descontados das contas de energia entre geradores e consumidores em diferentes localidades por meio do mercado livre de energia.

Outros diversos aspectos positivos descritos por Alcarde (2022):

- Atendimento da necessidade nacional de geração de energia elétrica a partir de novas fontes energéticas;
- Produção de energia elétrica com tecnologia totalmente limpa, de fonte renovável, que contribui para a preservação ambiental;
- Produção de energia elétrica, sobretudo na época de menor pluviosidade, que coincide com a safra sucroalcooleira;
- Inclusão de um novo agente de produção de energia elétrica, contribuindo, assim, para a consolidação do novo modelo de mercado competitivo;
- Ganho de competitividade no setor sucroalcooleiro mundial, uma vez que será agregado novo produto de receita estável a partir do melhor aproveitamento de um produto residual;

3. CONCLUSÃO

Em suma, a cogeração de energia nas usinas sucroalcooleiras, utilizando o bagaço da cana de açúcar, representa uma solução inovadora e sustentável dentro da matriz energética brasileira. Ao transformar um resíduo em uma fonte valiosa de energia, esse processo não só otimiza a utilização da matéria-prima, mas também contribui significativamente para a redução dos impactos ambientais associados à geração de eletricidade.

A eficiência das caldeiras, juntamente com o tratamento adequado da água de alimentação das mesmas, é crucial para garantir o funcionamento contínuo e seguro do sistema de cogeração. A conversão do vapor gerado em energia mecânica para as turbinas e, subsequentemente, em energia elétrica através dos turbo geradores, destaca a importância da tecnologia na maximização da produtividade das usinas.

Além disso, as vantagens econômicas e ambientais da cogeração são inegáveis: a redução de custos operacionais e a possibilidade de venda do excedente de energia não apenas beneficiam as indústrias sucroalcooleiras, mas também fortalecem a matriz energética renovável do Brasil. Portanto, a cogeração emerge como uma prática essencial para o futuro energético sustentável do país.

REFERÊNCIAS

ALCARDE, André Ricardo. Geração de energia elétrica. **Embrapa**, 2022. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cana/pos-producao/processamento-da-cana-de-acucar/geracao-de-energia-eletrica>>. Acesso em: 20 de agosto de 2023.

ALCARDE, André Ricardo; SILVA, Fabio Cesar. Outros produtos. **Embrapa**, 2025. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cana-de-acucar/pos-producao/processamento-da-cana-de-acucar/outros-produtos>> Acesso em: 08 de outubro de 2025

BRASIL. Ministério do Trabalho. NR 13 – Caldeiras, Vasos de Pressão, Tubulações e Tanques Metálicos de Armazenamento. **Portaria nº 1082**, de 18 de dezembro de 2018. Disponível em: <<https://www.normaslegais.com.br/legislacao/portaria-mtb-1082-2018-ret.htm>>. Acesso em: 15 de agosto de 2022

CARDOSO, Thiago F. **Cogeração através do Bagaço da cana-de-açúcar: revisão de literatura**, 2011. Disponível em: <<https://www.mta.ufscar.br/arquivos/publicacoes/sertaozinho-ii/monografia-tiago-fioricardoso.pdf>>. Acesso em 15 de junho de 2023.

CITTADINO, Giancarlo. **Otimização da malha de cogeração de energia em usina de açúcar e álcool**, 2017. Disponível em: < <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3139/tde-28062017-100209/publico/GiancarloCittadinoCorr17.pdf>>. Acesso em 27 de outubro de 2025.

Cogeração na indústria sucroalcooleira: entenda como funciona. **Propeq**, 2020. Disponível em: <<https://propeq.com/cogerao-na-industria-sucroalcooleira-entenda-como-funciona>>. Acesso em 19 de junho de 2023.

Conceito e Tecnologias. **Cogen**, [s.d.]. Disponível em: <<https://www.cogen.com.br/cogerao/conceito-e-tecnologias>>. Acesso em: 02 de junho de 2023.

CYRINO, Luis. Entenda o funcionamento das Caldeiras Industriais. **Tractian**, 2022. Disponível em: < <https://traction.com/blog/entenda-o-funcionamento-das-caldeiras-industriais>>. Acesso em: 19 de junho de 2023.

GOTTEMS, Leonardo. Brasil lidera cogeração de energia limpa. **Agrolink**, 2025. Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/noticias/brasil-lidera-cogeracao-de-energia-limpa_504246.html> . Acesso em: 06 de outubro de 2025.

GUDJENIAN, Caue; SOUZA, David Felix de; SOUZA, Julio Eiji Oishi Lucas Cairo de. **Trocadores de Calor (Shell and tube)**, 2024; Disponível em: <https://revistaft.com.br/trocadores-de-calor-shell-and-tube/>>. Acesso em 25 de outubro de 2025.

Matriz Energética e Elétrica. **Empresa de Pesquisa Energética**, 2022. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>. Acesso em: 28 de maio de 2023.

MONTEIRO, Thiago. “TG – O que é e como funciona um turbo gerador?”. **Dicionário do petróleo**, 2023. Disponível em: <<https://dicionariodopetroleo.com.br/turbo-gerador/>>. Acesso em: 27 de junho de 2023

PILON, Antoni; LUZ, Gillian da; DIAS, Logan Pilon; MADEIRA, Thais Marques; RAMPINELLI, Willian; TASSI Reginaldo; CITTADIN, Tales Alfredo. Sistema de cogeração de energia. **Revista técnico científica do IF-SC**, v3, n1, p474-482, 2012. Disponível em: < <https://ojs.ifsc.edu.br/index.php/rtc/article/view/631/445>> Acesso em 07 de outubro de 2025

SALES, Alice. “O que há por trás das usinas termelétricas?”. **Agência Eco Nordeste**, 2022. Disponível em: <<https://agenciaeconordeste.com.br/o-que-ha-por-tras-das-usinas-termeletricas/>>. Acesso em 08 de agosto de 2023.

SANTOS, Enock Jabes do Nascimento. **A importância do tratamento e cuidado com a água de caldeira**, 2017. Disponível em: <
<https://repositorio.ufersa.edu.br/server/api/core/bitstreams/bf261e6d-a00c-47fb-9be9-f48302aa3bca/content>>. Acesso em 11 de junho de 2025.

SANTOS, Moacyr L. dos; LIMA Omar J. de; NASSAR Eduardo J.; CIUFFI Katia J.; CALEFI Paulo S. **Estudo das condições de estocagem do bagaço de cana-de-açúcar por análise térmica**, 2011. Disponível em: <
<https://www.scielo.br/j/qn/a/sxZDXqHQFSpNds9s6gv3tnC/?format=html&lang=pt>>
Acesso em 14 de outubro de 2025.

TOGAWA, Victor. Os principais tipos de caldeiras. **Togawa engenharia**, 2020. Disponível em: < <https://togawaengenharia.com.br/blog/os-principais-tipos-de-caldeiras/>>. Acesso em 25 de outubro de 2025.

VILLARI, Bernardo. Cogeração de energia: conheça as vantagens da tecnologia e as tendências de mercado. **Engie**, 2021. Disponível em: <<https://blog-solucoes.engie.com.br/eficiencia-energetica/cogerao-de-energia/>>. Acesso em: 25 de maio 2023.