



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

VANESSA DA SILVA MAIA

**COGERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DA QUEIMA DO BAGAÇO DA CANA-DE-
AÇÚCAR**

**PENEDO, AL
2022**

VANESSA DA SILVA MAIA

COGERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DA QUEIMA DO BAGAÇO DA CANA-DE-
AÇÚCAR

Artigo científico 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): Simonise Figueiredo Amarante Cunha.

PENEDO, AL
2022



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

M217c

Maia, Vanessa da Silva.

Cogeração de energia a partir da queima do bagaço da cana-de-açúcar / Vanessa da Silva Maia. – 2022.

17f. ; il.

Orientação: Prof.^a Simonise Figueiredo Amarante Cunha.

Trabalho de Conclusão de Curso (Técnico de Nível Médio Integrado em Açúcar e Álcool) – Instituto Federal de Alagoas, Campus Penedo, Penedo, 2022.

Trabalho em formato digital.

1. Cana-de-açúcar – Bagaço. 2. Cogeração de energia. 3. Biomassa. I. Cunha, Simonise Figueiredo Amarante. II. Título.

CDD: 660.6

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

VANESSA DA SILVA MAIA

COGERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DA QUEIMA DO BAGAÇO DA CANA-DE-
AÇÚCAR

Artigo científico 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: 27/04/2022

BANCA EXAMINADORA

Simonise Figueiredo Amarante Cunha

Prof. M^a. Simonise Figueiredo Amarante Cunha
Instituto Federal de Alagoas - IFAL

MSRS

Prof. Dra. Martha Suzana Rodrigues dos Santos Rocha
Instituto Federal de Alagoas - IFAL

Ana Laura Oliveira de Sá Leitão

Prof. Ma. Ana Laura Oliveira de Sá Leitão
Instituto Federal de Alagoas – IFAL

COGERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DA QUEIMA DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR

ENERGY COGENERATION FROM THE BURNING OF SUGAR CANE BAGASSE

Vanessa da Silva Maia¹

RESUMO

Por possuir um elevado teor energético, o bagaço da cana-de-açúcar passou a ser altamente valorizado. Por inibir os gases de efeito estufa, essa biomassa tornou-se uma opção altamente viável em termos ambientais. O presente trabalho, objetivou-se compreender claramente o processo de produção de energia elétrica através da queima do bagaço da cana-de-açúcar nas caldeiras aquatubulares, mostrando-se como uma opção altamente viável e de total interesse para o nosso país, que ao passar dos anos vem a procurar sempre melhores alternativas para o aumento da produção de eletricidade. Assim como, contextualizar a partir de revisão de literatura, os benefícios dessa produção, já que a mesma pode ser considerada como uma fonte de energia renovável, tendo capacidade de reabastecimento de forma natural ao longo do tempo, sem possibilidade assim do seu.

Palavras-chave: Cana-de-açúcar; Bagaço; Cogeração; Energia; Queima.

ABSTRACT

Due to its high energy content, sugarcane bagasse became highly valued. The same became viable when dealing with the environment, by inhibiting greenhouse gases in their production. The present work aimed to clearly understand the process of electric energy production through the burning of sugarcane bagasse in water tube boilers, showing itself as a highly viable option and of total interest to our country, which at the same time. As the years go by, it is always looking for better alternatives to increase electricity production. As well as contextualizing from a literature review, the benefits of this production, since it can be considered as a source of renewable energy, having the ability to replenish naturally over time, without the possibility of depletion over time. of time.

Keywords: Sugar cane; Bagasse; Cogeneration; Energy; Burn.

¹ Vanessa da Silva Maia. Instituto Federal de Alagoas - Campus Penedo. E-mail: vsm2@aluno.ifal.edu.br.

1. INTRODUÇÃO

Para o progresso e desenvolvimento das nações mundiais o principal fator que permite tal advento é a energia, além do mais, sem a sua presença, grande parte de toda a evolução tecnológica, advinda nas últimas décadas, seria praticamente impossível. Nesse sentido, o uso da energia em nossas vidas é de total relevância, pois, é por meio da mesma que conseguimos adaptar seu uso em nossa rotina diária, desde a utilização de eletrodomésticos como na ativação de máquinas. No entanto, o que não se sabe é que a utilização de energia precisa ser estratégica, até porque são utilizados os mais diversos meios para a sua transformação, meios esses muitas vezes prejudiciais para a natureza e que resultam no esgotamento de suas reservas naturais (POLLIS & CRUZ, 2010).

Devido à preocupação mundial com os aumentos consideráveis dos níveis de emissão de poluentes, advindos do alto consumo de combustíveis fósseis, o Brasil tem buscado ampliar as diversas formas alternativas para a geração de energia elétrica, para além da fonte hidráulica, mostrando-nos a importância do papel das fontes de energia renováveis para a construção de um futuro energético mais saudável. Diante dessa realidade, novas fontes têm sido buscadas como forma não só de diversificar a matriz energética dos países ao redor do globo, mas também desenvolver alternativas que busquem uma redução dos impactos, principalmente de ordem ambiental, causados pela geração, distribuição e consumo de energia, sejam eles em grande ou pequena escala (POLLIS & CRUZ, 2010).

É nessa perspectiva que surge a discussão da viabilidade de implantação de energias consideradas renováveis, com destaque para aquelas que permitam um distúrbio cada vez menor ao meio ambiente e à sociedade como um todo. (FERREIRA, MAUAD & TRINDADE, 2017). A utilização do bagaço da cana-de-açúcar é apresentada como solução para esse cenário, pois sua composição contribui para a redução na taxa de liberação de gases responsáveis pelo efeito estufa, pois o dióxido que é liberado durante o processo de produção, acaba sendo utilizado pela vegetação na fotossíntese. Para o Brasil e para o mundo, a queima dessa biomassa para obtenção de energia seria uma solução mais que eficiente, sendo ela renovável, facilmente reposta e garantindo maior oportunidades de vagas no mercado de trabalho.

Este artigo tem por objetivo analisar a utilização do bagaço da cana-de-açúcar enquanto produto comercializável, tendo como foco a cogeração de energia elétrica nas caldeiras aquatubulares. Assim como, enfatizar suas vantagens em termos ambientais e econômicos, tendo em vista que o mesmo passou a ser de total interesse para as usinas sucroalcooleiras, pois vem a aumentar a receita da mesma, quando comercializado o excedente de energia.

2. O BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR

Uma das mais antigas culturas da humanidade, a cana-de-açúcar (Figura 1) está presente na economia brasileira desde o começo da colonização. Hoje em pleno século XXI podemos constatar sua grande importância para o crescimento econômico. No entanto, é grandes o volume de resíduos gerados e o uso de recursos naturais (principalmente de água) utilizados nos processos de uma usina de cana-de-açúcar (MARTINS & ROSA, 2013).

Figura 1: Cana-de-açúcar.



Fonte: BR Fértil 2017.

O mercado sucroalcooleiro vem apresentando um forte crescimento. Isso se reflete com o país sendo um dos maiores produtores de açúcar e o segundo maior produtor de etanol do mundo, fortemente influenciada pela difusão de carros bicompostíveis no país (TATONI, 2012).

Representando de 25% a 30% do peso da cana-de-açúcar, o bagaço (Figura 2) tem sido tradicionalmente aproveitado para gerar o calor utilizado na produção de açúcar e etanol (TATONI, 2012). Sendo ele o maior subproduto da cana-de-açúcar, podendo ser gerado cerca de 200 milhões de toneladas anualmente.

Figura 2: Bagaço da cana-de-açúcar.



Fonte: Agroceres Multimix.

O bagaço da cana-de-açúcar é gerado a partir do processo de moagem da cana, tendo como objetivo a extração do caldo da mesma. Nesse processo, a cana é moída por rolos trituradores (Figura 3), produzindo um líquido chamado melado. Cerca de 70% do produto correspondem ao caldo, enquanto os 30% da parte sólida se transforma em bagaço. Do melado, continua-se o processo de fabricação de açúcar e etanol, enquanto o bagaço pode ser utilizado na geração de energia na usina (NUNES, 2017).

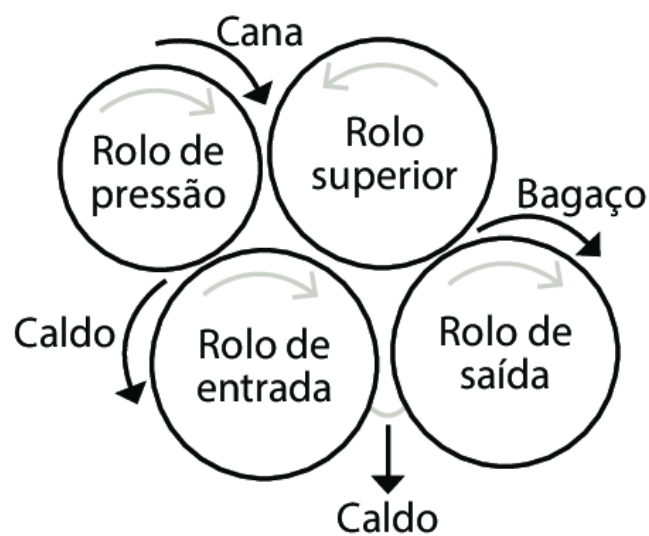
Figura 3: Extração do caldo por moenda.



Fonte: edisciplinas.

Durante a passagem do bagaço de uma moenda para outra, realiza-se a embebição, ou seja, a adição de água ou caldo diluído, com a finalidade de se aumentar a extração de sacarose. Os três cilindros que compõem a moenda são posicionados de forma triangular. Os cilindros inferiores trabalham rigidamente em suas posições, enquanto o superior trabalha sob o controle de uma pressão (Figura 4). As moendas são acionadas por turbinas a vapor (AGEITEC, 2016).

Figura 4: Esquema de funcionamento dos cilindros de moenda.



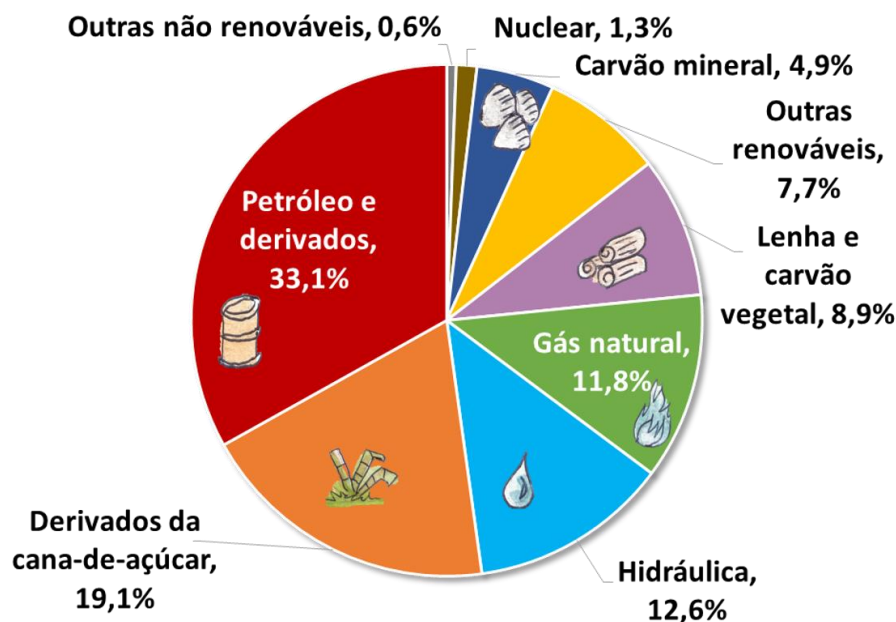
Fonte: Research Gate, 2015.

2.1. Cogeração de Energia Através do Bagaço de Cana-de-Açúcar

No Brasil a grande oferta de energia provém de duas principais fontes: combustíveis fósseis (petróleo e derivados) e a hidroeletricidade que gera 65,2 % da energia utilizada no país (EPE, 2015). Outra fonte de energia que vêm se destacando mundialmente como sendo uma das mais importantes fontes de energia renovável é a biomassa. Entende-se por biomassa toda matéria vegetal ou animal que pode ser reaproveitada como fonte de produção de calor ou eletricidade, como cana-de-açúcar, óleos vegetais, madeira, dejetos orgânicos e resíduos de indústrias alimentícias ou agrícolas (TEIXEIRA, 2010)

A matriz energética brasileira é uma das mais renováveis entre todos os países com as grandes economias mundiais, 48% da nossa matriz é renovável, ou seja, toda a energia produzida e consumida no Brasil é originária de fontes energéticas renováveis. A média mundial é de 14%, e se comparamos com os países mais desenvolvidos, por exemplo, essa participação é ainda menor totalizando em 11%. (Figura 5).

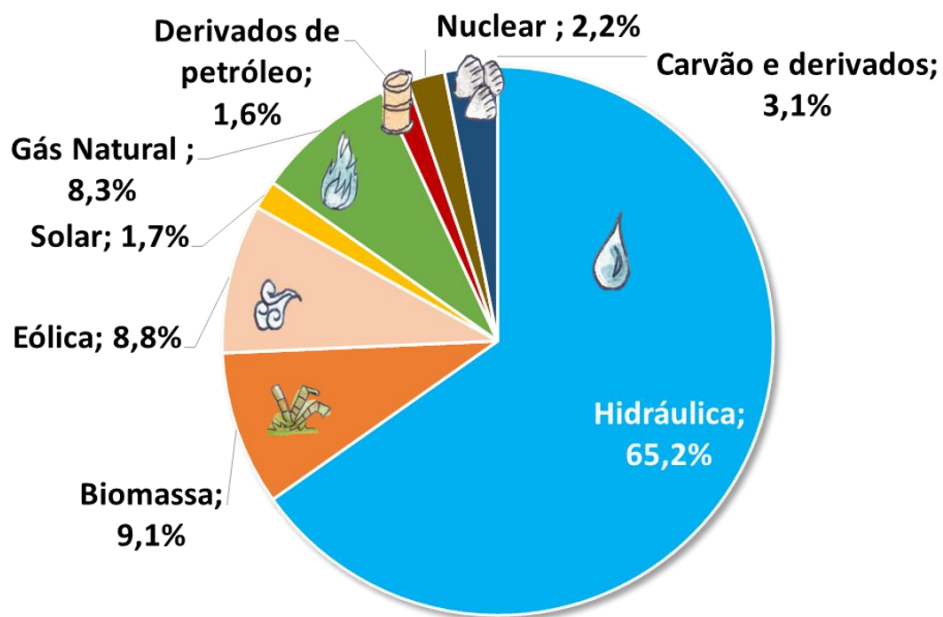
Figura 5: Matriz Energética Brasileira.



Fonte: BEN, 2021.

E ao analisar a matriz energética elétrica, teremos um número de renovabilidade ainda maior, na qual, terminamos o ano de 2020 com 85% da nossa matriz renovável, enquanto a média mundial é de apenas 28%, tornando o Brasil grande referência no cenário de transição energética para uma economia de baixo custo e baixa emissão de gases poluentes (Figura 6).

Figura 6: Matriz Elétrica Brasileira.



Fonte: BEN, 2021.

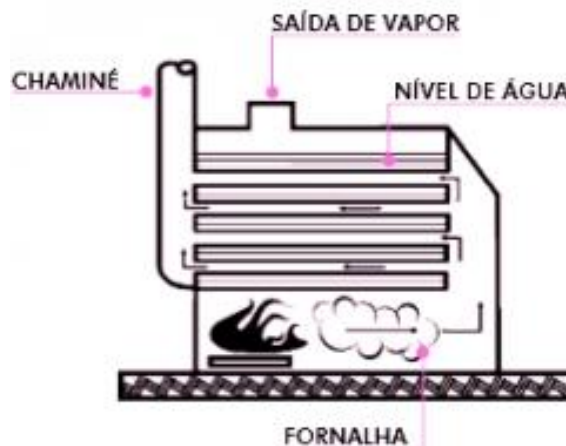
A cogeração não é um método novo no Brasil, ele vem sendo usado há muito tempo, como forma de suprir as atividades das usinas produtoras de álcool e açúcar, já que seu principal insumo é o bagaço proveniente do processamento da cana. O setor sucroenergético projeta um grande crescimento da demanda de açúcar e etanol, significando também em aumento do bagaço disponível para produção de energia (SANTOS & ZANCANER, 2013). Nos últimos anos, a biomassa passou a ser considerada uma alternativa para a diversificação da matriz energética mundial e consequente redução de combustíveis fósseis (ALVES, NASCIMENTO & SANTOS). Tendo o bagaço como uma das principais biomassas para a cogeração de energia, abaixo serão mencionadas todas as etapas do processo de cogeração de energia, a partir da queima do bagaço da cana-de-açúcar. O processo de geração de energia dentro das plantas das usinas de açúcar e álcool é baseado nos processos de

cogeração. Cogeração de energia é definida como a transformação de uma forma de energia em mais de uma forma de energia útil. Dentre as formas de energia úteis mais utilizadas estão a energia mecânica (movimentar máquinas, equipamentos e turbinas de geração de energia elétrica) e térmica (geração de vapor, frio ou calor) (REIS & KLUCK, 2015).

No tocante ao fator ambiental, desde a década de 1970 a preocupação com o efeito estufa, a escassez dos combustíveis fósseis e a importância de se tornar as fontes renováveis como matriz energética tem levantado discussões sobre desenvolvimento sustentável e o futuro do planeta. O conceito de desenvolvimento sustentável emerge na busca de se associar a eficiência econômica com a prudência ecológica (ALVES, NASCIMENTO & SANTOS)

O equipamento gerador de vapor é denominado caldeira. A caldeira nada mais é que um equipamento que transforma água em vapor, é formada por quatro partes principais: a chaminé, a fornalha, a câmara de água e a câmara de vapor (Figura 7). Os dois principais tipos de caldeiras são as flamotubulares e as aquatubulares, sendo a última o objeto de estudo desse trabalho (PARECY, 2021).

Figura 7: Principais partes de uma caldeira

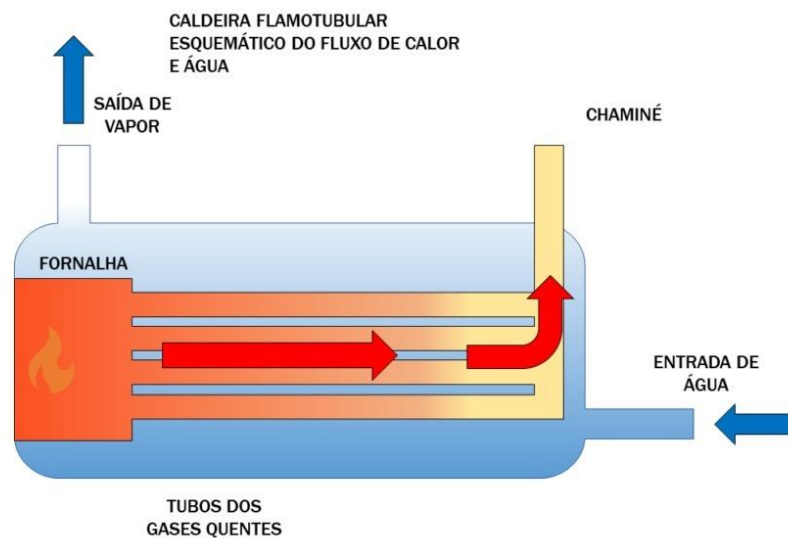


Fonte: DEQWIKI – UC, 2019.

2.2. Caldeiras Flamotubulares

De grande importância para a produção industrial, as caldeiras flamotubulares (Figura 8), são assim chamadas devido a forma como é realizado o processo de combustão: dentro de seus tubos circulam os gases que farão a combustão e em seu entorno a água que será aquecida. Esse tipo de caldeira suporta locais de baixa pressão, temperatura e demanda de vapor (MULTI ÁGUA, 2021).

Figura 8: Esquema de uma caldeira flamotubular.

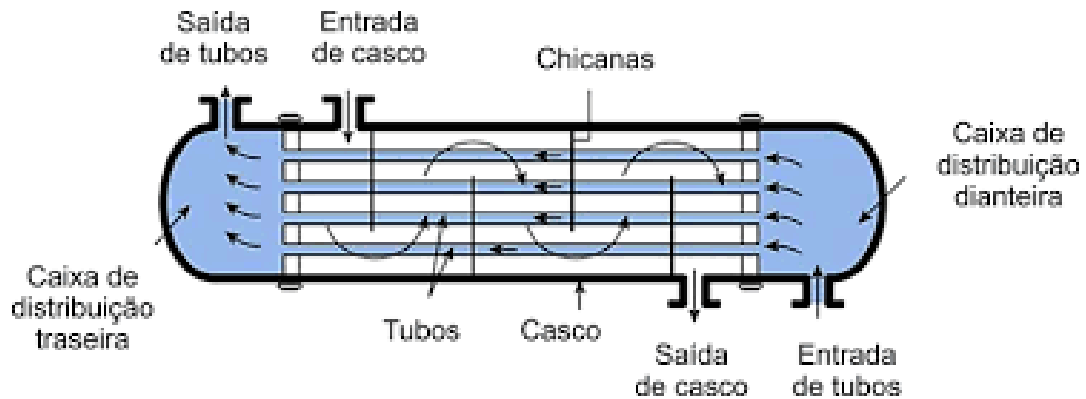


Fonte: TOGAWA ENGENHARIA, 2021.

2.3. Caldeiras Aquatubulares

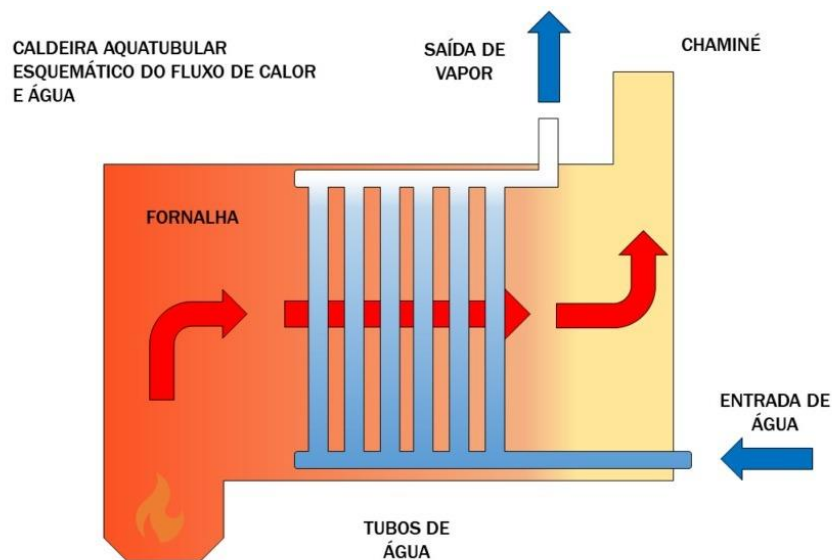
Nesse tipo de caldeira, a água que será transformada em vapor passa dentro das tubulações e a combustão dos gases ocorre em torno dos tubos, sendo esta a configuração de um trocador de calor do tipo casco tubos (figura 9). As caldeiras aquatubulares (Figura 10) suportam altas pressões e temperaturas e produzem grande quantidade de vapor, oferecendo maior eficiência na produção. Devido a essas características, esse tipo de caldeira é utilizado principalmente na geração de energia. Mas oferece a possibilidade de desenvolver projetos menores para utilização em processos industriais (MULTI ÁGUA, 2021).

Figura 9: Trocador de calor casco e tubo.



Fonte: PORTAL METÁLICA, 2002.

Figura 10: Esquema de uma caldeira aquatubular.



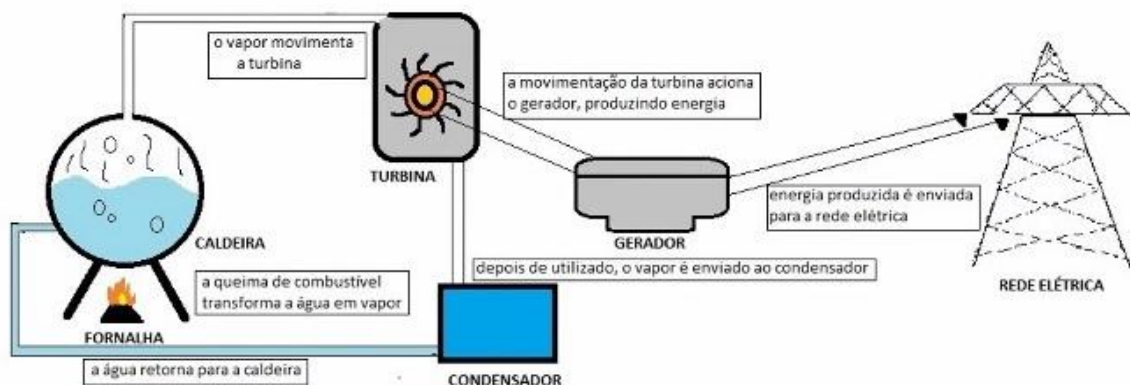
Fonte: TOGAWA ENGENHARIA, 2021.

O bagaço de cana vindo da moenda com umidade em torno de 50%, alimenta as fornalhas, e sua queima libera gases quentes, que têm a função de aquecer a água contida no feixe tubular e balões, formando vapor (LOPES, 2011). A caldeira gera energia térmica em forma de vapor d'água. Em uma turbina, essa energia térmica é transformada em energia mecânica, e no gerador, em energia elétrica (FOLHA DE SÃO PAULO, 2000). Ou seja, o bagaço da cana-de-açúcar é utilizado

como matéria-prima para a geração de energia elétrica quando queimado em caldeiras nas usinas (FOLHA DE SÃO PAULO, 2000).

A água contida no interior da caldeira, será superaquecida por uma fornalha, gerando assim a energia térmica em forma de vapor d'água. O vapor gerado, apresentará uma alta pressão. Isso significa que, as moléculas desse vapor d'água presente, se encontraram em uma alta velocidade. Essas moléculas de vapor, entrarão em contato com a turbina em forma de energia mecânica (energia cinética do movimento), fazendo o acionamento da mesma. A movimentação da turbina, acionará o gerador que fará com que a energia cinética do movimento da turbina, transforme em energia elétrica que será enviada para uma rede elétrica. A sobra de vapor será enviada para um condensador, ou seja, haverá um resfriamento nesse vapor, que fará com que o mesmo retorne seu estado físico inicial: líquido. Voltando assim, para a caldeira para seu reaproveitamento (Figura 11).

Figura 11: Esquema do processo produtivo de energia elétrica através do uso de vapor.



Fonte: BRUNO CASTILHOS FERNAMDES, 2020.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O bagaço da cana-de-açúcar que antes era desperdiçado, vem ganhando novos reconhecimentos ao longo dos anos, tornando-se hoje o maior subproduto da cana-de-açúcar a ser comercializável. Diante do cenário de aquecimento global, a humanidade vem a reconhecer a necessidade da diminuição dos Gases de Efeito Estufa provenientes da geração de energia elétrica por fontes não renováveis.

Visando os impactos ambientais não causados, a cogeração de energia elétrica advinda da queima da biomassa torna-se uma alternativa altamente viável em termos ambientais, uma vez que a energia (térmica, mecânica e elétrica) utilizada nas indústrias são provenientes da própria usina para a comercialização do excedente, fazendo com que a mesma preserve os recursos hídricos existentes e na diminuição das emissões de CO₂, pois essas são absorvidas pela fotossíntese.

Aumentando a receita das indústrias sucroalcooleira e a matriz energética brasileira, mas principalmente a elétrica, a cogeração de energia por queima de biomassa já vem sendo desenvolvida a muitos anos como forma autossuficientes para seu processo de produção. Por vez, também se torna viável ressaltar as implementações tecnológicas voltadas para as caldeiras, que atualmente possuem maiores níveis de pressão e temperatura no que auxilia numa maior produção de vapor para a cogeração de energia por queima de biomassa e ainda assim vender seus excedentes gerados.

A cogeração de energia a partir do bagaço da cana-de-açúcar, contribui para manter o Brasil como potência mundial ao tratar-se de energia renovável e sustentável, sendo essa fonte altamente importante não só para os aspectos ambientais, mas assim como os econômicos. No Brasil as fontes de energia mais utilizadas são as fontes renováveis, com grande destaque para a hidrelétrica, a grande base da nossa matriz energética.

REFERÊNCIAS

ALCARDE, André Ricardo *et al.* **Árvore do Conhecimento**: processamento da cana-de-açúcar. Processamento da cana-de-açúcar. 2016. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_102_22122006154841.html. Acesso em: 3 abr. 2022.

EPE. **Matriz Energética Elétrica**. 2015. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 22 mar. 2022.

FOLHA DE SÃO PAULO. **Saiba como o bagaço da cana vira energia**. 2000. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/fsp/ribeirao/ri0506200002.htm>. Acesso em: 4 abr. 2022.

LOPES, Claudio Hartkopf *et al* (org.). **Tecnologia de Produção de Açúcar da Cana**. São Carlos: Edufscar, 2011.

MAUND, Frederico Fábio *et al*. **Energia Renovável no Brasil**. 2017. 348 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Ambiental, Eesc/Usp, São Carlos, 2017. Disponível em: <http://www.livrosabertos.sibi.usp.br/portaldelivrosUSP/catalog/view/168/154/740>. Acesso em: 22 mar. 2022.

MULTIAGUA. **Diferenças entre caldeiras flamotubulares, aquatubulares e mistas**. 2021. Disponível em: <https://multiagua.com.br/geracao-de-vapor/diferencas-entre-caldeiras-flamotubulares-aquatubulares-e-mistas/>. Acesso em: 4 abr. 2022.

NUNES, Elis Fernando *et al*. **Cana-de-açúcar: produção de etanol e seus benefícios**. 2017. 29 f. Tese (Doutorado) - Curso de Curso Técnico em Agronegócios, Instituto Federal de Educação Ciências e Tecnologia de São Paulo Campus Barretos, Barretos, 2017. Disponível em: <https://brt.ifsp.edu.br/phocadownload/userupload/213354/IFMAN170005%20CANA%20DE%20ACAR%20A%20PRODUO%20DE%20ETANOL%20E%20SEUS%20BENEFICIOS.pdf>. Acesso em: 2 abr. 2022.

PALLIS, Jacob *et al*. **Um futuro com energia sustentável: iluminando o caminho**. São Paulo: Copyright Interacademy Council, 2010. 301 p. Disponível em: <https://fapesp.br/publicacoes/energia.pdf>. Acesso em: 6 abr. 2022.

PARECY, Ana Maria *et al*. **GERAÇÃO DE ENERGIA TERMOELÉTRICA ATRAVÉS DA INCINERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NA CIDADE DE GUARAPUAVA – PR**. 2021. 50 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campus Guarapuava, Guarapuava, 2021. Disponível em:

<http://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/26921/1/caldeiraresiduossolidosurbanos.pdf>.

Acesso em: 4 abr. 2022.

ROSA, Alessandra Silva da *et al.* **Produção mais limpa nas fontes geradoras de poluição da indústria de açúcar e álcool.** 2013. 37 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Oswaldo Cruz, São Paulo, 2013. Disponível em: <http://autores.revistarevinter.com.br/index.php?journal=toxicologia&page=article&op=view&path%5B%5D=154&path%5B%5D=370>. Acesso em: 21 mar. 2022.

SANTOS, Guilherme Henrique Fávero *et al.* **Biomassa como energia renovável no Brasil.** 2016. 8 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Elétrica, Centro Universitário Ingá (Uningá), Muringá, 2016. Disponível em: <http://revista.uninga.br/index.php/uningareviews/article/view/1966>. Acesso em: 26 mar. 2022.

SANTOS, J. P. dos *et al.* **GERAÇÃO DE ENERGIA (VAPOR) A PARTIR DA QUEIMA DE BIOMASSA (BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR).** 2017. 7 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Química, Unicamp, Campinas, 2017. Disponível em: <https://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/gerao-de-energia-vapor-a-partir-da-queima-de-biomassa-bagao-de-cana-de-acar-19621>. Acesso em: 3 abr. 2022.

TATONI, Walter Milan *et al.* **AVALIAÇÃO DE PROJETOS DE INVESTIMENTO EM COGERAÇÃO DE ENERGIA UTILIZANDO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR EM BIORREFINARIAS A PARTIR DO USO DA TEORIA DAS OPÇÕES REAIS.** 2012. 112 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agroenergia, Escola de Economia de São Paulo – Fgv-Eesp, São Paulo, 2012. Disponível em: <https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/9852/Tese%20-%20Walter%20Milan%20Tatoni%20-%20vfentregue%20-%202012-06-2012.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 20 mar. 2022.

ZANCANER, Mariana Garbarino *et al.* **Cogeração:** ampliação da oferta de energia elétrica com a biomassa (bagaço da cana-de-açúcar). 2013. 19 f. Monografia (Doutorado) - Curso de Administração, Fundação Armando Alvares Penteado, São

Paulo, 2013. Disponível em:

<https://revistas.brazcubas.br/index.php/dialogos/article/view/21/30>. Acesso em: 21 mar. 2022.