



POTENCIAL ENERGÉTICO DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR: CONTRIBUIÇÕES PARA A DIVERSIFICAÇÃO DA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA

Energy potential of sugarcane bagasse: contributions to the diversification of the Brazilian energy matrix

Potencial energético del bagazo de caña de azúcar: contribuciones a la diversificación de la matriz energética brasileña

Nayana de Almeida Santiago Nepomuceno ^{1*} & **Ana Karine Portela Vasconcelos** ²

^{1,2} Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, IFCE, Rede Nordeste de Ensino, RENOEN

¹ nayana.santiago@ifce.edu.br ² karine@ifce.edu.br

ARTIGO INFO.

Recebido: 30.04.2025

Aprovado: 31.05.2025

Disponibilizado: 21.07.2025

PALAVRAS-CHAVE: Cogeração; Bagaço da cana; Bioeletricidade.

KEYWORDS: Cogeneration; Sugarcane bagasse; Bioelectricity.

PALABRAS CLAVE: Cogeneración; Bagazo de caña; Bioelectricidad.

*Autor Correspondente: Nepomuceno, N. de A. S.

RESUMO

Este estudo teve como objetivo identificar os benefícios do uso do bagaço da cana-de-açúcar na cogeração de energia. A pesquisa foi conduzida por meio de uma Revisão Sistemática da Literatura, com base em um protocolo previamente definido, onde foram estabelecidas as palavras-chave “bagaço da cana” e “cogeração”, além de critérios de inclusão e exclusão. Após a triagem, seis artigos foram selecionados para análise detalhada, com o auxílio do software Start. Foram identificados benefícios econômicos e ambientais da cogeração a partir do bagaço da cana-de-açúcar, incluindo o reaproveitamento das cinzas geradas na queima do bagaço para aplicações na construção civil.

ABSTRACT

This study aimed to identify the benefits of using sugarcane bagasse in energy cogeneration. The research was conducted through a Systematic Literature Review, based on a previously defined protocol, which established the keywords "sugarcane bagasse" and "cogeneration," as well as inclusion and exclusion criteria. After screening, six articles were selected for detailed analysis using Start software. Economic and environmental benefits of cogeneration using sugarcane bagasse were identified, including the reuse of ash generated by burning bagasse for construction applications.

RESUMEN

Este estudio tuvo como objetivo identificar los beneficios del uso del bagazo de caña de azúcar en la cogeneración de energía. La investigación se realizó mediante una revisión sistemática de la literatura, basada en un protocolo previamente definido, que estableció las palabras clave "bagazo de caña de azúcar" y "cogeneración", así como los criterios de inclusión y exclusión. Tras la selección, se seleccionaron seis artículos para un análisis detallado mediante el software Start. Se identificaron los beneficios económicos y ambientales de la cogeneración con bagazo de caña de azúcar, incluyendo la reutilización de las cenizas generadas por la quema de bagazo para aplicaciones en la construcción.



INTRODUÇÃO

A energia está no cerne do desafio da sustentabilidade, pois seu uso está diretamente relacionado a questões ambientais e socioculturais. Com o avanço das tecnologias, a sociedade tornou-se cada vez mais dependente desse recurso, incorporando-o a um estilo de vida que exige consumo contínuo e crescente. A geração de energia baseada em recursos convencionais, como petróleo, gás natural e carvão mineral, tem causado impactos negativos, como emissão de poluentes e gases de efeito estufa, ameaçando a sustentabilidade (Santos et al., 2021).

De acordo com o Renewable Energy and Sustainability Report (REN21, 2023), as energias renováveis apresentam vantagens ambientais e sociais em relação aos combustíveis fósseis, configurando-se como fontes energéticas mais sustentáveis. O relatório destaca que a redução progressiva do uso de combustíveis fósseis e a substituição por fontes renováveis são essenciais para enfrentar a crise climática, a poluição e a perda da biodiversidade (REN21, 2023).

Em consonância com o REN21, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente - Centro Climático de Copenhague (UNEP-CCC, 2024) enfatiza a necessidade urgente da transição energética para o cumprimento dos compromissos climáticos globais. O acordo firmado na Conferência das Partes (COP28) estabeleceu metas ambiciosas, como triplicar a capacidade global de energia renovável e dobrar a taxa média anual de melhorias em eficiência energética até 2030. Nesse contexto, os países foram incentivados a revisar e ampliar a ambição de suas Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs) até 2025, visando limitar o aquecimento global e enfrentar a crise climática (UNEP-CCC, 2024).

No Brasil, a participação de fontes renováveis na matriz elétrica atingiu 88,2% em 2024 (EPE, 2025), favorecida pela ampla disponibilidade de recursos naturais. A geração de energia ocorre por meio de usinas que utilizam tanto fontes tradicionais quanto renováveis, com destaque para as hidrelétricas como principais produtoras de eletricidade.

Neste cenário de transição para fontes renováveis, destaca-se o potencial do bagaço da cana-de-açúcar como matéria-prima para a cogeração de energia. Assim, o presente estudo tem como objetivo identificar, por meio de revisão sistemática da literatura, pesquisas que abordam o uso do bagaço da cana-de-açúcar na cogeração de energia, bem como os benefícios decorrentes dessa prática.

VALORIZAÇÃO DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR NO BRASIL

A indústria sucroalcooleira é um setor de grande relevância econômica, mas também é responsável pela geração de diversos resíduos, como o bagaço, as cinzas e as folhas (Nunes et al., 2008). Por isso, sua sustentabilidade depende da realização de estudos que orientem práticas ambientalmente responsáveis e promovam o aproveitamento adequado desses subprodutos (Cortez et al., 2008).

Pesquisadores têm desenvolvido alternativas mais sustentáveis e economicamente viáveis para o reaproveitamento desses resíduos, como o uso de cinzas na produção de concreto e a utilização do bagaço da cana-de-açúcar na cogeração de energia (Azevedo et al., 2024; Bento et al., 2022; Braga et al., 2017; Casado & Barbosa, 2024; Dias et al., 2011; Nepomuceno, 2015).

No caso da cogeração, foco deste trabalho, o bagaço da cana-de-açúcar, subproduto da extração do caldo para produção de etanol, pode ser reaproveitado como combustível. Esse material é queimado em caldeiras, gerando calor que transforma a água em vapor. O vapor, por sua vez, movimenta uma turbina, cuja rotação converte a energia térmica em energia mecânica. Essa energia é então transferida a um gerador elétrico, que a transforma em eletricidade (Nepomuceno, 2015).

Esse processo está inserido em um sistema denominado ciclo termodinâmico, composto por quatro etapas principais: a caldeira, que aquece a água até sua vaporização; a turbina, que converte a energia do vapor em movimento; o condensador, que resfria o vapor após sua passagem pela turbina; e a bomba, que recircula a água para reiniciar o ciclo. Esse método de geração energética é conhecido como cogeração, pois permite o aproveitamento simultâneo do calor gerado na produção de etanol para também produzir eletricidade, aumentando a eficiência e a sustentabilidade do processo (Carvalho et al., 2019).

O Balanço Energético Nacional (BEN) reafirma a importância do bagaço da cana-de-açúcar para a cogeração de energia na matriz elétrica brasileira (EPE, 2025). Em 2023, a bioeletricidade representou 8,2% da geração elétrica nacional, sendo que 63,3% dessa parcela teve como fonte o bagaço da cana. Além disso, o consumo de bagaço no setor energético cresceu 11,3% em relação a 2022, impulsionado pelo aumento da produção de etanol. No setor industrial, esse crescimento foi ainda mais expressivo, atingindo 26,1%, acompanhando a elevação da produção de açúcar (EPE, 2025).

METODOLOGIA

Esta pesquisa seguiu os princípios de uma Revisão Sistemática da Literatura, baseada em um protocolo previamente definido, o qual contemplava, entre outros elementos, o objetivo do estudo, a pergunta norteadora, as bases de dados consultadas, bem como os critérios de inclusão e exclusão. A organização e condução do processo de revisão contou com o auxílio do *software State of the art through systematic review (Start)*, conforme as orientações metodológicas de Kitchenham (2004), Coutinho Junior et al. (2021) e Nepomuceno et al. (2024).

Com base no objetivo da investigação, a pergunta norteadora que guiou a revisão foi: “O bagaço da cana-de-açúcar tem sido utilizado para cogeração de energia? Quais são os seus benefícios?”.

O levantamento bibliográfico foi realizado entre os meses de janeiro e junho de 2025, utilizando as palavras-chave “bagaço da cana” e “cogeração” nas bases de dados Periódicos Capes, Scielo e Sciedirect.

A seleção inicial dos estudos baseou-se na análise dos títulos, resumos e palavras-chave dos artigos identificados. Os critérios de inclusão englobaram estudos publicados a partir de 2011 que tratassem do uso do bagaço da cana-de-açúcar na cogeração de energia, disponíveis nas bases previamente mencionadas, sem restrições quanto ao idioma. Os critérios de exclusão abrangeram artigos duplicados e aqueles que abordassem apenas um dos temas de forma isolada (bagaço da cana ou cogeração), sem estabelecer uma relação entre ambos. Na busca realizada na base de periódicos da Capes, foram aplicados os filtros de acesso aberto e revisão por pares, a fim de garantir maior rigor e confiabilidade na seleção.

As buscas nas bases Scielo e Sciencedirect, utilizando mesmos descritores, não houve resultado. Na Capes obteve-se 5 artigos e 1 dissertação, que atenderam integralmente aos critérios estabelecidos e foram selecionados para as etapas subsequentes (Quadro 1).

Quadro 1. Critérios de inclusão e exclusão dos estudos

Critérios de seleção dos estudos	
Artigos duplicados	Exclusão
Artigos somente sobre bagaço da cana ou cogeração	Exclusão
Trabalhos extraídos do Portal Capes, Scielo e Sciencedirect	Inclusão
Artigos publicados a partir de 2011	Inclusão
Artigos sobre bagaço da cana e cogeração	Inclusão

Fonte: Autores (2025).

Os metadados dos artigos selecionados, disponíveis na base de consulta, foram salvos no formato Research Information Systems (RIS), padrão amplamente utilizado para o intercâmbio de dados bibliográficos (Pradhan & Karmbe, 2020) e, posteriormente, importados para o *software* Start.

Na etapa seleção, realizada no próprio programa, fez-se leitura integral dos estudos e reaplicação dos critérios definidos no protocolo, sendo que todos 5 artigos permaneceram na análise. Em seguida, procedeu-se à extração dos dados, com foco na identificação dos benefícios associados ao uso do bagaço da cana-de-açúcar na cogeração de energia. Esses foram organizados em 4 categorias: solução sustentável para o resíduo bagaço; aproveitamento energético; ganhos ambientais e econômicos; e contribuição para uma matriz energética mais limpa.

Destaca-se que, além dos 5 artigos selecionados entre janeiro e junho de 2025, incluiu-se estudo de Nepomuceno (2015). Embora não tenha sido identificado nas buscas, por se tratar de uma dissertação e não artigo indexado, sua inclusão se justifica por tratar diretamente dos benefícios do uso do bagaço da cana-de-açúcar na cogeração de energia. Ademais, esse artigo constitui base conceitual e analítica que originou o presente estudo. Assim, busca-se aprofundar e atualizar a temática por meio de uma revisão sistemática da literatura.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a aplicação dos critérios metodológicos constituídos, selecionou-se 6 artigos que versam (direta ou indireta), dos benefícios oriundos do uso do bagaço da cana-de-açúcar na cogeração de energia. Ressalta-se que, além dos benefícios previamente definidos no protocolo de revisão, surgiram outras contribuições com a leitura e análise textual (Quadro 2).

Quadro 2. Títulos dos trabalhos, autores, ano de publicação e benefícios identificados

Título	Autor/Ano	Benefícios diretos e indiretos
Avaliação da eficiência energética nos processos de queima do bagaço da cana-de-açúcar em usinas sucroalcooleiras	Casado & Barbosa (2024)	Solução sustentável para o resíduo bagaço; Aproveitamento energético; Ganhos ambientais e econômicos;
Flexibilidade e incerteza em projetos de agronegócios: investindo numa planta de cogeração	Dias, et al. (2011)	Contribuição para uma matriz energética limpa.
Avaliação do desempenho ambiental, social e de governança das empresas sucroenergéticas em Mato Grosso do Sul	Azevedo, et al. (2024)	Solução sustentável para o resíduo bagaço; Aproveitamento energético; Ganhos ambientais e econômicos;
Valorização energética do bagaço da cana-de-açúcar: estudo de caso de uma usina sucroalcooleira no nordeste do Brasil	Nepomuceno (2015)	Contribuição para uma matriz energética limpa; Redução da emissão de gases de efeito estufa (GEE); Segurança energética.
Estudo da capacidade de proteção da cinza do bagaço da cana-de-açúcar, em relação à corrosão de armadura sob a ação de íons cloreto	Bento, et al., (2022)	Solução sustentável para o resíduo bagaço; Aproveitamento energético; Solução econômica e ambiental com melhorias para o concreto via adição de cinzas.
Análise das propriedades do concreto estrutural utilizando a cinza pesada do bagaço da cana-de-açúcar	Braga, et al. (2017)	

Fonte: Autores (2025).

De acordo com Casado e Barbosa (2024), a cogeração a partir da queima do bagaço representa uma solução sustentável para o excesso desse resíduo nas usinas, promovendo a autossuficiência energética ao gerar vapor e eletricidade para os próprios processos industriais. Além disso, o excedente de energia elétrica pode ser comercializado, contribuindo para a diversificação da matriz energética nacional e gerando uma fonte adicional de receita para as usinas.

Essa perspectiva está em consonância com o trabalho anterior de Dias et al. (2011), que analisou uma usina de açúcar e etanol no Brasil diante da possibilidade de expandir a produção e instalar uma unidade de cogeração baseada na queima do bagaço de cana-de-açúcar. Os autores concluíram que há um potencial econômico significativo no aproveitamento energético do bagaço, especialmente quando se considera a flexibilidade para escolher o momento ótimo para o investimento.

Complementando essa visão, Azevedo et al. (2024) ressaltam que o uso do bagaço na cogeração de energia elétrica permite a geração de energia excedente, redirecionada à rede pública, contribuindo para a diversificação da matriz energética e para a redução das emissões de gases de efeito estufa. Os autores destacam ainda que o setor sucroenergético de Mato Grosso do Sul, foco da pesquisa, tem se consolidado como um modelo de gestão sustentável nessa prática.

Nessa mesma direção, Nepomuceno (2015) realizou uma análise em uma destilaria localizada no Nordeste do Brasil, com o objetivo de avaliar a valorização do bagaço da cana-de-açúcar para a geração de energia elétrica. A pesquisa incluiu o estudo do fluxo de bagaço e da quantidade de energia gerada na destilaria, destacando que a modernização dos equipamentos foi essencial para tornar viável a venda de bioeletricidade. A autora também observa que, ao optar por comercializar eletricidade, a usina pode ser classificada como um empreendimento vinculado ao Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), o que possibilita a obtenção de benefícios tanto ambientais quanto econômicos adicionais.

Bento et al. (2022) também abordam o uso do bagaço na cogeração de energia, embora o foco principal do estudo seja os benefícios do reaproveitamento da cinza gerada nessa queima na construção civil. Entre as vantagens destacadas pelos autores estão a sustentabilidade tanto no setor da construção civil quanto no sucroalcooleiro.

Essa visão está alinhada ao estudo prévio de Braga et al. (2017), que investigou o uso da cinza pesada, resultante da cogeração de energia, na produção de concreto estrutural. Embora de forma indireta, o trabalho evidenciou os benefícios do aproveitamento do bagaço da cana-de-açúcar como fonte sustentável de eletricidade por meio da cogeração. Entre as vantagens destacam-se a redução do impacto ambiental, o aproveitamento energético do bagaço e, no caso das cinzas, a melhoria das propriedades mecânicas do concreto, promovendo práticas mais sustentáveis na construção civil (Figura 1).

Figura 1. Nuvem de palavras-chave dos trabalhos selecionados



Fonte: Autores - Software Start (2025).

Os estudos analisados apontam para múltiplos benefícios associados ao uso do bagaço da cana-de-açúcar na cogeração de energia, seja pela autossuficiência das usinas, pela comercialização do excedente energético ou pelo aproveitamento de subprodutos como as cinzas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A revisão sistemática realizada permitiu identificar que o uso do bagaço da cana-de-açúcar para cogeração de energia é uma prática sustentável, eficiente e economicamente viável. Os estudos analisados destacam benefícios como o aproveitamento energético de um resíduo abundante, a geração de eletricidade para uso interno nas usinas e a comercialização do excedente, além da contribuição para a diversificação da matriz energética e a redução das emissões de gases de efeito estufa. Esses achados reforçam o papel estratégico do bagaço da cana no setor sucroenergético brasileiro, sobretudo em um cenário de transição energética e busca por fontes mais limpas e renováveis.

REFERÊNCIAS

Bento, A. J., Santos, G. M., Ramos, D. J., Nogueira, M. F., Silva, R. D., & Siman, R. R. (2022). Estudo da capacidade de proteção da cinza do bagaço da cana-de-açúcar, em relação à corrosão de armadura sob a ação de íons cloreto. *Research, Society and*

Development, 11(8), e32711828923. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i8.28923>

Braga, L. S., Silva, G. C., Oliveira, J. F., & Pinto, T. R. (2017). Análise das propriedades do concreto estrutural utilizando a cinza pesada do bagaço da cana-

- Nepomuceno, N. de A. S. & Vasconcelos, A. K. P.
- de-açúcar. *Colloquium Exactarum*, 9(2), 1-14. <https://doi.org/10.5747/ce.2017.v09.n2.e189>
- Casado, L. D. & Barbosa, A. T. R. (2024). Avaliação da eficiência energética nos processos de queima do bagaço da cana-de-açúcar em usinas sucroalcooleiras. *The Journal of Engineering and Exact Sciences*, 10(2), 1-7. <https://doi.org/10.18540/jcecv10iss2pp16962>
- Cortez, L. A. B., Lora, E. E. S., & Ayarza, J. A. C. (2008). Biomassa no Brasil e no mundo. In L. A. B. Cortez, E. E. S. Lora, & E. O. Gómez (Orgs.), *Biomassa para energia* (pp. 15-29). *Editora da Unicamp*.
- Coutinho Júnior, A. L., Monteiro, J. A., Costa, D. F., & Sales, G. L. (2021). O ensino de física integrado à plataforma Arduino: uma revisão sistemática de literatura. *Educere Et Educare*, 16(40), 175-197. <https://doi.org/10.17648/educare.v16i40.26800>
- Dias, A. C. A. M., Lima, G. A. S. F., Araújo, T. R. S., & Souza, F. N. (2011). Flexibilidade e incerteza em projetos de agronegócios: investindo numa planta de cogeração. *Revista de Administração Mackenzie*, 12(4), 105-126. Recuperado de <https://www.scielo.br/j/ram/a/ZCqVJWDsyJddqD9hNJzT3WM/>
- Empresa de Pesquisa Energética. (2024). *Balanço energético nacional 2024: Síntese*. Recuperado de <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-819/topico-715/BEN%20S%C3%ADntese%202024%20PT.pdf>
- Filho Azevedo, P. L. de, Almeida, A. P. de, & Matias, R. (2024). Avaliação do desempenho ambiental, social e de governança das empresas sucroenergéticas em Mato Grosso do Sul. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, 18(11), 1-21. <https://doi.org/10.24857/rgsa.v18n11-135>
- Kitchenham, B. (2004). *Procedures for performing systematic reviews*. Keele University.
- Nepomuceno, N. A. S., Vasconcelos, A. K. P., Lopes, B. S., & Choé, O. F. C. (2024). Divers@!, 17, 490-503. <https://doi.org/10.5380/diver.v17i2.9707>
- Nepomuceno, N. A. S. (2015). Valorização energética do bagaço da cana-de-açúcar: Estudo de caso de uma usina sucroalcooleira no Nordeste do Brasil (Trabalho de Conclusão de Curso, *Instituto Federal do Ceará*).
- Nunes, I. H. S., Souza, L. M., Silva, T. J., & Oliveira, A. M. (2008). Estudo das características físicas e químicas da cinza do bagaço de cana-de-açúcar para uso na construção (pp. 39-48).
- Pradhan, S. S. & Karmbe, M. S. (2020). A comparative analysis of reference management software. *International Research Journal of Science & Engineering*, Special Issue A7. Recuperado de <http://www.irjse.in>
- REN21. (2023). *Renewables 2023 global status report*. Recuperado de https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/REN21-RESR-2023_LowRes.pdf
- Santos, R. M., Rodrigues, M. S., & Carnielo, M. F. (2021). Energia e sustentabilidade: panorama da matriz energética brasileira. *Revista Scientia*, 6(1), 13-33. <https://www.revistas.uneb.br/index.php/scientia>
- United Nations Environment Programme. (2024). *The climate technology progress report 2024*. Recuperado de <https://unepccc.org/wp-content/uploads/2025/01/the-climate-technology-progress-report-2024.pdf>