



**1º Encontro Interdisciplinar em Energia, Programa de Pós-graduação em Energia, Ufes**



**Cogeração e produção de bioeletricidade no setor sucroenergético**  
*Cogeneration and bioelectricity production in the sugar-energy sector*

Wilson J. Feroni<sup>1,2,\*</sup>, Itamar N. Silva<sup>1</sup>, Leandro R. Ramos<sup>1</sup>, Ozeas dos S. S. Souza<sup>1</sup>, Millena R. Alborghetti<sup>1</sup>, Rita C. Feroni<sup>3</sup>, Rochkhudson B. de Faria<sup>4,5</sup>

<sup>1</sup> Aluno do Programa de Pós-Graduação em Energia, Universidade Federal do Espírito Santo – Ufes, campus São Mateus, ES, Brasil

<sup>2</sup> Professor EBTT, do Instituto Federal de Educação do Espírito Santo – Ifes, campus Colatina, ES, Brasil

<sup>3</sup> Professora do Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Espírito Santo – Ufes, campus Goiabeiras, Vitória, ES, Brasil;

<sup>4</sup> Professor do Programa de Pós-Graduação em Energia, Universidade Federal do Espírito Santo – Ufes, campus São Mateus, ES, Brasil

<sup>5</sup> Professor do Departamento de Educação e Ciências Humanas – DECH, Universidade Federal do Espírito Santo – Ufes, campus São Mateus, ES, Brasil

\*Autor para correspondência, E-mail: wilson@ifes.edu.br

**Resumo:** A biomassa proveniente da cana-de-açúcar desempenha um papel relevante na matriz energética brasileira, oferecendo escala e flexibilidade energética. Neste contexto, o objetivo do presente estudo é analisar o setor sucroenergético brasileiro, com ênfase na cogeração e na produção de bioeletricidade a partir da cana-de-açúcar. A metodologia contemplou a busca de informações em órgãos governamentais e associações setoriais, além de estudos correlatos sobre o tema. Os resultados mostram que o setor sucroenergético brasileiro apresenta potencial para a geração de bioeletricidade com fatores que o impulsionam. Apesar disso, enfrenta desafios fazendo-se necessário políticas públicas, cooperação intersetorial e investimentos. Em 2023, foram exportados para o Sistema Interligado Nacional, 20,97 TWh, um volume suficiente para suprir aproximadamente 4% do consumo nacional de eletricidade, além de evitar a emissão de cerca de 4,3 milhões de toneladas CO<sub>2</sub>. A geração de bioeletricidade para a rede concentrou-se no período de seca, reforçando a segurança energética e reduzindo a dependência hídrica.

**Palavras-chave:** biomassa, bioeletricidade, sucroenergético, cogeração, cana-de-açúcar

**Abstract:** Biomass derived from sugarcane plays a significant role in Brazil's energy matrix, offering both scale and energy flexibility. In this context, the aim of the present study is to analyze the Brazilian sugar-energy sector, with a focus on cogeneration and bioelectricity production from sugarcane. The methodology involved gathering information from government agencies and sector associations, as well as related studies on the topic. The results show that the Brazilian sugar-energy sector has the potential for bioelectricity generation, driven by several key factors. However, it faces challenges that require public policies, intersectoral cooperation, and investments. In 2023, 20.97 TWh were exported to the National Interconnected System, a volume sufficient to meet approximately 4% of the national electricity consumption, in addition to preventing the emission of around 4.3 million tons of CO<sub>2</sub>. Bioelectricity generation for the grid was concentrated during the dry season, enhancing energy security and reducing water dependency.

**Keywords:** biomass, bioelectricity, sugar-energy, cogeneration, sugarcane

## 1 Introdução

O setor sucroenergético brasileiro, tradicionalmente associado à produção de açúcar e etanol, tem desempenhado um papel crucial na matriz energética brasileira. Desde o Decreto nº 19.717/1931 (Brasil, 1931), que determinou a adição de 5% de etanol anidro à gasolina e o uso obrigatório de uma mistura com 10% de etanol nos veículos da frota pública, a produção de etanol no Brasil tem contado com o apoio estatal. Por outro lado, a sua consolidação em escala industrial ocorreu apenas a partir de 1975, com a criação do Programa Nacional do Alcool (Proálcool), instituído pelo Decreto nº 76.593/1975 (Brasil, 1975), o qual impulsionou pesquisas em motores flex-fuel e resultou em um crescimento expressivo da produção de etanol, que passou de 11,8 milhões na safra 1985/1986 para 32,5 milhões de metros cúbicos na safra 2023/2024, fornecidos por 356 usinas dedicadas exclusivamente à cana-de-açúcar (ANP, 2025).

Visando cumprir as metas climáticas da 21ª Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (COP-21) realizada em 2015, e fortalecer a segurança no suprimento de combustíveis, o governo federal instituiu, em 2016, a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio), que remunera os produtores por meio da emissão de Créditos de Descarbonização (CBIOS), atrelados à eficiência ambiental (Gonçalves et al., 2023). Apesar disso, projeções indicam que a demanda interna atingirá 47,1 milhões de metros cúbicos em 2028, superando em 4% a capacidade produtiva estimada com base exclusivamente na cana-de-açúcar, o que mostra a necessidade de matérias-primas complementares, como o milho, para assegurar o abastecimento nacional (Gonçalves et al., 2023).

Embora a matriz elétrica brasileira seja composta por aproximadamente 89,2% de fontes renováveis, com predominância da geração hidrelétrica, a dependência dessa fonte torna o sistema vulnerável em momentos de ocorrência de secas severas (Altoé et al., 2025). Nesse contexto, o aproveitamento energético da cana-de-açúcar para a produção de eletricidade, especialmente por meio da cogeração a partir do bagaço e da palha, emerge como uma alternativa estratégica para diversificar a matriz e reforçar a segurança no suprimento elétrico (Cervi et al., 2019).

O complexo sucroenergético brasileiro revela grande relevância estratégica e ainda dispõe de ampla margem para expandir a oferta de bioeletricidade. De acordo com a União da Indústria de Cana-de-Açúcar (UNICA, 2024a), haviam em 2023, 345 usinas em atividade no País, com o valor bruto movimentado pela cadeia sucroenergética superior a US\$ 100 bilhões e um PIB setorial estimado em US\$ 40 bilhões, montante equivalente a cerca de 2% do PIB nacional. No ciclo que engloba o período de abril 2023 a março 2024, as exportações de açúcar e etanol geraram US\$ 19,8 bilhões em divisas, elevando o setor à terceira posição da pauta do agronegócio brasileiro, atrás apenas dos complexos da soja, das carnes e dos produtos florestais (UNICA, 2024a).

A cana-de-açúcar permanece como a maior fonte renovável do Brasil, respondendo por 15,4% da matriz energética total e por 33% da oferta interna de renováveis; esse desempenho garante ao País uma participação de 47,4% de energias limpas, bem acima da média mundial que é de 14,1%, adicionalmente, na safra 2023/24 foram moídas 716,4 Mt de cana, das quais 91,3% eram provenientes da região Centro-Sul (UNICA, 2024a; EPE, 2024). No plano da eletricidade, a geração a partir do bagaço de cana entregue ao Sistema Interligado Nacional atingiu 21 TWh em 2023, volume capaz de suprir cerca de 4% do consumo nacional e mitigar a pressão sobre os reservatórios hidrelétricos durante o período de seca (UNICA, 2024a).

A cogeração e a bioeletricidade convergem como vetores estratégicos do setor sucroenergético, embora ainda enfrentem desafios significativos de natureza logística, tecnológica e institucional. Do ponto de vista econômico-operacional, a alocação eficiente dos resíduos da cana-de-açúcar oscila entre a geração de bioeletricidade e a produção de etanol de segunda geração (2G). A bioeletricidade tende a ser mais competitiva em contextos de custos de produção reduzidos, enquanto o etanol 2G torna-se mais atrativo quando há queda no custo da biomassa, o que demanda uma gestão flexível e integrada dos subprodutos agroindustriais (Carpio e Souza, 2017). Modelos circulares que integram digestão anaeróbica, cogeração e coprodutos agrícolas ampliam o valor agregado da cadeia sucroenergética (Pavan et al., 2021). Como apontado por Silva et al. (2019), a adoção dessas soluções exige a constituição de parcerias interinstitucionais sólidas entre usinas sucroenergéticas, centros públicos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) e instâncias governamentais, como o Plano Conjunto do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) com o Apoio à Inovação Tecnológica Industrial nos Setores Sucroenergético e Sucroquímico (PAISS).

Neste contexto, o presente estudo tem como objetivo analisar o setor sucroenergético brasileiro, com ênfase na cogeração e na produção de bioeletricidade a partir da cana-de-açúcar.

2 Metodologia

A metodologia do presente trabalho contemplou a busca de informações em órgãos governamentais e associações setoriais como a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) e a União da Indústria de Cana-de-Açúcar (UNICA), além de estudos correlatos presentes na literatura científica, a partir do portal de periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). O setor sucroenergético brasileiro foi avaliado a partir da identificação, classificação e análise dos fatores que impulsionam ou inibem a cogeração e produção de bioeletricidade a partir da biomassa de cana-de-açúcar no Brasil.

Adicionalmente, para cada fonte documental selecionada, buscou-se informações sobre as variáveis, disponibilidade anual de biomassa, capacidade instalada de cogeração e volume de energia exportada à rede. Paralelamente, foram sistematizadas informações qualitativas associadas a políticas de incentivo, barreiras regulatórias, aspectos logísticos da biomassa, arranjos institucionais e modelos de negócio, bem como sua associação com aspectos de sustentabilidade ambiental.

3 Resultados e discussões

O setor sucroenergético brasileiro é marcado por fatores motivadores como, o aumento da demanda por etanol combustível a partir de veículos *flex-fuel* (Santos, 2023), aumento do preço do petróleo que estimula o desenvolvimento de fontes alternativas de energia (Bini, Canever e Demardim, 2015), o percentual de mistura obrigatória do etanol na gasolina no Brasil (Vital, 2023), produção de bioeletricidade a partir da queima do bagaço da cana de açúcar com a possibilidade de comercialização do excedente gerado (Sampaio *et al.*, 2013) e políticas estatais (Santos, 2024). Por outro lado, fatores como quedas do preço internacional do açúcar e do petróleo, o contingenciamento do preço interno de etanol hidratado, a diminuição dos recursos estatais, a baixa eficiência operacional e gerencial de algumas usinas, a baixa produtividade e os elevados custos gerais de produção agrícola e industriais, são alguns fatores que podem fragilizar as empresas do setor de sucroenergéticos (Santos, 2024).

Com maior destaque para a cogeração de bioeletricidade no setor sucroenergético brasileiro, o Quadro 1, mostra os principais impulsionadores e inibidores à essa expansão desse segmento. Nota-se que a cogeração canavieira é impulsionada por fatores internos, como baixo custo e uso de resíduos renováveis, e por fatores externos, como a crescente demanda elétrica e a intermitência hídrica. Contudo, enfrenta limitações relacionadas a custos de capital e operação para ganhos de eficiência, além da instabilidade do mercado de curto prazo, o que restringe novos investimentos mesmo com um marco regulatório favorável.

Quadro 1. Principais impulsionadores e inibidores à expansão da cogeração de bioeletricidade no setor sucroenergético brasileiro. Fonte: Adaptado de Silva et al. (2019).

Principais Impulsionadores e Inibidores		Categoria
Impulsionadores	Disponibilidade de biomassa (bagaço e palha)	Custo
	Crescente demanda de energia no Brasil	Externo
	Complementaridade sazonal (bioeletricidade × hidreletricidade)	Externo
	Matéria-prima renovável	Ambiental
	Substituição de termoeletricas fósseis	Externo
	Geração distribuída próxima aos centros de consumo	Externo
	Aumento da receita setorial	Custo
Inibidores	Investimentos em equipamentos mais eficientes	Custo
	Investimento em conexão à rede	Custo
	Competição com etanol de segunda geração	Organização

No contexto de expansão do setor, têm ganhado destaque os modelos de negócios baseados nos princípios da economia circular, voltados à integração de processos e à valorização energética e material dos resíduos no setor sucroenergético. Entre esses, destacam-se as propostas de Pavan et al. (2021), que articulam a cogeração de bioeletricidade com rotas complementares, notadamente a digestão anaeróbica, com o objetivo de converter resíduos em biogás e ampliar a oferta de coprodutos de maior valor agregado. Outras abordagens incluem o uso de microalgas no tratamento de efluentes agrícolas ricos em nitrogênio e fósforo, promovendo, de forma integrada, a geração de biodiesel e biogás (Rana et al., 2024). A materialização dessas sinergias, dependem de políticas de estímulo e de parcerias entre usinas, centros de P&D e governo, capazes de superar barreiras tecnológicas e acelerar a modernização das plantas, conforme

apontam Silva et al. (2019). Por outro lado, conforme destacado em Cervi et al. (2019), a densidade dos canaviais tem grande impacto nas operações agrícolas e consequentemente na logística de recuperação da palha.

A incorporação ambientalmente sustentável da palha poderia acrescentar entre 18,7 e 45,8 TWh/ano, volume capaz de suprir de 22 a 37% da demanda elétrica paulista ou substituir de 20 a 50% da geração fóssil nacional (Cervi et al., 2019). Em 2021 o parque gerador brasileiro ainda dependia de 55% de hidrelétricas, 15% de gás natural e 11% de fonte eólica, enquanto a bioeletricidade proveniente de biomassa sólida, segmento no qual o país dispõe de 16 GW instalados que correspondem a 8% da produção mundial, já respondeu por 8% da oferta interna (EIA, 2023). No mesmo ano, o Brasil concentrou 20% da produção global de biocombustíveis, evidenciando a sinergia entre a cadeia sucroenergética, a bioeletricidade e as metas de descarbonização; integrar a palha aos projetos de cogeração reforça assim a segurança energética e reduz a dependência hídrica (EIA, 2023). Com base na safra 2020/21 o potencial técnico de geração sucroenergética para a rede atingiu 151 TWh/ano, porém apenas 22,6 TWh/ano foram efetivamente ofertados em 2020, o que corresponde a 15% desse potencial (UNICA, 2024a).

Em 2023, o bagaço e a palha da cana-de-açúcar responderam por 20.973 GWh de bioeletricidade entregue ao Sistema Interligado Nacional, um crescimento de 14% face a 2022; esse volume correspondeu a 4% do consumo elétrico brasileiro, o suficiente para abastecer 10,8 milhões de residências, superando quase duas vezes a demanda anual do Uruguai, alcançando 42% da de Portugal ou um terço da Suíça (UNICAb, 2024). Em termos relativos, equivaliu a 25% da produção da usina hidrelétrica de Itaipu, 72% do Complexo Belo Monte e 115% da geração termelétrica a gás registrada no mesmo ano (UNICA, 2024b). Essa biomassa representou quase 75% da bioeletricidade injetada na rede e rendeu, em média, 29,3 kWh por tonelada de cana moída, desconsiderado o autoconsumo das usinas (UNICA, 2024b).

A Figura 1 mostra que a geração de bioeletricidade para a rede com bagaço/palha da cana-de-açúcar, de 2015 a 2023 (GWh), se concentra no período de maio a outubro, quando ocorre o período de estiagem e a diminuição dos níveis dos reservatórios das usinas hidrelétricas.

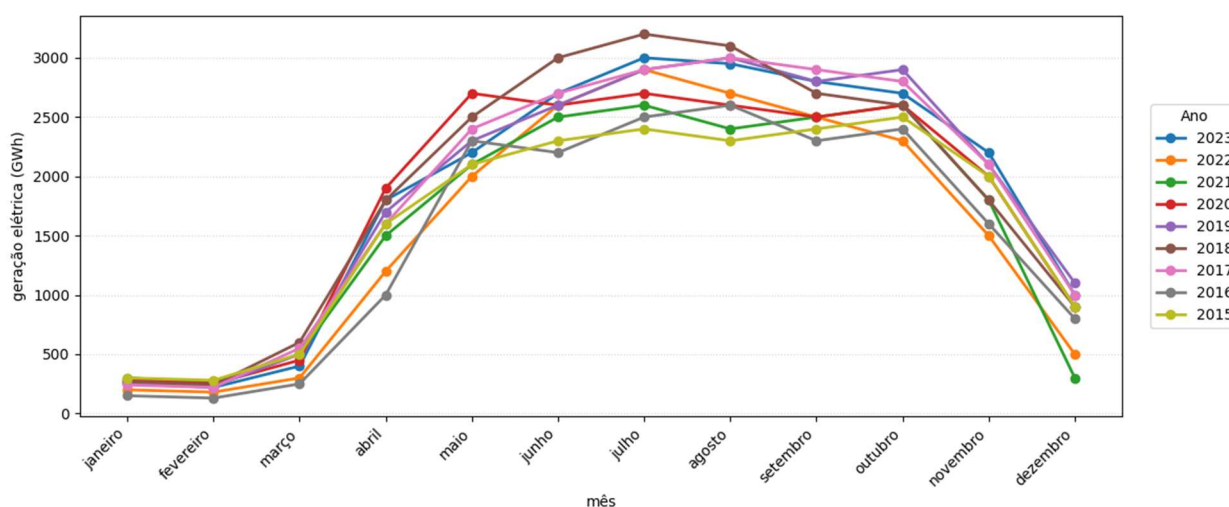


Figura 1. Geração de bioeletricidade para a rede com bagaço/palha da cana-de-açúcar entre 2015 a 2023 (GWh). Fonte: UNICA (2024b).

Em 2023, os principais geradores de bioeletricidade para a rede concentraram-se em seis estados do Centro-Sul: São Paulo liderou com 44,2% (12,45 TWh), seguido por Minas Gerais (12,8%), Mato Grosso do Sul (11,9%), Paraná (10,7%), Goiás (9,1%) e Mato Grosso (2,3%). A geração de bioeletricidade para a rede pelo estado de São Paulo foi equivalente a 16,5% de todo o consumo residencial ou a 12,9% do consumo industrial de energia elétrica na Região Sudeste em 2023, além de evitar a emissão de cerca de 4,3 Mt de CO<sub>2</sub> (UNICA, 2024b).

## 5 Conclusões

Os resultados evidenciam que a bioeletricidade proveniente do setor sucroenergético já se consolidou como pilar estratégico da matriz elétrica brasileira, combinando expansão da oferta com mitigação das emissões de gases de efeito estufa e podendo reforçar a segurança energética e reduzindo a dependência hídrica em períodos de seca. O incremento de 14% entre 2022 e 2023, totalizando 20,97 TWh, o equivalente a 4% do

consumo nacional de eletricidade, demonstra a robustez do aproveitamento de bagaço e palha, cuja produção concentra-se no período sazonalmente seco (maio-outubro) e contribui para a segurança de abastecimento hidrelétrico. Esse montante, suficiente para suprir 10,8 milhões de residências e evitar 4,3 Mt CO<sub>2</sub>, reforça o duplo papel da biomassa canavieira como fonte renovável e indutora de benefícios climáticos. Para a expansão do setor, destacam-se fatores impulsionadores como o aumento do preço de outras fontes de energia, políticas estatais, benefícios para o meio ambiente e a possibilidade de comercialização do excedente elétrico proveniente da queima do bagaço de cana. Por outro lado, o pleno aproveitamento do potencial do bagaço ainda requer políticas públicas, cooperação intersetorial e investimentos em modernização tecnológica.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à Ufes, ao Ifes e à Capes pelo apoio.

## Referências

- Altoé, L, Feroni, RC, Pereira Júnior, AAM, Lima, PR, Galvão, ES, e Feroni, WJ (2025), ‘Análise do cenário energético brasileiro no período 2014-2023’, *Revista Foco*, v. 18, n. 4, p. e8191-e8191. <https://doi.org/10.54751/revistafoco.v18n4-032>
- Bini, DA, Canever, MD e Denardim, AA (2015) ‘Correlação e causalidade entre os preços de commodities e energia’, *Nova Economia*, v. 25, n. 1, pp. 143-160. <https://doi.org/10.1590/0103-6351/1985>
- Brasil (1931) ‘Decreto nº 19.717, de 20 de fevereiro de 1931. Estabelece a aquisição obrigatória de álcool na proporção de 5 % da gasolina importada e dá outras providências’, *Diário Oficial da União*. <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1930-1939/decreto-19717-20-fevereiro-1931-518991-publicacaooriginal-1-pe.html> (Accessed 06 August 2025).
- Brasil (1975) ‘Decreto nº 76.593, de 14 de novembro de 1975. Institui o Programa Nacional do Alcool (Proálcool)’, *Diário Oficial da União*. <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1970-1979/decreto-76593-14-novembro-1975-425253-norma-pe.html> (Accessed 06 August 2025).
- Carpio, LGT e Souza, GMD (2017) ‘Optimal allocation of sugarcane bagasse for producing bioelectricity and second-generation ethanol in Brazil’, *Renewable Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.05.015>
- Cervi, WR et al. (2019) ‘Bioelectricity potential from ecologically available sugarcane straw in Brazil: a spatially explicit assessment’, *Biomass and Bioenergy*. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.02.001>
- CONAB (2025) ‘Safrá 2024/25 de cana-de-açúcar’. *Companhia Nacional de Abastecimento*, <https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safrá-de-cana-de-acucar/arquivos-boletins/4o-levantamento-safrá-2024-25/boletim-cana-de-acucar-4o-levantamento-2024-25> (Accessed 06 August 2025)
- EIA (2023) ‘Country Analysis Brief: Brazil’. *Energy Information Administration*, [https://www.eia.gov/international/content/analysis/countries\\_long/Brazil/pdf/brazil-2023.pdf](https://www.eia.gov/international/content/analysis/countries_long/Brazil/pdf/brazil-2023.pdf) (Accessed 29 July 2025)
- EPE (2024) ‘Balanço Energético Nacional 2024: ano base 2023 – Relatório Síntese’, *Empresa de Pesquisa Energética*. [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-819/topico-715/BEN\\_S%C3%ADntese\\_2024\\_PT.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-819/topico-715/BEN_S%C3%ADntese_2024_PT.pdf) (Accessed 06 August 2025)
- Gonçalves, FO; Perna, RF; Lopes, ES; Tovar, LP; Maciel Filho, R e Lopes, MS (2023) ‘Strategies to ensure fuel security in Brazil considering a forecast of ethanol production’, *Biomass*. <https://doi.org/10.3390/biomass3010001>
- Pavan, MdCO, Ramos, DS, Soares, MY e Carvalho, MMd, (2021) ‘Circular business models for bioelectricity: a value perspective for sugar-energy sector in Brazil’, *Journal of Cleaner Production*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127615>
- Rana, Qurrat Ul Ain; Latif, Saira; Perveen, Saleha; Haq, Abdul; Ali, Sidra; Irfan, Muhammad; Gauttam, Rahul; Shah, Tawaf Ali; Dawoud, Turki M.; Wondmie, Gezahign Fentahun; Bourhia, Mohammed;

- Badshah, Malik (2024) ‘Utilization of microalgae for agricultural runoff remediation and sustainable biofuel production through an integrated biorefinery approach’, *Bioresources and Bioprocessing*. <https://doi.org/10.1186/s40643-023-00720-w>
- Santos, H (2024) ‘O papel do Estado na expansão e na competitividade do setor sucroenergético no Brasil’, *Revista da ANPEGE*. <https://doi.org/10.5418/ra2024.v20i41.17613>
- Santos, HFD (2023) ‘Fatores de expansão do setor sucroenergético no Brasil no início do século XXI’, *Geografares*. <https://journals.openedition.org/geografares/8727> (Accessed 06 August 2025)
- Sampaio, RM, Veiga Filho, AA e Bonacelli, MBM (2013) ‘Sistemas de Inovação: a geração de bioeletricidade na agroindústria brasileira da cana-de-açúcar’, *Revista de Economia Agrícola*, v. 60, n. 2.
- Silva, DFDSE, Bomtempo, JV e Alves, FC (2019) ‘Innovation opportunities in the Brazilian sugar-energy sector’, *Journal of Cleaner Production*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.062>
- UNICAa (2024) ‘Fotografia do setor sucroenergético no Brasil e os benefícios econômicos, ambientais e sociais gerados’, *União da indústria de cana de açúcar*. <https://unicadata.com.br/arquivos/pdfs/2024/04/2bacb7cddca1cd1eef3511eab0106a46.pdf> (Accessed 30 July 2025)
- UNICAb (2024) ‘Bioeletricidade com biomassa da cana: boletim mensal’, *União da indústria de cana-de-açúcar e bioenergia*. <https://unicadata.com.br/arquivos/pdfs/2024/07/70094aec82c0fafeaae7a5d6d7982be9.pdf> (Accessed 06 August 2025)
- Vital, MF (2023) ‘Etanol’, *Caderno Setorial ETENE*. <https://www.bnb.gov.br/revista/cse/article/view/2636> (Accessed 06 August 2025)