

# ECONOMIA CIRCULAR NA PRODUÇÃO DE ETANOL NO BRASIL: OPERAÇÕES SUSTENTÁVEIS NA CANA-DE-AÇÚCAR E NO MILHO

## RESUMO

### Introdução

A produção de etanol consolidou o Brasil como referência mundial em biocombustíveis, pela liderança na cana e pela expansão do milho. Esse avanço ocorre em meio à busca global por energias renováveis que reduzam emissões e impactos ambientais (ANP, 2020; Machado & Denny, 2021). O desafio é alinhar operações aos princípios da economia circular, maximizando o aproveitamento de resíduos como bagaço, vinhaça e DDGS (Thierry Bonaudo et al., 2013; Donke, 2016; UNEM, 2024). Estudos mostram que práticas circulares geram ganhos ambientais, econômicos e regionais (Frehner et al., 2024).

### Problema de Pesquisa e Objetivo

O setor sucroenergético brasileiro enfrenta o desafio de alinhar crescimento produtivo aos princípios da economia circular, reduzindo passivos ambientais e ampliando a competitividade. Apesar dos avanços no uso de resíduos da cana e do milho, persistem gargalos logísticos, energéticos e contratuais que limitam a sustentabilidade (Donke, 2016; UNEM, 2024; Frehner et al., 2024). Assim, o problema central é compreender como a governança e o uso estratégico de coprodutos viabilizam a circularidade. O objetivo é analisar práticas já consolidadas, lacunas existentes e oportunidades de aprimoramento.

### Fundamentação Teórica

A economia circular propõe ciclos fechados de matéria e energia, ampliando ganhos ambientais e econômicos (Woldegebrail et al., 2019). No setor sucroenergético, integra-se ao modelo de Sistemas Integrados de Produção Agrícola, com uso do bagaço e vinhaça na cana (Nunes, 2017; IMEA, 2025) e de DDGS e óleo no milho (Donke, 2016; UNEM, 2024). Estudos mostram que tais práticas diversificam receitas e reduzem passivos ambientais (Frehner et al., 2024). A governança, por contratos relacionais, é central para reduzir riscos e consolidar práticas sustentáveis (Williamson, 2012; Zylbersztajn, 2005).

### Metodologia

Este estudo é exploratório e qualitativo, baseado em revisão bibliográfica e análise documental de artigos e relatórios da UNICA, UNEM, CONAB e Embrapa. A coleta de dados secundários seguiu análise de conteúdo (Lima & Mioto, 2007), identificando padrões de reaproveitamento de resíduos e estratégias de integração. O método dedutivo relacionou teorias de governança e economia circular às evidências das cadeias de etanol de cana e milho (Yin, 2003).

### Análise e Discussão dos Resultados

Desde o Proálcool, o Brasil consolidou-se no etanol de cana, enquanto o milho ampliou sua relevância por aproveitar excedentes e diversificar a matriz energética (ANP, 2020; Sampaio & Assis, 2024; Buckeridge, 2023). A cana apresenta maior consolidação circular com bagaço, palha e vinhaça (Nunes, 2017; IMEA, 2025), enquanto o milho destaca DDGS, óleo e vinhaça como vetores de integração agroindustrial (Donke, 2016; UNEM, 2024). Estudos mostram que práticas circulares ampliam receitas, reduzem passivos ambientais e fortalecem o desenvolvimento regional (Frehner et al., 2024).

### Considerações Finais

O etanol de cana apresenta práticas circulares consolidadas, como cogeração de bioeletricidade a partir do bagaço e fertirrigação com vinhaça, enquanto o milho revela elevado potencial de diversificação via DDGS e óleo, ainda limitado por gargalos energéticos e logísticos (Donke, 2016; UNEM, 2024). A sustentabilidade das operações exige governança eficiente, adoção de tecnologias limpas e integração produtiva (Williamson, 2012; Zylbersztajn, 2005). Usinas que estruturam circularidade aumentam eficiência, competitividade e reforçam o desenvolvimento socioambiental (Frehner et al., 2024).

### Referências

<https://x.gd/diXjD>; <https://x.gd/h4a2D>; (Donke, 2016) Avaliação De Desempenho Ambiental E Energético Da Produção De Etanol De Cana, Milho E Sorgo Em Uma Unidade Integrada; (Frehner, et al, 2024) Agroindústria Canavieira E A Economia Circular: Um Estudo De Caso Na Usina De Bandeirantes; <https://x.gd/QKGge>; <https://x.gd/0kWbo>; (Machado & Denny, 2021) Etanol A Energia Renovável Para Mover O Desenvolvimento Sustentável Global; <https://x.gd/2Fjf4>; <https://x.gd/n0Uni>; <https://x.gd/0i5aa>; <https://x.gd/L8bXO>; <https://x.gd/dy6MS>; (Williamson, 2012) As Instituições Econômicas Do Capitalismo; (Yin, 2003) Case Study Research Design and Methods; <https://x.gd/YpbxK>

**Palavras-Chave:** Economia circular / Biocombustíveis sustentáveis / Governança agroindustrial