



A EVOLUÇÃO DO SETOR SUCROENERGÉTICO NO BRASIL PÓS *FLEX-FUEL* (2003-2025): CONDICIONANTES E PERSPECTIVAS

Natalia Guzella Perin¹
Wellington Francisco Bescorovaine²
Alondra Aurelia Palma Fernández³
Pery Francisco Assis Shikida⁴

Resumo: Este artigo analisa as transformações estruturais do setor sucroenergético entre 2003 e 2025. O objetivo é identificar os fatores econômicos e institucionais que moldaram a trajetória da atividade após a introdução dos veículos *flex-fuel*. A metodologia adota abordagem qualitativa e explicativa, com o uso do método histórico-dedutivo e levantamento de dados secundários da CONAB, ANFAVEA e UNICA. O tratamento estatístico e a organização das séries históricas ocorreram na linguagem R. Os resultados demonstram que a tecnologia de combustíveis flexíveis se estabilizou em patamares superiores a 80% dos licenciamentos nacionais, o que garantiu segurança de demanda e elevou o piso produtivo de etanol para mais de 30 bilhões de litros anuais. Observa-se uma reconfiguração geográfica em direção ao Centro-Oeste, impulsionada pela ascensão do milho como matéria-prima complementar, o que reduziu a ociosidade industrial e gerou coprodutos relevantes para a nutrição animal. A análise evidencia a resiliência da oferta de biocombustíveis frente às oscilações no mercado de veículos novos e à volatilidade dos preços internacionais do açúcar. Conclui-se que marcos regulatórios como o RenovaBio consolidaram o combustível renovável como ativo estratégico na agenda climática global.

Palavras-chave: Agroindústria; biocombustíveis; Renovabio; segurança alimentar; descarbonização.

THE EVOLUTION OF BRAZIL'S SUGARENERGY SECTOR IN THE POST *FLEX-FUEL* ERA (2003-2025): DRIVERS AND PROSPECTS

Abstract: This article analyzes the structural transformations of the sugar-energy sector between 2003 and 2025. The objective is to identify the economic and institutional factors that have shaped the trajectory of the sector following the introduction of flex-fuel vehicles. The methodology adopts a qualitative and explanatory approach, using the historical-deductive method and secondary data from CONAB, ANFAVEA, and UNICA. Statistical analysis and the organization of time series were conducted using the R programming language. The results show that flex-fuel technology has stabilized at levels above 80% of national vehicle registrations, ensuring demand security and raising the production floor of ethanol to more than 30 billion liters annually. A geographic reconfiguration toward the Center-West region is observed, driven by the rise of corn as a complementary feedstock, which has reduced industrial idle capacity and generated relevant co-products for animal nutrition. The analysis highlights the resilience of biofuel supply in the face of fluctuations in the new vehicle market and the

¹ Doutoranda em Desenvolvimento Regional e Agronegócio pelo PGDRA da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE). Bolsista Capes. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4174-8846>. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/4666751710471342>. E-mail: nataliagp@live.com.

² Doutorando em Desenvolvimento Regional e Agronegócio pelo PGDRA da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE). Bolsista Capes. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8569-742X>. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1787848869594549>. E-mail: wellingtonbescorovaine@gmail.com.

³ Doutoranda em Desenvolvimento Regional e Agronegócio pelo PGDRA da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE). Bolsista Capes. ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-8307-0283>. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6821089582714656>. E-mail: alondrapalma@gmail.com.

⁴ Pós-doutor pela Fundação Getúlio Vargas (FGV-SP), Doutor em Economia Aplicada e Mestre em Economia Agrária pela Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/Universidade de São Paulo, Economista pela Universidade Federal de Minas Gerais. Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq desde 2003. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9621-1520>. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1740467499247374>. E-mail: pery.shikida@unioeste.br



volatility of international sugar prices. It is concluded that regulatory frameworks such as RenovaBio have consolidated renewable fuel as a strategic asset in the global climate agenda.

Keywords: Agroindustry; biofuels; RenovaBio; food security; decarbonization.

1 Introdução

O setor sucroenergético brasileiro ocupa posição estratégica no mercado global de açúcar e biocombustíveis. O País consolidou-se como o maior exportador mundial de açúcar e um dos principais produtores de etanol, impulsionado por condições naturais favoráveis, alta produtividade agrícola e avanços tecnológicos. A produção de cana-de-açúcar é a base desse sistema agroindustrial, que integra atividades agrícolas, industriais e energéticas. Ele representa um forte desempenho na economia nacional e no comércio internacional de etanol, açúcar e energia (Neves; Conejero, 2007; Vian, 2015; Shikida, 2025).

Além de sua importância econômica, a cana-de-açúcar desempenha papel central na matriz energética brasileira desde a implementação do Programa Nacional do Álcool (Proálcool) em 1975, criado em resposta à crise internacional do petróleo e com o objetivo de reduzir a dependência de combustíveis fósseis importados. O Programa impulsionou a expansão da produção de etanol combustível e fomentou o desenvolvimento tecnológico da cadeia sucroenergética, lançando as bases para a consolidação do Brasil como líder mundial na produção de etanol de cana-de-açúcar (Tonelli *et al.*, 2025).

A introdução dos veículos *flex-fuel* em 2003 impulsionou o consumo doméstico de etanol e fortaleceu a integração entre agricultura, indústria e setor energético. Além da expansão tecnológica proporcionada pelos veículos *flex*, o Brasil vivencia uma nova revolução bioenergética com o rápido crescimento do etanol de milho. Essa nova integração produtiva permitiu que as destilarias operassem ao longo do ano e introduziu a geração de coprodutos de alto valor agregado para nutrição animal (Neves, 2021; Vidal, 2024).

Contudo, essa expansão vigorosa das culturas energéticas reacende o debate global sobre segurança alimentar, frequentemente enquadrado na premissa da competição entre alimentos e combustíveis. Diante dessa controvérsia, a experiência latino-americana, especialmente os paradigmas adotados pelo Brasil, oferece evidências empíricas que desconstruem essa dicotomia (Justus *et al.*, 2025).

Neste sentido, este artigo analisa como evoluiu o setor sucroenergético brasileiro no período pós *flex-fuel* (2003-2025) e quais fatores condicionaram essa trajetória. Ele examina as principais transformações estruturais e os fatores econômicos e institucionais que as influenciaram. Além disso, discute os desafios relacionados à diversificação da produção de



biocombustíveis e as implicações do debate alimento *versus* energia para a segurança alimentar.

Para alcançar tais objetivos, o estudo examina a trajetória da produção de etanol, a produção de cana-de-açúcar e a alocação da matéria-prima entre açúcar e etanol entre 2003 e 2025. O artigo está organizado em cinco seções: esta introdução, seguida por uma revisão da literatura sobre o setor sucroenergético e o debate sobre biocombustíveis e segurança alimentar. A terceira seção descreve os métodos utilizados, enquanto a quarta seção compreende os resultados e discussão. A quinta seção apresenta as considerações finais.

2 Referencial teórico

O setor sucroenergético brasileiro, já consolidado como uma referência mundial por meio do cultivo da cana-de-açúcar, passou por uma evolução rumo à diversificação e otimização de sua base produtiva. Para superar o desafio da sazonalidade e a ociosidade industrial durante a entressafra canavieira, o setor buscou, a partir de 2012 no Mato Grosso, a integração estratégica com o milho como matéria-prima complementar (Freitas; Miura, 2018).

Essa trajetória permitiu a transição do modelo tradicional para a coexistência de usinas *flex* (que processam cana e milho) e unidades *full* (dedicadas exclusivamente aos grãos), aproveitando excedentes de produção e a infraestrutura já instalada. Atualmente, essa evolução expande-se para novas fronteiras, como o Nordeste, e é sustentada por marcos regulatórios como o RenovaBio, consolidando o etanol de milho como um aliado para a segurança energética e a descarbonização dessa matriz (Neves, 2021; Milanez *et al.*, 2014; Vidal, 2024).

No Brasil, o etanol e os motores *flex-fuel* exercem um papel singular na transição energética, funcionando tanto como uma tecnologia de transição quanto como um diferencial competitivo que molda o ritmo de adoção de veículos puramente elétricos. Diferente de muitos países desenvolvidos que buscam uma mudança abrupta para veículos elétricos a bateria, o Brasil aposta nos veículos híbridos *flex* como uma transição menos abrupta, afinal, o etanol é considerado uma fonte de energia limpa e renovável (Souza; Hiroi, 2021; Vidal, 2024).

Assim, no caso brasileiro, a cadeia produtiva de biocombustíveis e a tecnologia *flex-fuel* criam um cenário onde a necessidade imediata de carros elétricos não é percebida da mesma forma que na Europa ou Ásia. Enquanto os veículos elétricos ainda enfrentam entraves como preços elevados e falta de infraestrutura de recarga, os carros *flex* são acessíveis e possuem uma rede de distribuição de postos instalada. Por isso, os motores *flex* e o etanol permitem que o Brasil realize uma transição energética gradual, utilizando uma fonte renovável já integrada à sua economia para complementar a eletrificação, em vez de depender exclusivamente da substituição total da frota por veículos elétricos (Gonçalves, 2017).

Nessa perspectiva, alguns autores argumentam que a expansão da bioenergia poderia



gerar competição pelo uso da terra e por recursos produtivos estratégicos. No entanto, pesquisas recentes sugerem que essa relação não implica necessariamente competição direta entre os dois usos (Justus *et al.*, 2025). No caso brasileiro, a alta produtividade agrícola, a disponibilidade de pastagens degradadas adequadas para recuperação e a integração das cadeias produtivas têm permitido a expansão do setor de bioenergia sem comprometer a produção de alimentos (União da Indústria de Cana-de-Açúcar e Bioenergia – UNICA, 2025; Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB, 2025a). Além disso, o aumento da produção de etanol de milho tem gerado subprodutos de alto valor nutricional, amplamente utilizados na nutrição animal, o que fortalece a ligação entre os sistemas energético e alimentar (CONAB, 2025a; União Nacional do Etanol de Milho – UNEM, 2026).

Diante dessa dinâmica, o desenvolvimento do setor sucroenergético brasileiro tem sido interpretado pela literatura internacional como um exemplo prático e bem-sucedido de bioeconomia integrada e circular (Sáez-Navarrete, 2025).

3 Materiais e Métodos

Esta pesquisa adota abordagem qualitativa e explicativa, utilizando o método histórico-dedutivo para analisar a evolução do setor sucroenergético do Brasil e suas implicações socioespaciais e econômicas. A investigação qualitativa compreende fenômenos além de variáveis numéricas, abrangendo mudanças regulatórias, estratégias empresariais e a reconfiguração do território produtivo (De Abreu Santana; Narciso, 2025).

O levantamento de dados utilizou fontes secundárias de instituições de referência setorial de 2003 a 2025. Os dados de produção agrícola e industrial são oriundos da CONAB. Já as séries históricas de licenciamento de veículos e a evolução tecnológica da frota foram extraídas da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA). Houve também consulta à UNICA para obter indicadores de consumo e moagem regional.

O tratamento estatístico, a sistematização das variáveis de oferta e demanda e a correlação das séries históricas ocorreram por meio da linguagem de programação R (versão 4.5.2), em ambiente RStudio. Para a criação das evidências visuais e a análise da dinâmica de mercado, houve o emprego do pacote ggplot2. Tal ferramenta permitiu a sobreposição de séries temporais em eixos duplos com o objetivo de avaliar a interdependência entre a produção de etanol e a consolidação da tecnologia *flex-fuel*. Além disso, indicadores de consumo e variáveis de moagem passaram por processo de tabulação eletrônica complementar. Tais informações foram integradas à base de dados principal para permitir uma percepção holística sobre o comportamento da frota circulante e da oferta energética nacional.



Para o embasamento das discussões sobre segurança alimentar o estudo incorpora documentos técnicos elaborados por organizações internacionais, em especial a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) e a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), juntamente com relatórios de centros de pesquisa especializados em bioeconomia, mercados agropecuários e sistemas energéticos.

O arcabouço teórico fornece estrutura para examinar as tensões entre a produção de energia e a disponibilidade de terras para o cultivo de alimentos. O objetivo é identificar potenciais conflitos socioespaciais e avaliar como a produtividade agrícola pode mitigar esses riscos. Os resultados do processamento computacional no software *R* foram confrontados diretamente com a literatura. Esse processo permitiu validar as hipóteses sobre o setor e analisar os impactos da tecnologia bicomcombustível como uma solução de transição sustentável para a matriz de transportes nacional.

4 Discussão dos Resultados

Para melhorar a compreensão dos resultados, este tópico foi dividido em quatro partes:

4.1 A Era *Flex-Fuel* e a Dinâmica de Consumo (2003-2025)

O Proálcool, criado pelo Decreto nº 76.593/1975, é um marco importante na política energética e de indústria do Brasil. Ele surge em resposta às instabilidades do mercado externo de energia (Tonelli *et al.*, 2025). O Programa foi criado principalmente para reduzir os impactos das crises do petróleo da década de 1970 e equilibrar a balança comercial. Sua trajetória foi marcada por forte apoio estatal e períodos de fragilidade estrutural. Além de buscar a substituição de importações, esse esforço inicial estruturou a base para uma infraestrutura produtiva e tecnológica que permitiria ao Brasil liderar a produção de biocombustíveis.

A fase inicial de expansão do Proálcool, dividida em crescimento moderado (1975-1979) e acelerado (1980-1985), consolidou o etanol como uma alternativa viável aos derivados fósseis. Em 1985, no auge dessa etapa, o licenciamento de veículos movidos exclusivamente a etanol hidratado atingiu um recorde histórico de 92,2% das vendas nacionais (ANFAVEA, 2024). Esse sucesso foi fruto de uma colaboração entre o Estado, a indústria automobilística e o setor sucroenergético, que proporcionou um ambiente seguro para investimentos em larga escala tanto na agricultura quanto na indústria (Tonin; Tonin, 2014).

A consolidação dessa infraestrutura não se restringiu ao abastecimento interno, mas posicionou o setor como um pilar macroeconômico de importância global. Dados da UNICA (2025) revelam que o valor bruto movimentado pelo setor sucroenergético ultrapassou US\$ 100



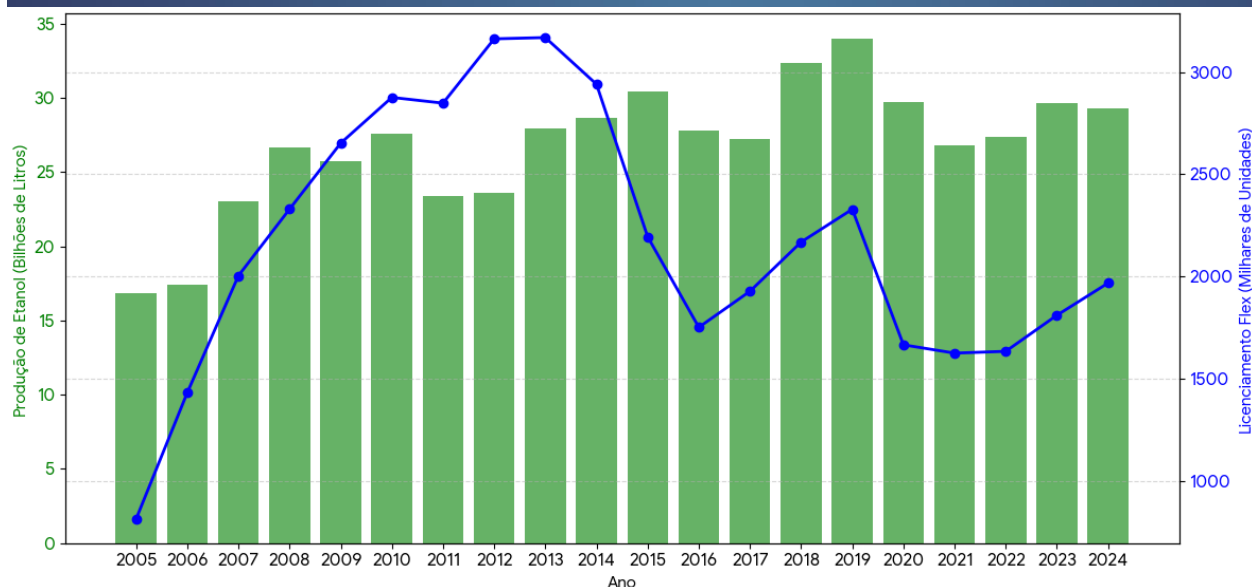
bilhões, com contribuição direta para o Produto Interno Bruto de US\$ 40 bilhões. O fortalecimento econômico do Brasil impulsionou sua presença no mercado externo e resultou em exportações de etanol superiores a 2,5 bilhões de litros, gerando US\$ 1,53 bilhão em divisas. O biocombustível se consolidou como um item da pauta comercial brasileira (UNICA, 2025).

A década de 1990, no entanto, trouxe uma grave crise de confiança para o setor, caracterizada por desregulamentação e fragmentação de interesses (Shikida, 2014). A abertura econômica, aliada à valorização do açúcar no mercado externo e à queda nos preços internacionais do petróleo, causou episódios de desabastecimento de etanol hidratado (Szmrecsányi, 2002). Em 1995, os licenciamentos de veículos a etanol despencaram para apenas 2,5% e revelaram a fragilidade de um modelo que não possuía uma matriz veicular flexível para se ajustar às flutuações de preços e oferta de diferentes combustíveis (ANFAVEA, 2024). Essa situação obrigou o setor a buscar novas estratégias para aumentar a eficiência e reduzir a dependência de subsídios governamentais.

A introdução da tecnologia *flex-fuel* em 2003 marcou um ponto de virada na trajetória da agroindústria canavieira e redefiniu seu futuro. Essa inovação alterou a lógica do consumo ao transferir para o condutor do veículo a decisão sobre qual combustível utilizar no momento do abastecimento, para diminuir o risco de demanda que assolou o setor nos anos 1990 (Tonelli *et al.*, 2025). A flexibilidade dessa tecnologia permitiu que o etanol atuasse como um amortecedor de preços em relação à gasolina, reabilitou o combustível renovável no mercado nacional e fortaleceu a segurança energética, independentemente das flutuações do petróleo.

A maturidade da tecnologia é apontada ao mostrar que 81,6% da frota de veículos leves no Brasil é composta por modelos *flex*, o que assegura uma demanda sustentável para o setor sucroenergético (ANFAVEA, 2024). É possível verificar a consolidação da tecnologia *flex-fuel* como o principal motor de sustentação do setor (Figura 1).

Figura 1 – Evolução do setor sucroenergético: oferta de etanol vs. adoção da tecnologia *flex* (2005-2024)



Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados compilados da ANFAVEA (2024) e CONAB (2025a).

A Figura 1 mostra que a participação dos veículos bicomcombustíveis no licenciamento apresentou crescimento acentuado, com estabilização em patamares elevados após 2010. Essa mudança no perfil da frota trouxe segurança de demanda e contribuiu para que a produção nacional de etanol elevasse seu piso produtivo de 17 bilhões para marcas superiores a 30 bilhões de litros anuais. Assim, a relação entre a linha de adoção tecnológica e as barras de oferta de combustível reforça a tese de reabilitação do setor no século XXI.

A segurança de demanda estabelecida pela frota bicomcombustível criou o ambiente necessário para a evolução produtiva do setor sucroenergético. Tal cenário de previsibilidade permitiu que a atividade transcendesse a simples recuperação de mercado e iniciasse um ciclo de expansão estrutural. O movimento não se limitou apenas ao aumento de volumes, mas provocou mudanças profundas na organização espacial da agroindústria.

A estabilidade do mercado impulsionou a descentralização geográfica na produção, expandindo as fronteiras tradicionais para a região Centro-Oeste. Nesse novo cenário, o etanol de milho em estados como Mato Grosso e Goiás ganhou destaque, representando cerca de 20% da oferta total de etanol no País. Essa expansão possibilitou uma produção contínua ao longo do ano, inclusive durante a entressafra da cana (CONAB, 2025b).

A integração do milho na produção de etanol deu origem a um novo modelo industrial conhecido como usinas ‘full’ e ‘flex’. Essa integração, segundo a CONAB (2025b), permitiu que o setor superasse a inatividade industrial durante a entressafra da cana e garantiu uma oferta mais estável e previsível de hidratado ao mercado. Além da produção de combustível, essa dinâmica gera coprodutos de alto valor agregado, como os grãos de destilaria, que servem como insumo proteico para a pecuária de corte e leite. Isso reforça a integração entre as cadeias produtivas de



energia e proteína animal na agricultura (CONAB, 2025b).

Entre 2003 e 2025, marcos regulatórios modernos, como o RenovaBio (Lei nº 13.576/2017), moldaram a evolução do consumo e da produção. Essa política pública integrou o setor ao mercado de créditos de descarbonização (CBIOs), ao reconhecer a eficiência ambiental e a baixa pegada de carbono da produção nacional. Estima-se que, entre 2003 e 2023, o uso de etanol evitou a emissão de 660 milhões de toneladas de CO₂ (UNICA, 2025; Shikida, 2025). Com isso, o etanol deixou de ser visto apenas como uma alternativa econômica e passou a ser considerado um ativo ambiental estratégico na agenda climática global.

O RenovaBio, diferente dos subsídios diretos que marcaram o início do Proálcool, opera por meio de mecanismos de mercado e certificação de eficiência. A política define metas anuais de descarbonização para distribuidores de combustíveis, que são alcançadas pela compra de CBIOs emitidos por produtores de biocombustíveis. Cada CBIO representa uma tonelada de CO₂ evitada em cotejo ao combustível fóssil equivalente. Esse arranjo regulatório não só incentiva a expansão da produção, como premia a eficiência energética e ambiental das usinas. A quantidade de créditos gerados está diretamente ligada à nota de eficiência obtida durante todo o processo produtivo, desde o campo até a fase industrial (Brasil, 2017; Shikida, 2025).

No Brasil, evidências empíricas refutaram a suposta competição entre “alimento *versus* combustível”, que antes era um ponto de controvérsia em paralelo ao crescimento produtivo. Estudos recentes indicam que a alta produtividade agrícola e a disponibilidade de terras degradadas para recuperação possibilitam a coexistência harmoniosa de ambas as produções sem comprometer a segurança alimentar nacional (Justus *et al.*, 2025). Ademais, a integração entre pecuária e cana-de-açúcar, aliada ao aproveitamento de subprodutos como vinhaça e bagaço para geração de bioeletricidade, fortalece o caráter circular da economia do setor e eleva o nível de sustentabilidade da agroindústria.

Dados de ocupação territorial reforçam a base empírica para a coexistência entre as culturas alimentares e energéticas. Segundo UNICA (2025), apenas 1,2% do território brasileiro é utilizado para o cultivo de cana-de-açúcar e, desse total, 0,9% é destinado à produção de etanol. Essa proporção, que dá vazão à expansão da produção, projetada em 678,7 milhões de toneladas (safra 2024/25), deve-se principalmente aos ganhos de produtividade e à conversão de áreas de pastagens degradadas, e não à redução de áreas para grãos. Isso reforça a tese de sustentabilidade do modelo brasileiro de descarbonização (Shikida, 2025; CONAB, 2025a).

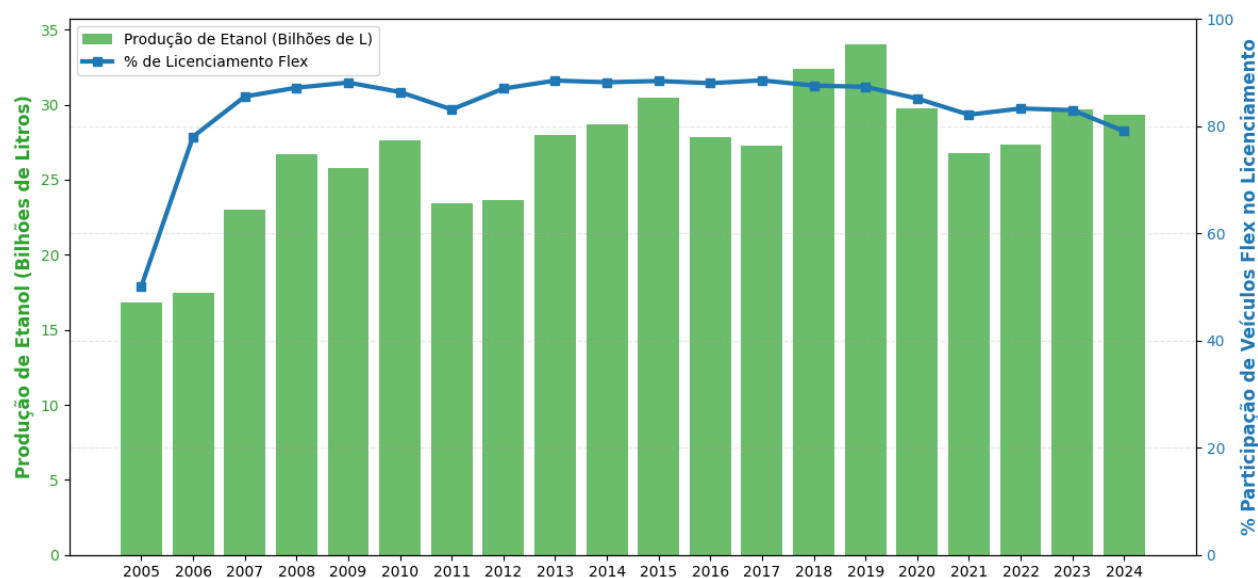
Atualmente, a eletrificação veicular global representa um desafio para a dinâmica de consumo. No entanto, o Brasil está traçando seu próprio caminho tecnológico. A estratégia nacional prioriza a hibridização, que combina motores elétricos com o uso de biocombustíveis, permitindo aproveitar a extensa infraestrutura de distribuição já existente (Shikida, 2025). Com

uma produção estimada de 678,7 milhões de toneladas de cana-de-açúcar para a safra 2024/25 (CONAB, 2025a), o País evidencia que o legado do Proálcool se transformou em uma matriz energética relevante. O etanol emerge como o pilar para uma transição energética que seja economicamente viável e ambientalmente responsável.

Ao completar cinco décadas, o setor sucroenergético revela seu papel como um amortecedor de crises macroeconômicas ao ir além da simples substituição de importações. Como apontado por Ueki (2025) e Shikida (2025), a ausência do etanol na matriz energética atual tornaria o País vulnerável à volatilidade dos preços internacionais do petróleo, com impactos diretos sobre a inflação e o PIB. A transição dos modelos *flex-fuel* para os híbridos não é apenas uma decisão técnica, mas uma afirmação de um modelo de soberania energética e descarbonização que pode ser usado como referência global. Ao fundamentar-se na integração produtiva da cana, do milho e do rigor regulatório do RenovaBio, o setor encerra esse ciclo como a base para a inserção competitiva do Brasil na economia de baixo carbono.

A Figura 2 permite o confronto entre o volume absoluto de licenciamento de veículos *flex* e a resposta do setor sucroenergético.

Figura 2 – Evolução do setor sucroenergético: produção de etanol vs. veículos *flex* em unidades (2005-2024)



Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados compilados da ANFAVEA (2024) e CONAB (2026).

Observa-se que, mesmo diante de retrações econômicas que afetaram a venda de carros novos em períodos específicos, a produção de etanol manteve trajetórias de resiliência. Esse comportamento indica que o setor se estruturou para atender não apenas o mercado de veículos zero quilômetro, mas a frota circulante acumulada, o que minimiza os riscos de inatividade



industrial. A Figura 2 reforça o papel do etanol como ativo estratégico e amortecedor de crises, ao passo que sustenta a viabilidade da hibridização frente à eletrificação pura.

O novo Plano Nacional sobre Mudança do Clima (Plano Clima), com período de implementação entre 2024 e 2035, também marca um momento decisivo na política brasileira para que o País cumpra integralmente suas metas do Acordo de Paris. O documento visa guiar o Brasil na sua trajetória para uma economia com emissões líquidas zero de gases de efeito estufa até 2050. Ou seja, o Plano Clima deverá influenciar de forma direta a dinâmica do setor sucroenergético brasileiro ao orientar a estratégia nacional de descarbonização. No setor de transportes, o Plano tende a combinar diferentes rotas tecnológicas de redução de emissões, incluindo a expansão dos biocombustíveis, especialmente o etanol (Brasil, 2026).

4.2 Reconfiguração geográfica da produção de cana-de-açúcar e a ascensão do milho

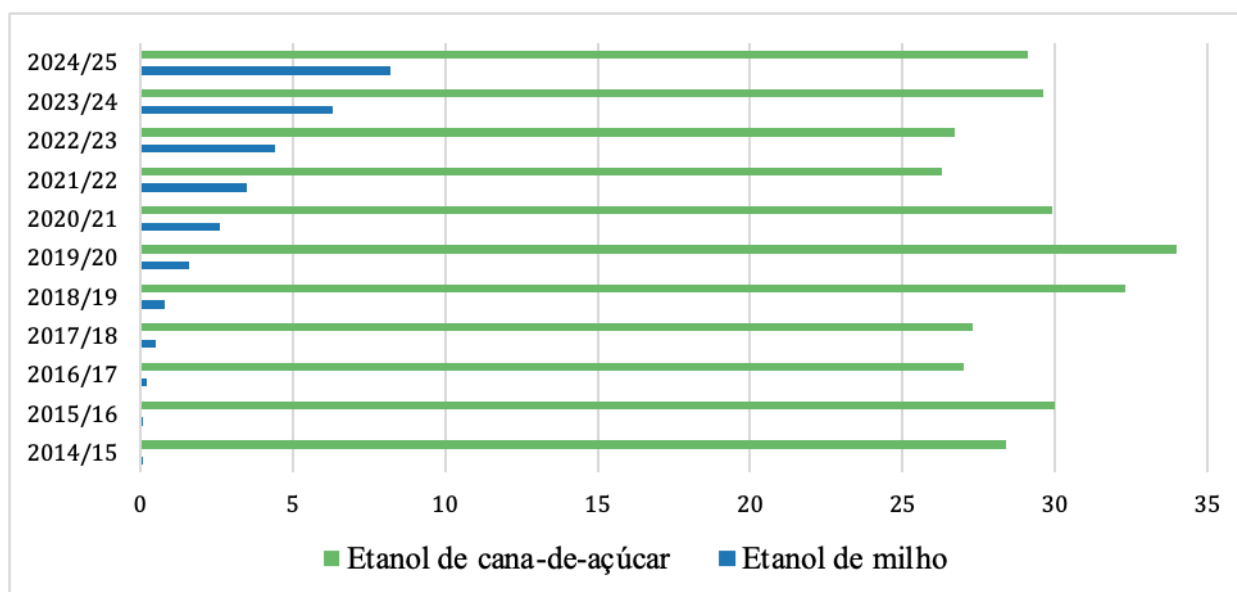
A transição energética global tem ampliado o papel das fontes renováveis, entre as quais a bioenergia se destaca como alternativa para a redução das emissões no setor de transportes. Nesse contexto, a América Latina apresenta condições favoráveis para a expansão desse segmento, possibilitando a evolução das usinas sucroenergéticas para biorrefinarias integradas capazes de produzir biocombustíveis, bioeletricidade e outros bioprodutos. O Brasil ocupa posição de destaque nesse processo, sustentado pela ampla produção de etanol de cana-de-açúcar, pela difusão dos veículos *flex-fuel* e pela expansão recente do etanol de milho (Montabone, 2026).

Uma pesquisa feita em 2014, por equipe do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), aponta que existiam no Brasil, até aquela data, apenas duas usinas de pequeno porte capazes de processar milho e cana-de-açúcar (Milanez *et al.*, 2014). A produção brasileira de etanol de milho teve início em 2012, mas, há aproximadamente dez anos, a produção de etanol proveniente do milho no Brasil parecia um cenário ainda distante. O assunto era abordado como uma opção a ser cogitada, e em poucos locais, com exceção do Mato Grosso, devido ao excedente de produção de milho (Bortoletto; Alcarde, 2015).

Em menos de uma década, a indústria de etanol de milho passou a desempenhar papel relevante na expansão dos biocombustíveis no Brasil, além de gerar impactos na cadeia de proteína animal e agregar valor à produção agrícola (Figura 3). Em 2026 o País figura como o terceiro maior produtor mundial de milho, atrás apenas dos Estados Unidos e da China. Nos últimos dez anos, a produção brasileira aumentou 40%. Destarte, a indústria de etanol de milho surge como alternativa para aproveitar parte dos excedentes produtivos, destinando-os à produção de biocombustíveis e de coprodutos – como grãos secos de destilaria (DDG, em inglês)

e grãos secos de destilaria com solúveis (DDGS) para nutrição animal (UNEM, 2026).

Figura 3 – Produção de etanol no Brasil entre as safras 2014/15 e 2024/25



Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados compilados da UNICA (2025).

Observa-se que o etanol de cana-de-açúcar permanece como a principal fonte de produção ao longo de todo o período analisado, com volumes variando aproximadamente entre 27 e 34 bilhões de litros. O pico da série ocorreu na safra 2019/20, seguido por uma leve retração nas safras subsequentes e posterior recuperação parcial. O gráfico também evidencia o rápido crescimento do etanol de milho, cuja produção era praticamente inexistente nas primeiras safras da série e passa a apresentar expansão significativa a partir da segunda metade da década de 2010. Esse crescimento torna-se mais evidente a partir da safra 2020/21, refletindo a consolidação de novas biorrefinarias, especialmente na região Centro-Oeste.

Atualmente, 27 biorrefinarias estão em operação no País, enquanto 16 projetos possuem autorização de construção e outras 14 unidades estão programadas. Dados do Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (MDIC), compilados pela União Nacional do Etanol de Milho, indicam exportações de 879.358,40 toneladas de DDG/DDGS para alimentação animal, destinadas a 25 mercados, volume 9,77% superior às 801.101,27 toneladas registradas em 2024, com crescimento acumulado de 4,19% (UNEM, 2026).

Outro marco recente foi o início das exportações de DDG/DDGS para a China, um dos maiores mercados globais de nutrição animal, até então dominado por fornecedores norte-americanos. A abertura desse mercado resultou de articulação institucional envolvendo o Ministério da Agricultura e Pecuária, o Ministério das Relações Exteriores, a UNEM e a Agência Brasileira de Promoção de Exportações e Investimentos, que viabilizou protocolos fitossanitários

e a habilitação de plantas industriais brasileiras para exportação (UNEM, 2026).

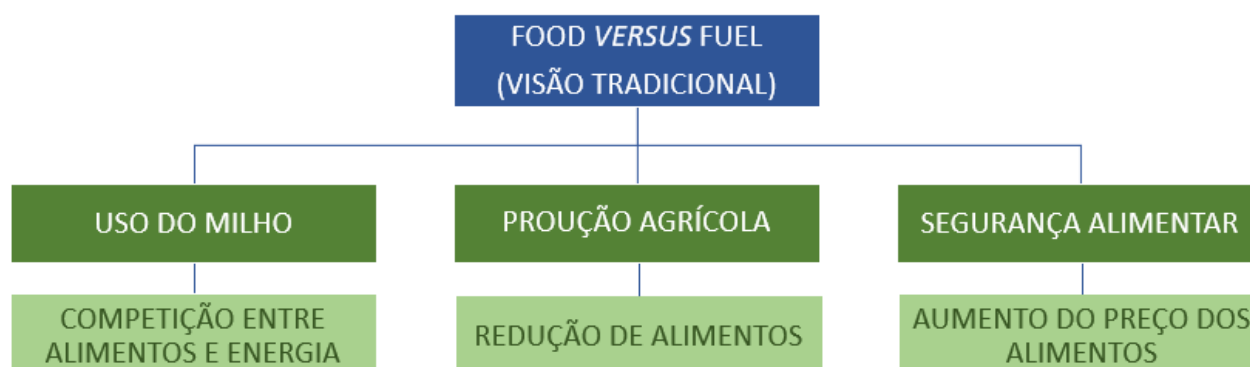
Com relação à sustentabilidade, para Goldemberg (2017) o etanol produzido a partir da cana-de-açúcar é um combustível praticamente renovável, com um balanço energético de produção altamente positivo, pois a energia que se consome para produzi-lo é praticamente neutralizada, diferentemente da produção de etanol do milho, em que a energia utilizada na produção vem de outros lugares, como do carvão ou da queima de madeira.

Apesar do avanço da produção, o etanol de milho ainda representa parcela menor da produção total quando comparado ao etanol de cana-de-açúcar. Entretanto, sua trajetória ascendente indica um processo de diversificação das matérias-primas utilizadas na produção de biocombustíveis no Brasil, denotando a expansão da oferta nacional de etanol e a integração entre as cadeias agrícolas de grãos e do setor sucroenergético.

4.3 Biocombustíveis, uso da terra e o debate alimento *versus* energia

O debate conhecido como “alimentos *versus* combustíveis” (Figura 4) atribui a pressão sobre os preços agrícolas e o potencial risco de escassez de alimentos à expansão dos biocombustíveis. De acordo com essa perspectiva, o aumento da demanda por matérias-primas agrícolas para a produção de energia poderia criar concorrência direta com a produção de alimentos, pressionando os mercados agrícolas e comprometendo a segurança alimentar global. Esse argumento ganhou força, particularmente após as crises alimentares do final da década de 2000, quando diversos estudos destacaram os potenciais impactos da expansão dos biocombustíveis sobre os preços internacionais das *commodities* (Searchinger *et al.*, 2008).

Figura 4 – Lógica da visão tradicional do debate alimentos *versus* energia



Fonte: Elaborado pelos autores a partir de Searchinger *et al.* (2008)

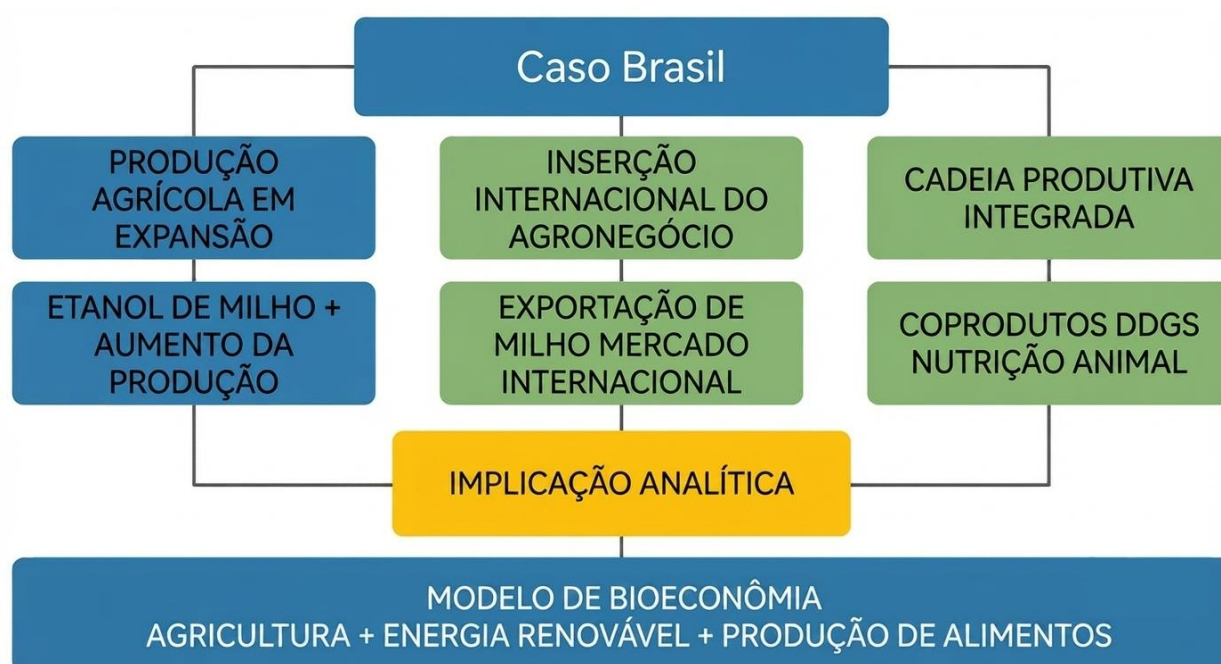
Contudo, evidências empíricas recentes têm demonstrado que as causas da insegurança alimentar global estão primariamente ligadas a choques macroeconômicos exógenos, como crises econômicas, conflitos geopolíticos e interrupções nas cadeias de suprimento globais,

fatores que afetam diretamente o poder de compra das pessoas. A análise desse dilema encontra respaldo institucional em projeções globais: simulações da OCDE e da FAO revelam que um cenário de redução de 20% na oferta global de fertilizantes poderia elevar o índice de preços dos alimentos em até 13% em apenas dois anos (OCDE/FAO, 2025).

Além disso, análises do Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID, 2025) validam que o crescimento do PIB *per capita* apresenta uma elasticidade de -1 em relação à desnutrição, enquanto a inflação agrava diretamente a crise alimentar (elasticidade de 0,6). Segundo a Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe – CEPAL (2021), essas perturbações geram uma profunda regressão distributiva, exacerbando a desigualdade socioeconômica – fatores que são totalmente independentes da produção de bioenergia.

Nesse contexto, o modelo agroindustrial brasileiro (Figura 5) apresenta um paradigma que refuta empiricamente a competição direta entre alimentos e combustíveis. A rápida expansão da produção de etanol, fortemente concentrada no Centro-Oeste (como Mato Grosso e Goiás), não desloca áreas de produção de alimentos para consumo humano, pois se baseia no cultivo da safrinha. Esse sistema permite o uso intensivo de recursos naturais, cultivando a terra sequencialmente (por exemplo, plantando milho logo após a colheita da soja) sem a necessidade de expandir a área cultivada (Cortez; Salles-Filho; Sbardella, 2023). Essa coexistência harmoniosa é ainda corroborada por Justus *et al.* (2025), que apontam que a cana-de-açúcar ocupa apenas 1,2% do território nacional, expandindo-se estrategicamente sobre pastagens degradadas, sem causar danos às populações vulneráveis.

Figura 5 – Modelo de integração produtiva do milho na bioeconomia brasileira



Fonte: Elaborado pelos autores a partir de Cortez; Salles-Filho; Sbardella (2023) e UNEM (2026).



Goldemberg (2017) afirma que as informações de que o uso de biomassa tem sobre a produção de alimentos é equivocada, sobretudo no que se refere a produção de etanol, colocando a situação como um falso problema, porque existem amplas áreas para expansão das culturas que se transformam em etanol, como a cana-de-açúcar e o milho.

Longe de esgotar os recursos do sistema alimentar e contrariamente à lógica tradicional que associa os biocombustíveis à escassez, o processamento industrial do etanol de milho gera volumes significativos de subprodutos (DDG/DDGS). Esses insumos, ricos em proteínas e fibras, são utilizados no mercado de nutrição animal. Conforme dados do MDIC e compilados pela UNEM, o País exportou 879,4 mil toneladas desse produto para 25 mercados em 2025, um volume 9,77% superior às 801,1 mil toneladas registradas em 2024 (UNEM, 2026).

A introdução desses subprodutos na alimentação de ruminantes impulsiona um efeito de intensificação na pecuária que, historicamente, ocupa vastas extensões de terra com baixa densidade animal. Ao fornecer um alimento concentrado de baixo custo, como o DDG, os produtores podem aumentar o número de animais por hectare. Na prática, esse aumento na densidade animal leva à liberação de milhares de hectares de pastagens degradadas para o cultivo de cereais ou reflorestamento, demonstrando que o modelo reverte o desmatamento e impulsiona a produção de alimentos (Cortez; Salles-Filho; Sbardella, 2023).

Além da integração do milho, inovações com culturas não tradicionais e o uso da tecnologia Álcool-para-Jet (ATJ) reduzem ainda mais a competição por terras férteis. Um exemplo paradigmático relatado pela FAO (Hilbert, 2024) é o cultivo da macaúba no Brasil, uma espécie nativa cultivada em pastagens degradadas sob uma abordagem de “zero desperdício”. A polpa da palmeira macaúba produz farelo rico em proteínas para consumo humano e animal, o que simultaneamente possibilita a produção de combustível de aviação sustentável (SAF), proporcionando assim um modelo de bioeconomia circular.

Essa mudança de paradigma se estende a outras dinâmicas latino-americanas. No Peru, estudos sobre a formulação de políticas públicas, documentados pela CEPAL, indicam a ausência de vulnerabilidade significativa aos preços, uma vez que os insumos utilizados na bioenergia têm sido historicamente importados, permitindo a diversificação da matriz energética sem comprometer o consumo interno. Análises econométricas baseadas no teste de causalidade de Granger, aplicadas na Colômbia, indicam que a evolução da indústria de biocombustíveis não afeta causalmente os preços das *commodities* (Sánchez Fernández, 2015).

A estratégia colombiana redireciona estruturalmente os excedentes de exportação de açúcar e óleo de palma para a bioenergia, priorizando e garantindo integralmente o abastecimento do mercado interno. Portanto, uma análise conjunta das trajetórias latino-americanas permite desconstruir a premissa central do debate sobre alimentos e combustíveis.



Fica claro que a ameaça à segurança alimentar não é uma consequência inerente da produção de bioenergia, mas sim uma variável que depende das vulnerabilidades macroeconômicas e das decisões tecnológicas e institucionais adotadas por cada país.

4.4 Perspectivas e desafios futuros

Nas últimas décadas, a expansão da produção e do consumo de biocombustíveis foi impulsionada por políticas públicas voltadas a três objetivos principais: reduzir as emissões de CO₂, diminuir a dependência de combustíveis fósseis importados e criar novas oportunidades de demanda para culturas agrícolas utilizadas como matéria-prima energética. Essas políticas contribuíram para consolidar o mercado global de biocombustíveis e estimulou investimentos produtivos e avanços tecnológicos em diversas cadeias agroenergéticas (Brasil, 2026).

Para a próxima década, embora esses fatores permaneçam relevantes no debate energético e ambiental, as perspectivas indicam uma expansão mais moderada da demanda por biocombustíveis. Esse cenário está associado à redução do ritmo de incentivos governamentais observados nas fases iniciais do setor e à crescente difusão de tecnologias alternativas no transporte, especialmente veículos elétricos e híbridos, mais eficientes na redução das emissões de gases de efeito estufa. Paralelamente, projeta-se declínio no consumo de gasolina em importantes mercados consumidores de etanol, como Estados Unidos e União Europeia, o que tende a limitar o crescimento da demanda por biocombustíveis (OECD-FAO, 2020).

Projeta-se aumento da participação dos biocombustíveis no consumo global de cana-de-açúcar, que poderá atingir cerca de 25% até o final da década, em comparação a aproximadamente 23% no período base (OECD-FAO, 2020). Estima-se que a demanda por etanol, de acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2025), cresça até 2029, com um aumento de produção em 14 bilhões de litros no mesmo período (Neves, 2021). Esse crescimento está associado à expansão das políticas de descarbonização no setor de transportes, com destaque para o RenovaBio.

Mundialmente falando, projeta-se que cerca de 58% da cana-de-açúcar processada seja destinada à produção de etanol na próxima década. Essa tendência tende a ser sustentada por políticas de incentivo aos biocombustíveis no Brasil. Estima-se ainda aumento de aproximadamente 8,3 bilhões de litros na produção global, com participação expressiva do Brasil, embora a evolução dos mercados globais de energia permaneça como fator de incerteza (OECD-FAO, 2020).

O setor de etanol de milho deve elevar sua participação. Conforme UNEM, há uma projeção de oferta de 8 bilhões de litros até 2028, representando 18% do mercado total de etanol



(Neves, 2021). Em termos geográficos, além do Centro-Oeste, o Nordeste surge como área de expansão por meio de biorrefinarias *flex* e uso de grãos do Matopiba e Sealba (Vidal, 2024).

O consumo de etanol no Brasil deverá atingir cerca de 39 bilhões de litros em 2029. Recentemente, a legislação brasileira elevou a mistura obrigatória de etanol anidro na gasolina de 27% para 30% (E30) (Federação Nacional do Comércio de Combustíveis e de Lubrificantes – Fecombustíveis, 2025). Até 2029, mais da metade da produção total de etanol deverá ser consumida por veículos *flex* de alta mistura, o que implica expansão dessa frota. Não se espera expansão significativa das exportações brasileiras de etanol, pois a produção deverá atender principalmente à demanda interna (OECD-FAO, 2020). A frota de veículos *flex* continuará crescendo no Brasil até 2030, com um aumento esperado de 17 milhões de veículos. Já a frota de veículos híbridos deverá aumentar no Brasil nos próximos anos, atingindo 1 milhão de veículos em 2030 (Neves, 2021; Vidal, 2024).

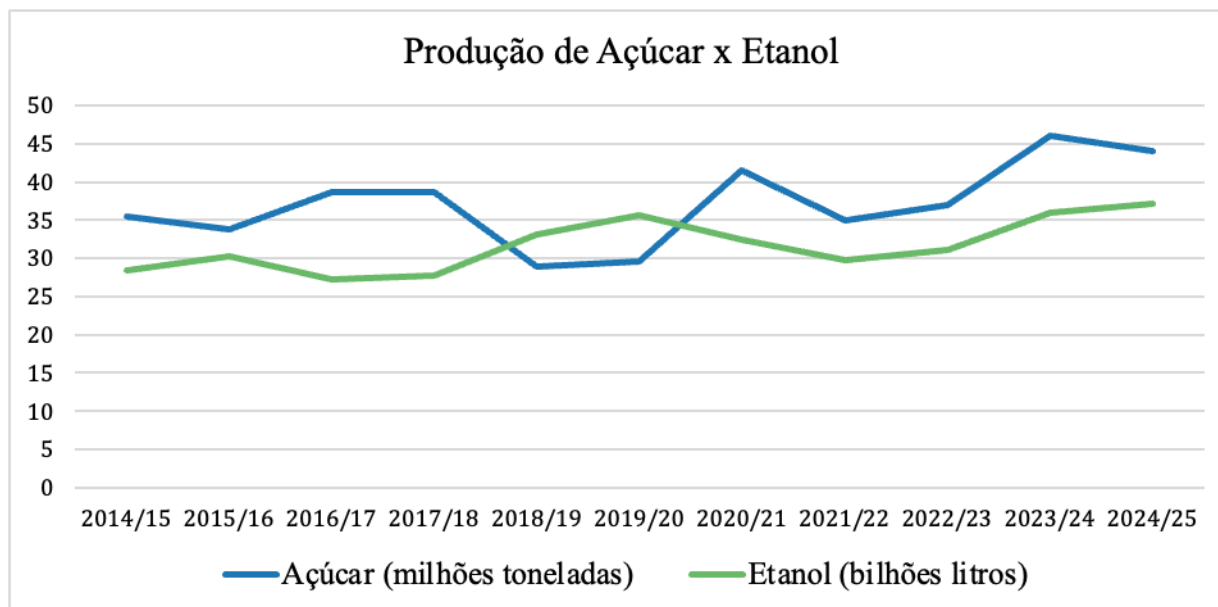
No mercado de açúcar, projeta-se que o Brasil mantenha sua posição como maior produtor mundial dessa *commodity*, representando cerca de 18% da produção global até 2029, e como principal produtor mundial de açúcar e de etanol de cana, respondendo por cerca de 39% da produção global de cana no mesmo período. Isso implica que cerca de 90% do etanol de cana mundial seja proveniente do Brasil (OECD-FAO, 2020).

No mesmo sentido, Vidal (2024) projeta que, no curto prazo, observa-se uma tendência mais açucareira nas safras (como a de 2024/25), com as usinas direcionando mais matéria-prima para a fabricação de açúcar em vez de etanol hidratado, devido aos preços internacionais elevados da *commodity*.

Essas projeções apresentam incertezas relacionadas à taxa de câmbio do real frente ao dólar, que afeta diretamente a competitividade do setor nos mercados internacionais e domésticos. Além disso, o RenovaBio pode influenciar o equilíbrio entre açúcar e etanol, uma vez que o setor sucroenergético possui elevada flexibilidade industrial para direcionar a cana à produção de açúcar ou etanol, conforme a rentabilidade relativa de cada produto (Brasil, 2026; OECD-FAO, 2020).

A flexibilidade produtiva das usinas brasileiras, que permite a alternância entre o foco em açúcar ou etanol conforme a rentabilidade do mercado, consta na Figura 7. Observa-se que, em safras como a de 2020/21 e a 2023/24, houve uma clara priorização do açúcar (linha azul), o que reflete a reação do setor aos preços internacionais favoráveis da *commodity*. Essa dinâmica mostra que a oferta de etanol (linha verde) não depende apenas da capacidade instalada, mas de decisões estratégicas de *mix* de produção que garantem a sustentabilidade econômica das unidades industriais frente à volatilidade cambial e de mercado.

Figura 7 – Comparativo da produção brasileira de açúcar e etanol (safra 2014/15 a 2024/25)



Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados da UNICA (2025).

Tal cenário de dualidade produtiva reforça a resiliência do modelo sucroenergético nacional, uma vez que a capacidade de ajuste rápido do *mix* de fabricação protege o setor contra oscilações bruscas em mercados isolados. A Figura 7 ilustra que o etanol hidratado mantém sua relevância estratégica, mesmo em ciclos nitidamente “açucareiros”, o que garante o abastecimento da frota *flex-fuel* e a continuidade das metas de descarbonização. A integração entre a eficiência industrial e os marcos regulatórios atuais assegura a competitividade brasileira e prepara a agroindústria para os desafios de uma matriz energética em evolução.

5 Considerações finais

Este artigo procurou analisar a evolução do setor sucroenergético brasileiro no período pós *flex-fuel* (2003-2025) e os fatores que condicionaram essa trajetória. Como corolário, a consolidação da tecnologia *flex-fuel* ao longo do período analisado configurou-se como o principal eixo estruturante da dinâmica recente do setor sucroenergético brasileiro. Estabeleceu-se um ambiente de maior previsibilidade, que sustenta a expansão da produção de etanol e reforça sua função como amortecedor frente às oscilações dos preços internacionais do petróleo. Nesse contexto, a elevada participação da frota *flex* no País não apenas consolidou o mercado interno, mas também viabilizou uma trajetória de crescimento baseada em uma matriz energética mais resiliente e adaptável.

Paralelamente, a reconfiguração geográfica da produção, com destaque para a expansão em direção ao Centro-Oeste e a incorporação do milho como matéria-prima complementar,



representou uma das transformações mais significativas do setor no século XXI. A introdução do etanol de milho, inicialmente associada ao aproveitamento de excedentes produtivos, evoluiu rapidamente para um modelo industrial integrado, capaz de operar durante todo o ano e reduzir a ociosidade das usinas. Esse movimento não apenas ampliou a oferta nacional de biocombustíveis, mas também fortaleceu a articulação entre diferentes cadeias produtivas, especialmente ao gerar coprodutos relevantes para a pecuária, contribuindo para a intensificação produtiva e o uso mais eficiente dos recursos agrícolas. Essa combinação permitiu ao País superar limitações, como a sazonalidade da cana-de-açúcar, ao mesmo tempo em que ampliou a segurança energética e a competitividade internacional do setor.

Somada a essa integração produtiva, a evolução do aparato institucional e regulatório, com destaque para a implementação do RenovaBio, consolidou o etanol como um ativo ambiental estratégico na agenda climática global. A transição de um modelo de subsídios diretos para um mercado de CBIOS premiou a eficiência energética e incentivou a redução da pegada de carbono em toda a cadeia. Tal avanço, aliado às diretrizes do Plano Clima 2024-2035, posiciona o Brasil em uma rota singular de descarbonização, na qual a hibridização e o uso de biocombustíveis oferecem uma alternativa economicamente viável e tecnologicamente acessível em relação à tendência de eletrificação pura observada no Hemisfério Norte.

No centro do debate internacional, as evidências empíricas deste estudo refutam a suposta dicotomia entre produção de energia e segurança alimentar na América Latina. A expansão da bioenergia ocorre de forma sinérgica com a produção de alimentos, especialmente por meio do cultivo sequencial e da geração de coprodutos de valor nutricional. A insegurança alimentar é atribuída a crises macroeconômicas e inflação, e não à ocupação territorial por culturas energéticas, que ocupam uma parcela reduzida do território.

A agroindústria de biocombustíveis, quando apoiada por estruturas institucionais robustas, atua como um motor de desenvolvimento socioeconômico e soberania tecnológica regional. A superação do modelo tradicional de exportação de matérias-primas, substituída pela geração de bioprodutos em biorrefinarias integradas, catalisa a reestruturação da matriz produtiva. Esse paradigma concilia resiliência climática com crescimento econômico sustentável, reduzindo a vulnerabilidade dos países do bloco à volatilidade dos preços internacionais do petróleo, o que fortalece a estabilidade do PIB.

Contudo, para alcançar uma bioeconomia plena no futuro, é fundamental integrar inovações às complexas dinâmicas geopolíticas da América Latina. Pesquisas futuras devem priorizar análises comparativas das estratégias implementadas pelos países do Mercosul, com ênfase na agregação de valor aos produtos primários e na integração de cadeias produtivas. A construção de um modelo de desenvolvimento alicerçado na inovação tecnológica torna-se



necessária para que a região transcenda seu papel de exportadora de *commodities*.

Como sugestão para estudos futuros, cumpre investigar por que o setor sucroenergético, expressivo em algumas regiões, não alcança o mesmo desempenho na região Nordeste, cujo potencial poderia, *mutatis mutandis*, impulsionar o seu desenvolvimento regional. Metodologias para isso podem incluir análises econométricas e/ou a aplicação de questionários junto aos principais *players* do setor e formuladores de políticas públicas.

6 Referências

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES (ANFAVEA). **Anuário da Indústria Automobilística Brasileira**. São Paulo: Anfavea, 2024.

AYRES, J.; ESQUERDA, A.; PARRADO, E. (coord.). **Relatório macroeconômico da América Latina e do Caribe 2025: Oportunidades regionais em meio a mudanças globais**. Washington, DC: Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), 2025.

BORTOLETTO, A. M.; ALCARDE, A. R. Dominante nos EUA, etanol de milho é opção, no Brasil, para safra excedente. **Revista Visão Agrícola**, Piracicaba, n. 13, p. 135-137, jul.-dez. 2015.

BRASIL. **Lei nº 13.576, de 26 de dezembro de 2017**. Dispõe sobre a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio). Diário Oficial da União, Brasília, 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. **Plano Clima 2024 - 2035** [recurso eletrônico]: Sumário Executivo. – Brasília, DF: MMA : MCTI : CC/PR, 2026. Disponível em: <<https://www.gov.br/mma/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/mudanca-do-clima/sumario-executivo-plano-clima.pdf>>. Acesso em 14 mar. 2026.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Séries históricas: Cana-de-açúcar**. Brasília: CONAB, 2025a.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**. Brasília: Conab, 2025b.

CORTEZ, L. A. B.; SALLES-FILHO, S. L. M.; SBARDELLA, M. Efectos Ambientales y Económicos Favorables de los Coproductos de Etanol de Maíz en Brasil. **C3-BIOECONOMY. Revista de Investigación y Transferencia en Bioeconomía Circular y Sostenible**, [S. l.], n. 4, p. 11-20, 2023.

DE ABREU SANTANA, A. C.; NARCISO, R. Pilares da pesquisa educacional: autores e metodologias científicas em destaque. **Aracê**, v. 7, n. 1, p. 1577-1590, 2025.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balanço Energético Nacional 2025**: Relatório Síntese, Ano Base 2024. Rio de Janeiro: EPE; Ministério de Minas e Energia, 2025

FEDERAÇÃO NACIONAL DO COMÉRCIO DE COMBUSTÍVEIS E DE LUBRIFICANTES (FECOMBUSTÍVEIS). **Revendedores de combustíveis: ANP divulga orientações devido à chegada do E30 e B15**. Disponível em: <https://www.fecombustiveis.org.br/noticia/revendedores-de-combustiveis-anp-divulga-orientacoes-devido-a-chegada-do-e30-e-b15/261821>. Acesso em: 26/03/2026.

FREITAS, S. M.; MIURA, M. Situação Atual e Perspectivas da Produção Brasileira de Etanol de Milho. **Instituto de Economia Agrícola: Análises e Indicadores do Agronegócio**, São Paulo, v. 5, n. 13, p. 1-5, maio 2018.

GOLDEMBERG, J. Atualidade e Perspectivas no Uso de Biomassa para Geração de Energia. **Revista Virtual de Química**, Sociedade Brasileira de Química, v. 9, n. 1, p. 15-28, fev. 2017.

GONÇALVES, D. B. Perspectivas para o etanol brasileiro frente à evolução da tecnologia dos motores. **Revista de Desenvolvimento Econômico**, Salvador, v.3, n.38, p. 345-364, dez. 2017.

HILBERT, J. A. **Estado actual y desarrollo potencial de los biocombustibles de bajas emisiones en Latinoamérica**: estudio y análisis de la situación actual y futura de los combustibles de baja huella de carbono en América Latina y el Caribe. [S. l.]: OLADE, 2024.

JUSTUS, M.; ARANTES, S. M.; GURGEL, A. C.; BACHION, L. C.; MOREIRA, M. M. R.; CHIARAMONTI, D. Revisiting the hypothesized trade-off between food and fuel: empirical evidence from the case of Brazilian sugarcane. **GCB Bioenergy**, v. 17, e70085, 2025.



- MILANEZ, A. Y. *et al.* A produção de etanol pela integração do milho-safrinha às usinas de cana-de-açúcar: avaliação ambiental, econômica e sugestões de política. **Revista do BNDES**, Brasília, n. 41, p. 147-208, jun. 2014.
- MONTABONE, P. A nova fronteira da bioenergia é na América Latina: um ecossistema de bioenergias para o mundo. **Fenasucro & Agrocana**. [S. L.], fev. 2026. Disponível em: <https://www.fenasucro.com.br/pt-br/blog/bioenergia/a-nova-fronteira-da-bioenergia-e-na-america-latina.html>. Acesso em: 05/03/2026.
- NEVES, M. F. (Org.). **Etanol de milho: cenário atual e perspectivas para a cadeia no Brasil**. Ribeirão Preto: UNEM, 2021.
- NEVES, M. F.; CONEJERO, M. A. Sistema agroindustrial da cana: cenários e agenda estratégica. **Economia Aplicada**, v. 11, n. 4, p. 587-604, out./dez. 2007
- OCDE/FAO. **Perspectivas Agrícolas 2025-2034**. Paris: OCDE Publishing; Roma: FAO, 2025.
- OECD/FAO. **Agricultural Outlook 2020-2029**, FAO, Rome/OECD Publishing, Paris, 2020.
- SÁEZ-NAVARRETE, César. **Hacia una bioeconomía sostenible: revisión de biodiésel y bioetanol en la década 2015-2025**. Santiago: Pontificia Universidad Católica de Chile, 2025.
- SÁNCHEZ FERNÁNDEZ, M. H. **Evolución de los Biocombustibles en Colombia y su incidencia sobre el precio de los alimentos**. 2015. 98 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Econômicas) – Facultad de Ciencias Económicas, Unal, Bogotá, 2015.
- SEARCHINGER, T. et al. Use of U.S. croplands for biofuels increases greenhouse gases through emissions from land use change. **Science**, Washington, DC, v. 319, n. 5867, p. 1238–1240, 29 fev. 2008.
- SHIKIDA, P. F. A. 50 anos de ‘Proálcool’: 5 décadas de aprendizagem e aprendizagem pela bioenergia do homem. In: **CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL (SOBER)**, 63., 2025, Passo Fundo. Apresentação em painel. Passo Fundo: UPF, 2025.
- SHIKIDA, P. F. A. **A evolução diferenciada da agroindústria canavieira no Brasil de 1975 a 1995**. 191 f. Tese (Doutorado em Ciências – Economia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1997.
- SHIKIDA, P. F. A. Evolução e fases da agroindústria canavieira no Brasil. **Revista de Política Agrícola**, ano XXIII, n.4, p.43-57, out./nov./dez. 2014.
- SOUZA, C. C. R.; HIROI, J. O mercado de carros elétricos no Brasil: análise de entraves e sugestões para expansão. **Práticas em Contabilidade e Gestão**, São Paulo, v. 9, n. 1, p. 1-19, fev. 2021.
- SZMRECSÁNYI, T. Efeitos e desafios das novas tecnologias na agroindústria canavieira. In: MORAES, M. A. F. D. de; SHIKIDA, P. F. A. (Orgs.) **Agroindústria canavieira no Brasil: evolução, desenvolvimento e desafios**. São Paulo: Atlas, 2002. p. 93-119.
- TONELLI, L. L.; MELO, S. E.; CARVALHO, A.; SHIKIDA, P. F. A. **Proálcool, 50 anos de história: quo vadis?** In: ENCONTRO NACIONAL DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS REGIONAIS E URBANOS, 23., 2025, Ilhéus. **Anais...** Ilhéus: ABER, 2025.
- TONIN, J. R.; TONIN, J. M. Do Proálcool ao “Próetanol”: novos desafios na produção do etanol brasileiro. **Informe Gepec**, v. 18, n. 1, p. 61-76, 2014.
- UEKI, S. **Algo a mais: entrevista com o ex-ministro Shigeaki Ueki**. Toledo: Jornal do Oeste, 10 abr. 2025.
- UNIÃO NACIONAL DO ETANOL DE MILHO (UNEM). **Dados setoriais**. Disponível em: <https://etanoldemilho.com.br/dados-setoriais/>. Acesso em 10/03/2026.
- UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR E BIOENERGIA (UNICA). **Dados do Setor Sucroenergético – Fotografia do setor**. Disponível em: www.unica.com.br. Acesso em: 10/06/2025.
- VIAN, C. E. de F. **Agroindústria canavieira: estratégias competitivas e modernização**. Campinas: Átomo. 2. ed. 2015.
- VIDAL, M. F. Etanol de Milho. **Caderno ETENE**, Fortaleza, Ano 9, n. 349, p. 1-14, set. 2024.