



Programa de Pós-Graduação em Sociedade, Tecnologia e Meio Ambiente

UNIVERSIDADE EVANGÉLICA DE GOIÁS – UniEVANGÉLICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SOCIEDADE, TECNOLOGIA E MEIO
AMBIENTE (PPG STMA)

ANA CARLA ARAÚJO

Desafios e Oportunidades na Legislação Ambiental: O Cultivo de Cana- de-Açúcar e a Educação Ambiental no Brasil

Anápolis – GO, 2025

ANA CARLA ARAÚJO

Desafios e Oportunidades na Legislação Ambiental: O Cultivo de Cana-de-Açúcar e a Educação Ambiental no Brasil

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sociedade, Tecnologia e Meio Ambiente (PPSTMA) para fins de avaliação final no curso de especialização *stricto sensu* (mestrado acadêmico) em Ciências Ambientais da Universidade Evangélica de Goiás – UniEVANGÉLICA, como requisito parcial e obrigatório para a obtenção do título de mestre.

Linha de Pesquisa: Sistemas Agrícolas Sustentáveis

Orientador: Prof. Dr. Jadson Belém de Moura

Coorientadora: Profa. Dra. Maisa França Teixeira

Anápolis- GO, 2025



FOLHA DE APROVAÇÃO

DESAFIOS E OPORTUNIDADES NA LEGISLAÇÃO AMBIENTAL: O CULTIVO DA CANA-DE-AÇÚCAR E A EDUCAÇÃO AMBIENTAL NO BRASIL

Ana Carla Araujo

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Sociedade, Tecnologia e Meio Ambiente/ PPG STMA da Universidade Evangélica de Goiás/ UniEVANGÉLICA como requisito parcial à obtenção do grau de **MESTRE**

Aprovado (a) em 25 de setembro de 2025.

Linha de pesquisa: Sistemas Agrícolas Sustentáveis

Banca examinadora

Documento assinado digitalmente
gov.br JADSON BELEM DE MOURA
Data: 25/09/2025 18:30:35-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. Jadson Belém de Moura
Presidente/Orientador (UniEVANGÉLICA)

Documento assinado digitalmente
gov.br JOSANA DE CASTRO PEIXOTO
Data: 25/09/2025 20:05:32-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof.^a Dr.^a Josana de Castro Peixoto
Examinador Interno (UniEVANGÉLICA)

Documento assinado digitalmente
gov.br MAISA FRANÇA TEIXEIRA
Data: 25/09/2025 20:26:04-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof.^a Dr.^a Maisa França Teixeira
Examinador Externo (UEG)

A663

Araújo, Ana Carla

Desafios e Oportunidades na Legislação Ambiental: O Cultivo de Cana-de-Açúcar e a Educação Ambiental no Brasil / Ana Carla Araújo - Anápolis: Universidade Evangélica de Goiás, 2025.

70 p.; il.

Orientador: Prof. Dr. Jadson Belém de Moura.

Dissertação (mestrado) – Programa de pós-graduação em Sociedade, Tecnologia e Meio Ambiente – Universidade Evangélica de Goiás, 2025.

1. Educação Ambiental 2. Cana-de-açúcar 3. Legislação Ambiental.
4. Sustentabilidade. I. Moura, Jadson Belém de II. Título.

CDU 504

DEDICATORIA

Não poderia deixar de render louvores a Deus, início, meio e fim de todo o meu ser. Somente a Ele, toda honra e toda glória agora e sempre.

Gostaria imensamente de dedicar essa pesquisa a uma mulher, modelo de trabalho, honestidade, humildade e fé, Maria Terezinha Silva Araújo, minha mãe (hoje falecida) e a meu pai, Aldeir Alves Araújo, que com muita honestidade ensinou-me a ser uma pessoa de valores.

Foi através do seu exemplo de coragem, amor aos filhos e conselhos diários, que segui em frente em seus estudos e estou aqui até hoje, tentando ser “alguém melhor.”

Não posso deixar de mencionar, o apoio do meu esposo, Carlos da Fonseca Teles e minhas filhas Isadora Fonseca Araújo e Michelle Araújo Fonseca Teles que a todo momento me incentivam a buscar o melhor de mim e nunca me deixar desistir daquilo que a princípio possa parecer difícil ou mesmo impossível. Vocês são minha base!

Enfim, os meus agradecimentos também ao meu orientador, Prof^o. Dr^o. Jadson Belem de Moura e coorientadora Profa. Dra. Maisa França Teixeira que participaram do processo de construção do meu “eu acadêmico”, desde o início do programa, sempre de uma forma carinhosa e respeitosa com minhas limitações, angústias, incertezas e potencialidades.

A todos vocês, meus mais sinceros agradecimentos!

“A luta contra o erro tipográfico tem algo de homérico. Durante a revisão os erros se escondem, fazem-se positivamente invisíveis. Mas assim que o livro sai, torna-se visibilíssimo.”

Monteiro Lobato

RESUMO

Esta pesquisa investiga o equilíbrio entre a expansão da cana-de-açúcar no Brasil, a preservação ambiental e o papel da educação ambiental como indutora de práticas sustentáveis. Com abordagem qualitativa, fundamentada em revisão bibliográfica e análise documental (legislação, relatórios institucionais e literatura acadêmica), examina-se a compatibilidade do modelo produtivo sucroenergético com os parâmetros da legislação ambiental — notadamente o Código Florestal (Lei nº 12.651/2012) e a Política/Programa Nacional de Educação Ambiental (PNEA/ProNEA; Lei nº 9.795/1999; Lei nº 14.926/2024). Também se analisa a atuação de órgãos estratégicos (CONAB, CONAMA, EMBRAPA, IBAMA e MMA) na regulação, fiscalização e promoção de tecnologias e práticas menos impactantes. Os resultados indicam fragilidades persistentes na aplicação efetiva das normas, decorrentes de limitações estruturais de fiscalização, custos elevados e insuficiência de incentivos e capacitação técnica, o que restringe a adoção de inovações sustentáveis por parte de grande parcela dos produtores. Evidencia-se, por outro lado, que a educação ambiental, quando integrada de modo sistemático, contínuo e interdisciplinar aos processos formativos de atores públicos e privados, favorece a consciência crítica, o diálogo entre saberes científico e tradicional e a transição para métodos produtivos de menor impacto. Conclui-se que a educação ambiental deve constituir eixo estruturante das políticas para o desenvolvimento rural sustentável, articulada a instrumentos regulatórios eficazes, estímulos econômicos e governança cooperativa, de modo a alinhar produtividade, conservação dos recursos naturais e justiça socioambiental. O estudo oferece subsídios analíticos e recomendações para o aperfeiçoamento da cadeia sucroenergética no país.

Palavras-chave: Educação Ambiental. Cana-de-açúcar. Legislação Ambiental. Sustentabilidade.

ABSTRACT

This study examines the balance between the expansion of Brazil's sugarcane sector, environmental protection, and the role of environmental education as a driver of sustainable practices. Using a qualitative design grounded in literature review and documentary analysis (statutes, institutional reports, and scholarly sources), it critically evaluates the compatibility between the prevailing production model and Brazilian environmental law—particularly the Brazilian Forest Code (Law No. 12,651/2012) and the National Policy/Program for Environmental Education (PNEA/ProNEA; Law No. 9,795/1999; Law No. 14,926/2024). The analysis also considers the roles of key institutions—CONAB, CONAMA, EMBRAPA, IBAMA, and the Ministry of the Environment—in regulation, monitoring, and the promotion of lower-impact technologies. Findings indicate persistent weaknesses in enforcement and structural capacity, alongside high adoption costs, insufficient incentives, and training gaps that constrain the uptake of sustainable innovations. Conversely, when embedded systematically, continuously, and across disciplines, environmental education strengthens critical awareness, bridges scientific and traditional knowledge, and fosters transitions toward lower-impact production methods. The study concludes that environmental education should serve as a structuring axis of rural-development policy, aligned with effective regulation, targeted economic incentives, and collaborative governance, to harmonize productivity with conservation of natural resources and socio-environmental justice. The thesis provides analytical insights and actionable recommendations to improve the environmental performance of Brazil's sugarcane value chain.

Keywords: Environmental education; Sugarcane; Environmental law; Sustainability.

SUMÁRIO

Sumário

1. INTRODUÇÃO	10
1.1. Apresentação do Tema	10
1.2. Formulação do Problema	11
1.3. Formulação da Hipótese	11
1.4. Justificativa da Pesquisa	12
2. OBJETIVOS	13
2.1. Objetivo Geral	13
2.2. Objetivos Específicos	13
3. REVISÃO DE LITERATURA	13
3.1. Trajetória Histórica da Cana-de-Açúcar no Brasil: Do Ciclo do Açúcar à Agroindústria Sucroenergética	14
3.2. O Arcabouço Legal-Ambiental e o Setor Sucroenergético	15
3.3. Educação Ambiental como Ferramenta de Transformação	16
4. METODOLOGIA	17
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
CAPÍTULO I - A CANA-DE-ACÚCAR: ORIGEM E SUA EXPANSÃO PELO MUNDO.....	20
CAPÍTULO II - OS CONFLITOS DE INTERESSES ENTRE O DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DA CANA-DE-AÇÚCAR E A PRESERVAÇÃO AMBIENTAL	43
CAPÍTULO III: A CANA-DE-AÇÚCAR, LEGISLAÇÃO E A EDUCAÇÃO AMBIENTAL: DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA A SUSTENTABILIDADE.	53
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	63

1. INTRODUÇÃO

1.1. Apresentação do Tema

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) representa um dos pilares históricos e contemporâneos da economia brasileira. Desde o período colonial, quando foi introduzida pelos portugueses no século XVI, a cultura da cana-de-açúcar moldou a paisagem social, econômica e ambiental do país (RODRIGUES; ROSS, 2020). Atualmente, o Brasil se destaca como o maior produtor e exportador mundial de açúcar e etanol, consolidando o setor sucroenergético como um dos mais dinâmicos e relevantes do agronegócio nacional (UNICA, 2023). A produção de cana-de-açúcar é responsável por uma parcela significativa do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro, gerando milhões de empregos diretos e indiretos e impulsionando o desenvolvimento de diversas regiões do país (CROPLIFE BRASIL, 2020).

Além da produção de açúcar e etanol, a cana-de-açúcar apresenta uma notável versatilidade, sendo utilizada na geração de bioeletricidade a partir do bagaço e da palha, na produção de bioplásticos e em outras aplicações industriais inovadoras (RAÍZEN, 2024). Essa multiplicidade de usos confere à cana-de-açúcar um papel estratégico na transição para uma economia de baixo carbono, alinhada aos compromissos globais de sustentabilidade.

No entanto, a expansão da cultura da cana-de-açúcar ao longo dos séculos também esteve associada a uma série de desafios e impactos socioambientais. A monocultura em larga escala, o uso intensivo de agrotóxicos e fertilizantes, a compactação do solo, o consumo de água e, historicamente, a prática da queimada da palha para a colheita manual são alguns dos principais problemas que demandam atenção e soluções eficazes (EMBRAPA, 2024). A degradação ambiental resultante dessas práticas pode comprometer a qualidade do solo e da água, afetar a biodiversidade e contribuir para a emissão de gases de efeito estufa (REVISTAEA, 2024).

Nesse contexto, a legislação ambiental brasileira surge como um instrumento fundamental para regular a atividade sucroenergética e mitigar seus impactos negativos. O Código Florestal (Lei nº 12.651/2012), a Política Nacional do Meio Ambiente (Lei nº 6.938/1981) e outras normativas estabelecem diretrizes para a conservação dos recursos naturais, a proteção da vegetação nativa e o uso sustentável do solo. Contudo, a efetividade

da aplicação e da fiscalização dessas leis ainda representa um desafio significativo, sendo frequentemente dificultada por pressões econômicas e políticas (SAUER; BALESTRO, 2017).

Paralelamente, a educação ambiental, instituída pela Política Nacional de Educação Ambiental (PNEA - Lei nº 9.795/1999), emerge como uma ferramenta estratégica para promover a conscientização e a transformação de práticas no setor. A educação ambiental pode capacitar produtores, trabalhadores rurais e a sociedade em geral a adotar práticas mais sustentáveis, fomentando uma cultura de responsabilidade socioambiental e contribuindo para a construção de um modelo de desenvolvimento que concilie a produção agrícola com a conservação do meio ambiente (CARVALHO, 2004).

Este trabalho se propõe a analisar a complexa interação entre o cultivo de cana-de-açúcar, a legislação ambiental e a educação ambiental no Brasil, investigando os desafios e as oportunidades para a construção de um setor sucroenergético mais sustentável e resiliente.

1.2. Formulação do Problema

A expansão da cultura da cana-de-açúcar no Brasil, embora fundamental para a economia nacional, gera significativos impactos ambientais que desafiam a sustentabilidade do setor a longo prazo. A legislação ambiental vigente, apesar de abrangente, enfrenta obstáculos em sua aplicação e fiscalização, o que limita sua eficácia na mitigação desses impactos. Diante desse cenário, a pesquisa se orienta pela seguinte questão central: De que maneira a articulação entre a legislação ambiental e a educação ambiental pode contribuir para a promoção de práticas mais sustentáveis no cultivo da cana-de-açúcar no Brasil, superando os desafios existentes e potencializando as oportunidades para um desenvolvimento equilibrado?

1.3. Formulação da Hipótese

A hipótese central desta pesquisa é que a efetividade da legislação ambiental na mitigação dos impactos do cultivo de cana-de-açúcar é significativamente potencializada quando associada a programas de educação ambiental bem estruturados e contextualizados. Acredita-se que a educação ambiental, ao promover a conscientização, a capacitação técnica e o engajamento dos diferentes atores envolvidos na cadeia produtiva (produtores,

trabalhadores, gestores e comunidades), atua como um catalisador para a internalização de valores e a adoção de práticas sustentáveis, que vão além da mera conformidade legal. A integração sinérgica entre a regulação (legislação) e a formação (educação) pode, portanto, gerar uma transformação mais profunda e duradoura no setor sucroenergético, impulsionando a inovação, a responsabilidade socioambiental e a competitividade da produção brasileira em um cenário global cada vez mais exigente em relação à sustentabilidade.

1.4. Justificativa da Pesquisa

A relevância desta pesquisa reside na urgência de se encontrar caminhos para conciliar o desenvolvimento econômico do setor sucroenergético com a conservação ambiental e a justiça social. O Brasil, como líder mundial na produção de cana-de-açúcar, tem a responsabilidade e a oportunidade de se tornar um modelo de sustentabilidade agrícola. A análise aprofundada da relação entre legislação e educação ambiental pode fornecer subsídios para a formulação de políticas públicas mais eficazes e para a tomada de decisão por parte dos agentes do setor.

Do ponto de vista acadêmico, o estudo contribui para o avanço do conhecimento na área de ciências ambientais, ao explorar a interdisciplinaridade entre direito ambiental, agronomia, sociologia e pedagogia. A pesquisa busca preencher uma lacuna na literatura ao analisar de forma integrada os papéis da regulação e da educação na transformação de um setor produtivo específico e de grande relevância para o país.

Socialmente, a pesquisa pode beneficiar as comunidades rurais, os trabalhadores do setor e a sociedade em geral, ao promover um debate qualificado sobre os impactos da produção de cana-de-açúcar e ao apontar caminhos para um modelo mais sustentável e inclusivo. Os resultados podem inspirar iniciativas de educação ambiental e fortalecer a participação social na gestão ambiental do território.

Finalmente, para o setor produtivo, este trabalho oferece uma reflexão sobre como a sustentabilidade pode ser incorporada como um diferencial competitivo, agregando valor à marca do açúcar e do etanol brasileiros no mercado internacional e abrindo novas oportunidades de negócio alinhadas à bioeconomia e à economia circular.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Analisar criticamente a articulação entre a legislação ambiental e a educação ambiental como instrumentos para a promoção da sustentabilidade no cultivo da cana-de-açúcar no Brasil, identificando os desafios e as oportunidades para a transição do setor sucroenergético para um modelo de produção mais responsável e equilibrado.

2.2. Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo geral, foram traçados os seguintes objetivos específicos:

- **Analisar a evolução histórica e o panorama atual da cultura da cana-de-açúcar no Brasil**, destacando sua importância econômica e os principais impactos socioambientais associados à sua expansão;
- **Mapear e examinar o arcabouço legal e institucional que regulamenta a atividade sucroenergética no Brasil**, com ênfase no Código Florestal e na Política Nacional do Meio Ambiente, avaliando a efetividade de sua aplicação e os principais entraves à sua implementação;
- **Investigar o papel da educação ambiental, formal e não-formal, na promoção de práticas agrícolas sustentáveis**, analisando o potencial da Política Nacional de Educação Ambiental (PNEA) como ferramenta de transformação no contexto da cultura da cana-de-açúcar;
- **Identificar e discutir as principais barreiras e os fatores facilitadores para a adoção de práticas sustentáveis pelos produtores de cana-de-açúcar**, considerando aspectos econômicos, tecnológicos, culturais e políticos;
- **Propor diretrizes e recomendações** para o aprimoramento da integração entre as políticas de meio ambiente e de educação ambiental, visando fortalecer a sustentabilidade da cadeia produtiva da cana-de-açúcar no Brasil.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Trajetória Histórica da Cana-de-Açúcar no Brasil: Do Ciclo do Açúcar à Agroindústria Sucroenergética

A história da cana-de-açúcar no Brasil confunde-se com a própria formação do país. Introduzida nas primeiras décadas da colonização, a cultura rapidamente se tornou a principal atividade econômica da colônia, dando origem ao chamado “Ciclo do Açúcar”, que se estendeu do século XVI ao XVIII. Este período foi marcado pela consolidação do sistema de *plantation*, caracterizado pela monocultura em grandes latifúndios, pelo uso intensivo de mão de obra escravizada de origem africana e pela produção voltada para a exportação, atendendo à crescente demanda europeia por açúcar (BRASIL ESCOLA, 2024).

As condições climáticas e de solo do Nordeste brasileiro, especialmente o massapé do litoral, mostraram-se extremamente favoráveis ao cultivo. Em 1532, Martim Afonso de Sousa estabeleceu o primeiro engenho de açúcar na capitania de São Vicente, mas foi em Pernambuco e na Bahia que a produção atingiu seu apogeu (TODA MATÉRIA, 2024). A estrutura social do Brasil colonial foi profundamente moldada pela economia açucareira, com a figura do senhor de engenho no topo de uma sociedade patriarcal e escravocrata, como brilhantemente descrito por Gilberto Freyre em “Casa-Grande & Senzala” (FREYRE, 2003).

“A monocultura latifundiária e escravocrata, que se formou no Brasil a partir da cana-de-açúcar, foi a base sobre a qual se assentou a sociedade colonial, com suas profundas desigualdades e sua complexa mistura de culturas.” (FREYRE, 2003, p. 65)

O declínio do Ciclo do Açúcar iniciou-se no final do século XVII, com a concorrência do açúcar produzido nas Antilhas e a descoberta de ouro e diamantes no interior do Brasil, deslocando o eixo econômico para a região das Minas Gerais. Contudo, a cana-de-açúcar nunca deixou de ter relevância, adaptando-se aos novos contextos econômicos e sociais do país.

No século XX, um novo impulso foi dado ao setor com a criação do Programa Nacional do Álcool (Proálcool) em 1975. Em resposta à crise do petróleo, o governo brasileiro incentivou a produção de etanol a partir da cana-de-açúcar como uma alternativa aos combustíveis fósseis. O Proálcool representou uma mudança de paradigma, transformando a tradicional indústria açucareira em uma moderna agroindústria sucroenergética, com foco na produção integrada de açúcar, etanol e, mais recentemente, bioeletricidade (MOREIRA; GOLDEMBERG, 1999).

A partir dos anos 2000, com a introdução dos veículos *flex-fuel*, o mercado de etanol se consolidou, e o setor experimentou uma nova onda de expansão, desta vez em direção ao Centro-Sul do país, especialmente para o estado de São Paulo. Esta expansão, no entanto, trouxe consigo novos e complexos desafios ambientais e sociais, que serão discutidos nas seções seguintes.

3.2. O Arcabouço Legal-Ambiental e o Setor Sucroenergético

A regulação ambiental da atividade agrícola no Brasil é complexa e multifacetada, refletindo a tensão inerente entre o desenvolvimento econômico e a conservação dos recursos naturais. Para o setor sucroenergético, dois marcos legais são de particular importância: a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), instituída pela Lei nº 6.938/1981, e o Código Florestal (atualmente a Lei nº 12.651/2012).

A PNMA é considerada a lei basilar do direito ambiental brasileiro. Ela estabeleceu os princípios, objetivos e instrumentos para a proteção ambiental no país, introduzindo o conceito de poluidor-pagador e a necessidade do licenciamento ambiental para atividades potencialmente poluidoras (BRASIL, 1981). Para a agroindústria da cana-de-açúcar, isso significa que novos empreendimentos (usinas) e a expansão de áreas de cultivo estão sujeitos a um rigoroso processo de licenciamento, que inclui a elaboração de Estudos de Impacto Ambiental (EIA) e seus respectivos Relatórios de Impacto Ambiental (RIMA).

O Código Florestal, por sua vez, estabelece as regras para a proteção da vegetação nativa em propriedades rurais. Seus principais instrumentos são as Áreas de Preservação Permanente (APPs) e a Reserva Legal (RL). As APPs são áreas sensíveis, como margens de rios, topos de morros e encostas, que devem ser mantidas com sua vegetação original para garantir a estabilidade geológica e a biodiversidade, bem como proteger os recursos hídricos. A Reserva Legal é um percentual da propriedade (que varia de 20% a 80%, dependendo do bioma) que deve ser coberto por vegetação nativa, a título de conservação (BRASIL, 2012).

O cumprimento do Código Florestal representa um dos maiores desafios para o setor sucroenergético. A adequação de milhões de hectares de terras, muitas vezes ocupadas há décadas pela monocultura, às exigências de APPs e Reserva Legal é um processo complexo e oneroso. A fiscalização, por sua vez, é dificultada pela extensão territorial do país e por limitações orçamentárias e de pessoal dos órgãos ambientais (SOARES-FILHO et al., 2014).

Além dessas leis federais, o setor é regulado por uma série de outras normas, como a Lei de Agrotóxicos (Lei nº 7.802/1989), a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010), que impacta a gestão de resíduos como a vinhaça e a torta de filtro, e o Zoneamento Agroecológico da Cana-de-Açúcar (ZAE-Cana), que busca orientar a expansão do cultivo para áreas consideradas mais aptas e com menor risco ambiental.

3.3. Educação Ambiental como Ferramenta de Transformação

Se a legislação estabelece o “o quê” e o “como” da proteção ambiental, a educação ambiental foca no “porquê”. A Política Nacional de Educação Ambiental (PNEA), instituída pela Lei nº 9.795/1999, define a educação ambiental como “os processos por meio dos quais o indivíduo e a coletividade constroem valores sociais, conhecimentos, habilidades, atitudes e competências voltadas para a conservação do meio ambiente, bem de uso comum do povo, essencial à sadia qualidade de vida e sua sustentabilidade” (BRASIL, 1999, art. 1º).

A PNEA preconiza que a educação ambiental deve ser um componente essencial e permanente da educação nacional, devendo estar presente, de forma articulada, em todos os níveis e modalidades do processo educativo, em caráter formal e não-formal. No contexto do agronegócio da cana-de-açúcar, a educação ambiental pode se manifestar de diversas formas:

- **Na educação formal:** através da inclusão de temas socioambientais nos currículos de escolas rurais e de cursos técnicos e superiores de agronomia e áreas afins.
- **Na educação não-formal:** por meio de programas de capacitação e treinamento para agricultores e trabalhadores rurais, dias de campo, campanhas de conscientização e projetos desenvolvidos por ONGs, sindicatos e pelas próprias usinas.

O objetivo é ir além da simples transmissão de informações, buscando promover uma consciência crítica sobre as relações entre sociedade, economia e natureza. Para o produtor rural, a educação ambiental pode significar a compreensão dos benefícios de longo prazo da conservação do solo e da água para a própria produtividade da lavoura. Para o trabalhador, pode representar a conscientização sobre os riscos do manuseio de agrotóxicos e a importância do uso de equipamentos de proteção. Para o gestor da usina, pode se

traduzir na adoção de sistemas de gestão ambiental e na busca por certificações de sustentabilidade.

Estudos demonstram que iniciativas de educação ambiental, quando bem planejadas e executadas, podem levar a mudanças significativas de comportamento e à adoção de práticas mais sustentáveis (JACOBI, 2003). No entanto, a efetividade da PNEA ainda é um desafio. A falta de recursos, a desarticulação entre as políticas de meio ambiente e de educação, e a resistência de setores mais conservadores do agronegócio são alguns dos obstáculos a serem superados. A recente atualização da PNEA pela Lei nº 14.926/2024, que inclui a atenção às mudanças climáticas e aos riscos de desastres socioambientais, reforça a urgência e a relevância do tema (BRASIL, 2024).

4. METODOLOGIA

A presente pesquisa caracteriza-se por uma abordagem qualitativa, de natureza exploratória e descritiva, fundamentada em pesquisa bibliográfica e documental. A escolha desta metodologia justifica-se pela complexidade do objeto de estudo – a interface entre produção agrícola, legislação ambiental e educação – que demanda uma análise aprofundada de diferentes fontes de informação para a construção de uma compreensão integrada e crítica do tema.

Conforme Gil (2008), a pesquisa bibliográfica é desenvolvida com base em material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos. A pesquisa documental, por sua vez, recorre a fontes mais diversificadas que não receberam ainda um tratamento analítico, ou que podem ser reelaboradas de acordo com os objetivos da pesquisa, como relatórios, leis e documentos oficiais.

As etapas metodológicas para a realização deste trabalho foram as seguintes:

1. Levantamento Bibliográfico e Documental:

- **Revisão de Literatura:** Realizou-se um levantamento exaustivo da produção acadêmica sobre o tema, utilizando bases de dados como SciELO, Google Scholar e periódicos especializados. Foram selecionados livros, teses, dissertações e artigos que abordam a história da cana-de-açúcar no Brasil, seus impactos socioambientais, o desenvolvimento da legislação ambiental e as teorias e práticas da educação ambiental.

- **Análise Documental:** Foram coletados e analisados documentos legais, como a Constituição Federal de 1988, a Lei da Política Nacional do Meio Ambiente (Lei nº 6.938/81), o Código Florestal (Lei nº 12.651/12) e a Lei da Política Nacional de Educação Ambiental (Lei nº 9.795/99 e suas atualizações). Também foram consultados relatórios e dados de órgãos governamentais (IBGE, CONAB, EMBRAPA, MMA, IBAMA), organizações não-governamentais (ONGs) e associações do setor sucroenergético.

2. Análise e Interpretação dos Dados:

A análise do material coletado foi realizada por meio da técnica de análise de conteúdo, na modalidade de análise temática, que consiste em descobrir os núcleos de sentido que compõem a comunicação e cuja presença ou frequência signifiquem alguma coisa para o objetivo analítico visado (BARDIN, 2011). Os dados foram organizados, categorizados e interpretados de forma a:

- Contextualizar historicamente a produção de cana-de-açúcar;
- Identificar os principais pontos de conflito e sinergia entre a atividade produtiva e a legislação ambiental;
- Avaliar o potencial da educação ambiental como instrumento de mediação e transformação;
- Subsidiar a construção dos argumentos e conclusões da tese.

3. Estrutura da Tese:

O trabalho foi estruturado em capítulos que refletem a lógica da investigação. A **Introdução** apresenta o tema, o problema, a hipótese e os objetivos da pesquisa. A **Revisão de Literatura** aprofunda os conceitos teóricos e o estado da arte sobre a história da cana-de-açúcar, a legislação ambiental e a educação ambiental. A **Metodologia** (este capítulo) detalha os caminhos percorridos na pesquisa. Os **Resultados e Discussão** (capítulo a ser incorporado do documento original) apresentam a análise integrada dos dados. Por fim, as **Considerações Finais** sintetizam os resultados, respondem à questão de pesquisa e apresentam recomendações, seguidas das **Referências** utilizadas.

Esta abordagem metodológica permitiu uma imersão profunda no tema, possibilitando a articulação entre diferentes saberes e a construção de uma análise crítica e fundamentada sobre os desafios e oportunidades para a sustentabilidade do setor sucroenergético no Brasil.

CAPITULO I - A CANA-DE-ACÚCAR: ORIGEM E SUA EXPANSÃO PELO MUNDO

INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar, uma das principais fontes para a obtenção do açúcar comum, desempenhou um papel fundamental na história econômica e agrícola de diversas regiões do mundo. Além da cana, a beterraba também é utilizada na produção de açúcar, embora em menor escala em algumas localidades. Do ponto de vista químico e biológico, o açúcar extraído dessas plantas pertence à classe dos carboidratos, compostos orgânicos essenciais que desempenham funções estruturais e energéticas nos organismos vivos. A análise de sua composição contribui para a compreensão de sua importância tanto nutricional quanto industrial ao longo dos séculos. O principal tipo de carboidrato que é encontrado em maiores concentrações é a sacarose. A sacarose é um tipo de molécula dissacarídica, que é conhecida em meio químico desde o ano 200 A. C., dentro os inúmeros tipos de carboidratos, ela é o sólido cristalino que mais está presente, em relação a quantidade, na natureza. A sacarose, é basicamente formada por duas moléculas principais que são a glicose e a frutose o que lhe confere a qualidade de dissacarídeo (Ferreira e Perrone, 2001).

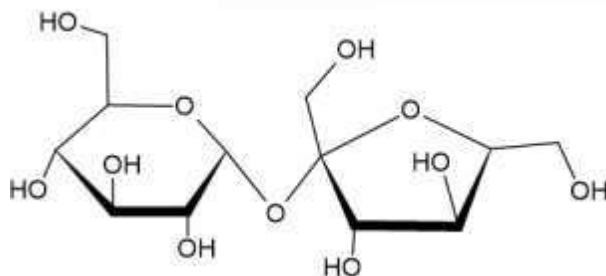


Figura 01. Formula estrutural plana da sacarose $C_{12}H_{22}O_{11}$. Fonte: A autora.

Os carboidratos estão entre os principais alimentos para a condição humana saudável, é encontrado em inúmeros tipos de produtores aos quais o ser humano consome. Assim é possível perceber a grande função desses açúcares na nutrição. Contudo, esses componentes são também utilizados na indústria alimentícia com o intuito de conferir outras propriedades desejadas pelos consumidores. O papel principal da sacarose, assim como da glicose e frutose, em alimentos processados é atuar como agenciador que confere determinados sabores, devido à sua característica de adicionar doçura aos alimentos nos quais é incorporada.

Indiscutivelmente, o açúcar, exerce um papel de extrema relevância na sociedade contemporânea. Sua importância vai muito além do fornecimento de energia imediata aos organismos vivos, estendendo-se às mais diversas aplicações industriais. O açúcar é utilizado como matéria-prima essencial em setores como o alimentício, o farmacêutico e, mais recentemente, na produção de biocombustíveis, sendo uma alternativa energética renovável. Além disso, seu impacto econômico e social se manifesta de forma significativa em países produtores, influenciando políticas agrícolas e estratégias comerciais. Dessa forma, a presença do açúcar na vida cotidiana evidencia sua versatilidade e valor estratégico em escala global.

Desde os tempos antigos, os hindus se destacaram como pioneiros na extração do “suco” da cana-de-açúcar e na evaporação desse líquido em fogueiras abertas. Esse processo rudimentar resultava em uma substância espessa e marrom, que os hindus denominavam de "sarkara", uma palavra sânscrita que significa "grão". É possível identificar que essa palavra deu origem a diversas versões de "açúcar" em várias línguas indo-europeias, como "sukkar" em árabe, "saccharum" em latim, "zucchero" em italiano, "seker" em turco, "zucker" em alemão e "sugar" em inglês (D'AGOSTINI, 2009)

Por volta de 500 a.C., durante as expedições do rei persa Dario, o Grande, pelo rio Indo, os persas descobriram uma planta que produzia açúcar sem depender de abelhas. Rapidamente apreciaram suas propriedades e a trouxeram de volta, expandindo sua produção ao longo do Mediterrâneo Oriental. Para preservar o valor estratégico da planta, os persas impuseram um controle minucioso sobre seu cultivo, restringindo-o a áreas específicas sob vigilância constante. Além disso, estabeleceram severas restrições à sua exportação, visando evitar que outras civilizações tivessem acesso ao recurso. Essas medidas garantiram que os persas mantivessem o monopólio sobre a produção de açúcar, conferindo-lhes uma vantagem econômica significativa. O domínio sobre o cultivo e o comércio da planta se tornou um dos pilares do seu poderio no Mediterrâneo Oriental. No entanto, as invasões, conquistas e o crescimento do comércio, tanto marítimo quanto por caravanas, contribuíram para espalhar o cultivo da cana-de-açúcar desde o rio Indo até o Mar Negro e do Golfo Pérsico até as regiões mais distantes do Saara (MACHADO, 2004).

Cerca de um século depois, por volta do ano 600 d.C., os persas aprimoraram a produção de açúcar cristalizado e começaram a moldá-lo em formas cônicas, dando origem ao que hoje conhecemos como "pão de açúcar", chamado na época de "Tabarseth". No século VII, os árabes invadiram a Pérsia, onde encontraram a cana-de-açúcar e a introduziram nos países mediterrâneos sob seu domínio. Aperfeiçoaram os processos de

refinamento do xarope, produzindo um líquido escuro e pegajoso, conhecido como "Kurat al Milh", que deu origem à palavra "caramelo". Os egípcios, por sua vez, contribuíram para aprimorar a qualidade dos xaropes, utilizando cal para filtrá-los (MACHADO, 2004).

Por séculos, o açúcar permaneceu predominantemente no mundo árabe, até que os cruzados, a partir do século XII, o trouxeram para a Europa, onde se tornou uma cultura de grande importância econômica, especialmente na região do Mediterrâneo. Durante a Idade Média, as técnicas de cultivo e processamento foram aprimoradas, impulsionando ainda mais o comércio de açúcar e seus derivados. Este período também testemunhou a fundação de engenhos e refinarias, precursoras das grandes usinas que caracterizariam a indústria açucareira nos séculos seguintes (MACHADO, 2004).

Com o advento das grandes expansões marítimas realizadas pelos países europeus em meados dos séculos XV e XVI, desempenharam um papel crucial na disseminação da cana-de-açúcar pelo Mundo. Com as colônias estabelecidas nas Américas, os colonizadores espanhóis e portugueses introduziram a cultura da cana em larga escala, aproveitando as condições climáticas favoráveis e o trabalho escravo inicialmente indígena e posteriormente negros trazidos da África, para impulsionar a produção açucareira. Segundo Rodrigues essa exploração massiva de mão de obra escrava deixaria um legado sombrio e duradouro na história das Américas, marcando profundamente a estrutura social e econômica da região. Ao longo dos séculos, a cana-de-açúcar tornou-se uma das principais commodities agrícolas do mundo, alimentando o comércio global e impulsionando a economia de numerosos países. A demanda por açúcar e seus derivados continuou a crescer, levando a avanços tecnológicos na produção e refino da planta. Do surgimento dos modernos processos de centrifugação à engenharia genética para melhorar a resistência e o rendimento das culturas, a indústria açucareira sempre esteve na vanguarda da inovação agrícola. (RODRIGUES E ROSS, 2020).

A CANA-DE-AÇÚCAR: ORIGEM E EXPANSÃO:

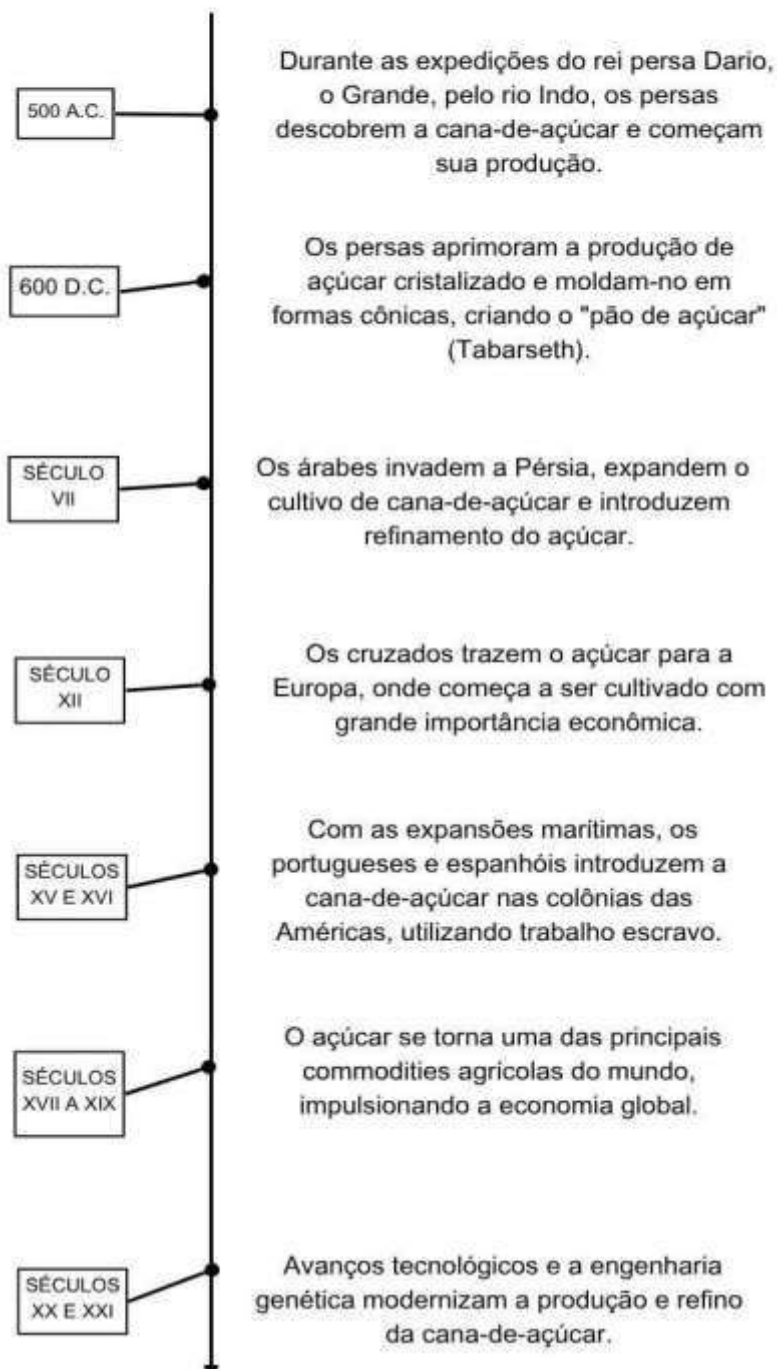


Figura 04: Linha do Tempo - A Cana-de-Açúcar: Origem e Expansão.

A expansão da cana-de-açúcar pelos portugueses nas Américas, especialmente no Brasil, representou um marco significativo na história colonial. A partir do século XVI, com a introdução da cana-de-açúcar nas vastas terras brasileiras, iniciou-se uma nova fase econômica que transformaria o país em um dos maiores produtores globais dessa commodity. O cultivo da cana exigiu a construção dos primeiros engenhos de açúcar, estabelecendo a base para o desenvolvimento de uma indústria que se tornaria central para a economia colonial. Além disso, essa introdução foi acompanhada pela exploração do trabalho escravo, que teve um impacto duradouro nas estruturas sociais e econômicas do Brasil, influenciando profundamente a formação de sua sociedade. (RODRIGUES E ROSS, 2020)

OS IMPACTOS DA CHEGADA DA CANA-DE-ACÚCAR AO BRASIL: A CANA-DE-ACÚCAR TRAZIDA PARA O BRASIL PELOS PORTUGUESES DURANTE O PERÍODO COLONIAL POR VOLTA DO SÉCULO XVI E OS PRIMEIROS ENGENHOS DE ACÚCAR

A cana-de-açúcar chegou através dos Portugueses ao Brasil por volta do século XVI, quando ainda era uma colônia recém-descoberta. Alguns pontos positivos como solo fértil, água em abundância, planície, mão de obra escrava indígena e temperaturas elevadas se fizeram favoráveis para seu desenvolvimento (Rodrigues e Ross, 2020).

Sua chegada ao Brasil, desencadeou transformações profundas e duradouras em sua economia, sociedade e meio ambiente. A instalação dos primeiros engenhos de açúcar não apenas impulsionou a colonização, mas também moldou a estrutura social e econômica que perduraria por séculos.

Não existiria em caráter efetivo outro fenômeno socioeconômico no país que melhor evidencie a formação de nossa identidade territorial, que a produção açucareira, por ter sido esta a grande motivadora dos portugueses para a colonização das terras por eles descobertas em função das grandes navegações. Diversas políticas estatais canaveiras foram sistematicamente se constituindo no Brasil, estabelecendo-se desde o engenho colonial até a época das usinas sucroalcooleiras modernas (Araújo, 2011 *apud* Furtado, 1961, p. 100).

A grande produção e plantio de cana-de-açúcar e as origens das economias dos países coloniais europeus, estão intimamente ligados, tendo em vista que essas colônias foram terras de exploração de recursos aos quais os países colonizadores se abasteciam de

suas benfeitorias. A produção em larga escala da cana-de-açúcar no Brasil remonta ao período colonial, quando os portugueses introduziram essa cultura no território brasileiro por volta do século XVI. Esse evento marcou não apenas o início de uma das indústrias mais importantes do país, mas também teve profundos impactos socioeconômicos e culturais que moldaram a história brasileira (Godoy, 2007).

O início das plantações se deu nas porções litorâneas da costa do Brasil, começaram a ser implantados os canaviais, sendo posteriormente expandidos para as áreas interioranas. Os escravos, inicialmente indígenas e depois africanos, cuidavam da cana, colhiam e a levavam para o engenho, onde era processada, resultando em açúcar exportado para a Europa (Rodrigues e Ross, 2020).

A produção de açúcar tornou-se rapidamente uma atividade econômica fundamental para a colônia portuguesa, sendo responsável por grandes fluxos comerciais entre o Brasil e a Europa. A cana-de-açúcar foi cultivada em larga escala utilizando mão de obra escrava africana, o que gerou um sistema de produção extremamente lucrativo para os colonizadores (Fausto, 1994).

A cana-de-açúcar foi trazida ao Brasil pelos colonizadores portugueses já nas primeiras décadas após o descobrimento, por volta de 1530. A escolha do Brasil como local de cultivo da cana-de-açúcar foi influenciada por uma combinação de fatores, incluindo o clima favorável, a disponibilidade de mão de obra indígena escrava e a demanda crescente por açúcar na Europa (Rezende e Magalhães, 2012).

Com a crescente agricultura da cana-de-açúcar no Brasil, surgiram os primeiros engenhos de açúcar, que foram fundamentais para o decolar da economia colonial. Os engenhos eram complexos industriais onde a cana-de-açúcar era processada para a produção de açúcar e outros subprodutos, como a cachaça e o melado. Essas instalações eram geralmente localizadas próximas às áreas de cultivo de cana-de-açúcar e empregavam uma grande quantidade de mão de obra escrava. Conforme ressalta Freyre (2013), os engenhos de açúcar foram responsáveis pela economia colonial brasileira, forneceram uma fonte de renda estável para os colonizadores portugueses. O açúcar brasileiro foi exportado em grande quantidade para a Europa, onde foi altamente valorizado e contribuiu significativamente para o enriquecimento da metrópole.

Os engenhos de açúcar representavam não apenas uma fonte de riqueza para os colonizadores, mas também um notável centro de produção que impulsionou o desenvolvimento econômico das áreas onde estavam instalados. O trabalho nos engenhos era intensivo e exigia uma quantidade expressiva de mão de obra, o que levou à utilização

massiva de escravos africanos, contribuindo para as transferências do sistema escravocrata no Brasil colonial (MILLER, 1997).

Esses engenhos eram compostos por diversas estruturas, incluindo moedas de tração animal ou hidráulica, fornos para a produção de açúcar e instalações para o armazenamento e transporte do produto. A produção de açúcar nos engenhos era um processo complexo e projetado com conhecimentos técnicos específicos, muitas vezes trazidos da Europa pelos próprios colonizadores ou por técnicos especializados contratados para trabalhar nas plantações. (RODRIGUES E ROSS, 2020)

Além da produção de açúcar, os engenhos também eram responsáveis pela fabricação de outros produtos derivados da cana-de-açúcar, como a cachaça, o melado e a rapadura, que tinham grande demanda tanto no mercado interno quanto no mercado externo. A presença dos engenhos de açúcar teve um impacto significativo na estrutura social e cultural do Brasil colonial. Além de serem centros de produção econômica, os engenhos também eram importantes unidades de organização social, com seus proprietários exercendo grande influência política e social sobre as comunidades locais.

Além dos impactos econômicos, a cultura da cana-de-açúcar teve profundas repercussões sociais e culturais no Brasil colonial. A exigência por mão de obra escrava para trabalhar nos engenhos de açúcar levou ao estabelecimento do sistema de escravidão africana, que deixou um legado de desigualdade e injustiça social que ainda reverbera na sociedade brasileira contemporânea.

De acordo com Hall (2006), a cultura da cana-de-açúcar também influenciou a formação da identidade cultural brasileira, contribuindo para o desenvolvimento de práticas culturais como o samba e a capoeira, que emergiram das comunidades de escravos nos engenhos de açúcar. Além disso, a introdução da cana-de-açúcar também teve um impacto ambiental significativo, com vastas áreas de mata sendo desmatadas para dar lugar aos canaviais. A produção de açúcar no Brasil colônia, estava intimamente ligado ao trabalho escravizado africano. Era possível observar que dentro dos engenhos, os escravos não apenas realizavam atividades laborais, mas também criavam espaços de resistência cultural e expressão artística. O samba e a capoeira são exemplos de manifestações culturais que emergiram desse contexto.

O samba, uma das expressões mais marcantes da cultura brasileira, é fruto da interação de diversas manifestações culturais africanas trazidas pelos escravizados no processo da cana de açúcar, para o Brasil. Sua construção histórica é permeada por fatores

como a escravidão, o racismo estrutural, a imposição de valores morais das elites dominantes e a resistência cultural da população negra. (LISBOA 2010).

O samba, que posteriormente se consolidou como um dos principais gêneros musicais do Brasil, tem suas raízes nos ritmos africanos trazidos pelos escravizados e nas festas realizadas nos quilombos e senzalas. Da mesma forma, a capoeira, inicialmente uma forma de luta disfarçada de dança, tornou-se um símbolo de resistência e identidade afro-brasileira (REIS, 1991). Ambas as manifestações são reconhecidas hoje como patrimônio cultural imaterial do Brasil.

Com a chegada da cana-de-açúcar ao Brasil, sua produção passou a ser a base da economia colonial portuguesa. No entanto, esse crescimento econômico teve um preço alto, pois o modelo de produção adotado foi o sistema de plantation, que se sustentava na exploração da mão de obra escrava africana. As grandes plantações de cana-de-açúcar, com seus engenhos de produção, dependiam intensivamente de trabalhadores forçados para manter a produção em larga escala, refletindo uma estrutura social profundamente desigual. Esse sistema não só impulsionou a economia do Brasil, como também deixou marcas profundas na sociedade, com a consolidação de uma hierarquia social marcada pela escravidão e pela opressão dos negros. O sistema de plantation, atrelado à escravidão africana, foi essencial para o funcionamento da economia colonial, mas também gerou um ciclo de desigualdade que perdurou por séculos e cujos reflexos são sentidos até os dias atuais.

SISTEMA DE PLANTATION E ESCRAVIDÃO: O SISTEMA DE PLANTATION ADOTADO NAS PLANTAÇÕES DE CANA-DE-AÇÚCAR, ATRELADO A UTILIZAÇÃO MACIÇA DE MÃO-DE-OBRA ESCRAVA AFRICANA NAS PLANTAÇÕES DE CANA-DE-AÇÚCAR E SEUS IMPACTOS NA SOCIEDADE BRASILEIRA DA ÉPOCA.

No Brasil colônia, destaca-se a indústria do açúcar no contexto histórico, gerando interesse dos historiadores. É bem conhecido no setor, no entanto, poucas pessoas realmente entendem como o açúcar exportado, principalmente para a Europa e outras partes do mundo, era produzido. Ao investigar o assunto, fica claro que Nossa agricultura colonial era extremamente robusta, incentivada pela coroa portuguesa, que visava atender ao mercado global, especialmente por meio da produção de bens como o açúcar. A implementação desse sistema de monocultura canavieira, com foco na produção para exportação, exigiu a utilização de mão de obra escrava, sendo esta fundamental para o

atingimento dos altos níveis de produção exigidos pelo mercado europeu. Como destaca Tanezini (1994), o sistema de plantation, estruturado nas grandes plantações de cana-de-açúcar, foi uma estratégia que a Coroa portuguesa adotou para integrar a economia colonial ao mercado global, maximizando os lucros com a produção açucareira. Sem o trabalho escravo, seria impossível alcançar a escala e a eficiência requeridas para esse modelo de economia colonial, o que consolidou o Brasil como um dos maiores produtores de açúcar do mundo durante o período colonial.

Durante os séculos XVI ao XVIII, a principal atividade econômica no Brasil era a plantação de cana-de-açúcar, estabelecendo uma sociedade com foco na produção deste produto. A produção de açúcar no Brasil tem uma história profundamente enraizada no sistema de *plantation*, que moldou significativamente a economia e a sociedade do país. Segundo Freire (2003) desde os primeiros dias da colonização portuguesa, a cana-de-açúcar emergiu como o principal produto agrícola, impulsionando um modelo agrícola baseado em grandes propriedades rurais e mão-de-obra intensiva.

Com a deslocação em sentido ao Oeste, a produção de açúcar chegou naturalmente às colônias europeias na América. Segundo Da Silva (2019) um dos principais motivos que alavancaram a produção de açúcar no Brasil naquela época foi o fato de que em outras colônias portuguesas, como Açores, Canárias, Cabo Verde, São Tomé e Madeira, já se cultivava cana-de-açúcar com grande sucesso, tanto em qualidade quanto financeiramente para Portugal, sendo assim, a coroa tinha a expectativa de que o mesmo ocorresse no Brasil.

Com início na Europa, surgiram as plantations escravistas. Somado a casa grande, esse sistema foi seguido nas colônias europeias. A exploração dessas terras decorreria em torno de um produto exclusivo, produzido por mão de obra escrava, que era exportado assim que estava pronto para consumo diretamente para os grandes centros econômicos do mundo. Essa maneira de cultivar a terra, impulsionava a economia do Brasil nos tempos coloniais, Europa e África, onde os comerciantes africanos lucravam com a comercialização de indivíduos que adentravam nos barcos negreiros e eram adquiridos por grandes proprietários de terras para serem empregados em suas propriedades. O sistema de plantation no Brasil colonial era caracterizado pela concentração de terra e pela produção em larga escala de monoculturas destinadas à exportação, como a cana-de-açúcar. Essas propriedades eram operadas por muitos trabalhadores, inicialmente escravizados, trazidos da África para atender à crescente demanda por mão-de-obra nas plantações (SCHWARTZ).

Da Silva (2019) relata que os portugueses chegaram a utilizar os indígenas (nativos) como escravos para produção em larga escala para a produção de cana-de-açúcar, porém sem sucesso, apesar de algumas tribos terem aptidão para o plantio, não tinham a técnica necessária e não demonstravam interesse em aprender, recorrente de grande diferença cultural. Tudo isso gerou a necessidade de uma troca de mão de obra escrava, fazendo assim que utilizassem escravos africanos, onde eles já estavam acostumados com o sistema capitalista ali imposto.

Economicamente, o cultivo da cana-de-açúcar em cima do sistema *plantation* alimentou o comércio de açúcar, que se tornou uma das principais fontes de receita para a coroa portuguesa e para os proprietários de terras no Brasil. A riqueza gerada pelo açúcar ajudou a financiar a expansão colonial portuguesa e a estabelecer uma economia exportadora que dominaria a dinâmica econômica do país por séculos (PEREIRA e WESZ)

De acordo com os autores acima, no âmbito social, o sistema de *plantation* deixou um legado de desigualdade e injustiça. A escravidão africana foi central para a operação das plantações de cana-de-açúcar, com milhares de africanos sendo trazidos à força para o Brasil para trabalhar sob condições brutais. Esse sistema escravista não só sustentou a produção açucareira, mas também deixou cicatrizes profundas na estrutura social brasileira, cujos impactos persistem até os dias atuais. Já na característica cultural, a cana-de-açúcar e o sistema citado, tornaram-se símbolos não apenas de riqueza material, mas também de poder e prestígio social. As plantações de cana moldaram paisagens e comunidades ao longo dos séculos, influenciando tradições culinárias, práticas religiosas e sistemas de crenças.

A escravidão foi uma instituição nacional. Penetrou toda a sociedade, condicionando seu modo de agir e de pensar. O desejo de ser dono de escravos, o esforço por obtê-los ia da classe dominante ao modesto artesão branco das cidades. Houve senhores de engenho e proprietários de minas com centenas de escravos, pequenos lavradores com dois ou três, lares domésticos, nas cidades, com apenas um escravo. O preconceito contra o negro ultrapassou o fim da escravidão e chegou modificado a nossos dias. Até pelo menos a introdução em massa de trabalhadores europeus no centro-sul do Brasil, o trabalho manual foi socialmente desprezado como "coisa de negro. (Fausto, 1996, p. 41).

Hoje, enquanto a produção de açúcar no Brasil evoluiu significativamente em termos de tecnologia e práticas agrícolas, o legado do sistema de *plantation* continua a influenciar profundamente a estrutura econômica e social do Brasil. Segundo o site da

ÚNICA, a produção de cana-de-açúcar, embora modernizada, mantém-se como uma atividade econômica crucial, enfrentando desafios contemporâneos significativos.

Questões ambientais, como o uso relacionados à metodologia do cultivo da cana de açúcar, são cada vez mais discutidas. Além disso, ainda existem as preocupações com direitos trabalhistas, refletindo desigualdades históricas e demandas por condições de trabalho mais justas. A sustentabilidade tornou-se uma prioridade, com pressões por práticas agrícolas responsáveis e políticas que equilibrem desenvolvimento econômico com conservação ambiental e inclusão social. A cana-de-açúcar, assim, não apenas sustenta uma parte significativa da economia brasileira, mas também toma local de destaque nos ramos sociais e culturais no Brasil (OTTONI, 2010).

Ao longo dos séculos, a indústria açucareira no Brasil passou por um processo de transformação que reflete profundas mudanças econômicas, sociais e tecnológicas. O modelo de plantation, essencial no período colonial para sustentar uma economia voltada à exportação, foi perdendo força com o tempo, especialmente após o declínio da escravidão e a emergência de novas atividades econômicas no país. Durante o século XX, a cana-de-açúcar se adaptou às exigências da industrialização e do mercado interno, ganhando fôlego com o advento do etanol como alternativa energética, especialmente durante a crise do petróleo. Assim, de uma base econômica escravista e concentradora de renda, a indústria açucareira transitou para um modelo mais técnico, ainda que marcado por desafios contemporâneos como a sustentabilidade ambiental e os direitos trabalhistas. Essa trajetória revela não apenas o declínio de um sistema ultrapassado, mas a reinvenção da cana-de-açúcar como um dos pilares da economia brasileira moderna.

DE 1500 A 2000: O DECLÍNIO E TRANSFORMAÇÃO DA INDÚSTRIA AÇUCAREIRA DO BRASIL.

A indústria açucareira do Brasil desempenhou um papel crucial na economia do país desde a chegada dos portugueses em 1500 até o final do século XX. Durante esse período, a indústria passou por várias fases de ascensão, declínio e transformação, moldando a paisagem econômica, social e cultural do Brasil. Desde a chegada dos portugueses ao Brasil em 1500, a indústria açucareira tem desempenhado um papel fundamental na economia do país. Por mais de quatro séculos, essa indústria passou por diversas fases, influenciando profundamente a paisagem econômica, social e cultural do Brasil (Machado, 2004).

Nos primeiros anos da colonização, o cultivo de cana-de-açúcar tornou-se a principal atividade econômica, gerando riquezas significativas para os colonizadores e promovendo a criação e o desenvolvimento das primeiras vilas e cidades no litoral nordestino. Com o tempo, a produção de açúcar brasileiro tornou-se reconhecida internacionalmente, especialmente no mercado europeu, consolidando o Brasil como um dos maiores produtores mundiais de açúcar (RODRIGUES E ROSS, 2020).

No entanto, segundo Machado (2004), a indústria açucareira também enfrentou desafios consideráveis ao longo dos anos. A concorrência de outros países produtores, as mudanças nas políticas econômicas e os avanços tecnológicos influenciaram períodos de declínio e transformação. Durante o século XIX, com a abolição da escravidão, a indústria teve que se adaptar a novas formas de trabalho e modernização das técnicas de cultivo e produção. No século XX, a mecanização e a industrialização trouxeram novas oportunidades e desafios, exigindo inovações constantes para manter a competitividade no mercado global.

Ao longo de sua história, a indústria açucareira não apenas moldou a economia brasileira, mas também teve um impacto profundo na sociedade e na cultura do país. A herança cultural deixada pelos engenhos de açúcar é visível até hoje, com influências na música, na culinária e nas tradições populares. Portanto, a indústria açucareira é uma parte integral da identidade brasileira, refletindo um legado de resiliência e adaptação. (GOES; MARRA E SILVA, 2008).

No início da colonização, o Brasil se destacou como um dos principais produtores de açúcar do mundo. Os portugueses introduziram o cultivo da cana-de-açúcar na região nordeste do país, aproveitando as condições climáticas favoráveis. A partir do século XVI, engenhos de açúcar foram estabelecidos, especialmente em Pernambuco e na Bahia, impulsionando a economia colonial. O sistema de plantation, caracterizado pelo uso intensivo de mão de obra escrava africana, sustentou a produção de açúcar, tornando o Brasil o maior exportador mundial do produto até o início do século XVIII (FREYRE, 2013)

Com a independência do Brasil em 1822, a indústria açucareira passou a enfrentar uma série de novos desafios. A abolição do tráfico de escravos em 1850, seguida pela abolição definitiva da escravidão em 1888, teve um impacto profundo no setor açucareiro. Essas mudanças legais forçaram os produtores de açúcar a buscarem novas formas de trabalho e a adotar tecnologias modernas para substituir a mão de obra escrava. A transição foi complexa e exigiu uma adaptação significativa das práticas agrícolas e industriais.

Antes da abolição, a mão de obra escrava era a base da produção de açúcar no Brasil, e a mudança para um sistema de trabalho livre implicou em grandes transformações econômicas e sociais. Os engenhos de açúcar, que dependiam quase exclusivamente do trabalho escravo, tiveram que reestruturar suas operações. Muitos proprietários de engenhos enfrentaram dificuldades financeiras e a produtividade da indústria diminuiu temporariamente (SCHWARTZ, 1985).

Para superar esses desafios, houve um movimento em direção à modernização e mecanização da produção de açúcar. Investimentos em novas tecnologias e a introdução de trabalhadores imigrantes, principalmente europeus, ajudaram a revitalizar a indústria. O uso de maquinários modernos permitiu um aumento na eficiência e na produção, permitindo que a indústria açucareira se mantivesse competitiva no cenário global. Essas transformações tiveram um impacto duradouro na estrutura econômica do Brasil. A indústria açucareira passou de um sistema baseado na escravidão para um modelo mais industrializado e mecanizado (RODRIGUES E ROSS, 2020).

Na primeira metade do século XX, a indústria açucareira brasileira passou por uma fase de estagnação e modernização. A introdução de novas tecnologias e técnicas agrícolas, bem como a diversificação das culturas agrícolas, começaram a mudar a dinâmica da produção. No entanto, a produção de açúcar permaneceu concentrada em pequenas propriedades e engenhos tradicionais, limitando a capacidade do Brasil de competir no mercado internacional. (RODRIGUES E ROSS, 2020)

A partir da década de 1950, o Brasil começou a investir significativamente na modernização da sua indústria açucareira. O governo implementou políticas de incentivo à mecanização e à adoção de novas tecnologias, além de promover a criação de usinas integradas que combinavam a produção de açúcar e álcool. Esse período marcou o início da indústria sucroalcooleira, que viria a desempenhar um papel crucial na economia do país nas décadas seguintes. O Programa Nacional do Álcool (Proálcool), lançado em 1975, foi um marco importante na transformação da indústria açucareira. Com o objetivo de reduzir a dependência do petróleo importado, o Proálcool incentivou a produção de etanol a partir da cana-de-açúcar. Como resultado, a produção de açúcar e álcool cresceu significativamente, e o Brasil se tornou um líder mundial na produção de biocombustíveis (ÚNICA 2024).

Apesar dos avanços, a indústria açucareira brasileira enfrentou desafios contínuos ao longo do final do século XX. Segundo o a ÚNICA (2024), a volatilidade dos preços internacionais do açúcar, a concorrência de outros países produtores e as questões

ambientais e sociais relacionadas à monocultura de cana-de-açúcar colocaram em risco a sustentabilidade do setor.

A oscilação dos preços internacionais do açúcar impôs uma pressão constante sobre os produtores brasileiros, que dependiam fortemente das exportações. A concorrência de outros países produtores, com custos de produção potencialmente mais baixos, intensificou a necessidade de aumentar a eficiência e reduzir os custos. A monocultura da cana-de-açúcar, embora eficiente em termos de produção, gerou preocupações ambientais e sociais. O desmatamento para expansão das plantações, a degradação do solo e o uso intensivo de agrotóxicos levantaram questionamentos sobre a sustentabilidade do modelo. (RODRIGUES E ROSS, 2020).

Período	Características Principais	Impactos Econômicos, Sociais e Culturais
1. Período Colonial (1500–1822)	- Início do cultivo da cana no Nordeste	- Brasil como maior exportador mundial de açúcar até o século XVIII
	- Sistema de plantation com mão de obra escrava africana	- Formação de vilas e cidades
	- Instalação dos engenhos em Pernambuco e Bahia	- Fundação da cultura agroexportadora e escravocrata
2. Mudanças e Declínio (1822–1888)	- Fim do tráfico de escravos (1850) e abolição da escravidão (1888)	- Crise nos engenhos tradicionais
	- Dificuldades de adaptação à mão de obra livre	- Modernização gradual
	- Introdução da mecanização e de imigrantes europeus	- Reestruturação socioeconômica rural
3. Primeira metade do século XX	- Estagnação da produção	- Produção limitada para o mercado interno
	- Introdução de novas técnicas agrícolas	- Pouca competitividade internacional
	- Predomínio dos engenhos pequenos e tradicionais	
4. Transformação e Modernização (1950–2000)	- Incentivos estatais à mecanização	- Crescimento da produção de açúcar e etanol
	- Criação de usinas integradas (açúcar + álcool)	- Brasil como potência na produção de biocombustíveis
	- Lançamento do Proálcool (1975)	- Desenvolvimento do setor sucroalcooleiro
5. Sustentabilidade e Desafios (2000–Atual)	- Volatilidade dos preços do açúcar	- Pressões por modelos sustentáveis
	- Concorrência internacional	- Necessidade de inovações ecológicas
	- Problemas ambientais: desmatamento, agrotóxicos, monocultura	- Discussão sobre impactos sociais e ambientais

Tabela 1 – Evolução histórica da cultura da cana-de-açúcar no Brasil: características principais e impactos econômicos, sociais e culturais (1500–atualidade). *Fonte: Produção própria (2025).*

O SISTEMA SUCROALCOOLEIRO BRASILEIRO

O sistema sucroalcooleiro brasileiro é um dos setores agrícolas mais antigos e bem estabelecidos do país, sendo responsável por um importante parcela do PIB agrícola e

influenciando diretamente o mercado de combustíveis e o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis. Sua complexa cadeia produtiva inicia-se no cultivo da cana-de-açúcar e se estende até a produção e distribuição de açúcar, etanol e energia. O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, com mais de 8 milhões de hectares colhidos. O país possui mais de 400 usinas de cana-de-açúcar, sendo que a maioria está localizada em São Paulo, seguida por Minas Gerais e Goiás. Segundo dados do Ministério de Agricultura e Pecuária (MAPA), a cana-de-açúcar representa cerca de 2% do Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil no ano de 2022. Este setor é caracterizado por altos investimentos em pesquisa e desenvolvimento, especialmente em inovações biotecnológicas e energias renováveis.

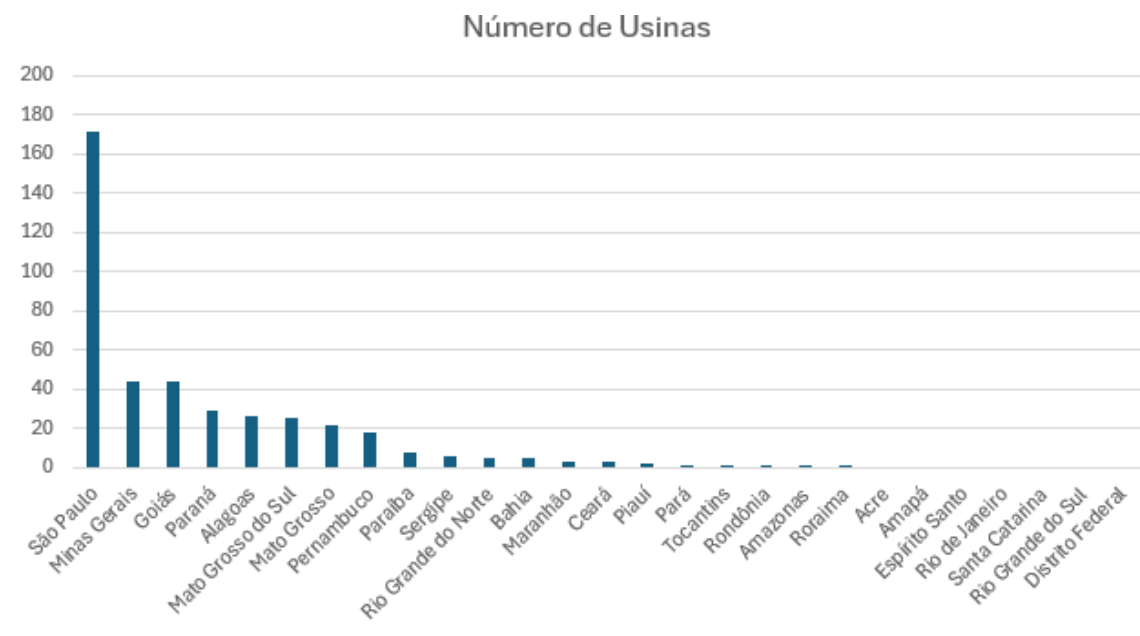


Figura 2 – Distribuição do número de usinas de cana-de-açúcar no Brasil por estado

Fonte: Adaptado de NOVACANA (2025). Disponível em: www.novacana.com/usinas_brasil. Acesso em: janeiro 2025

Ainda de acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (Conab) os últimos dados referentes à produção de cana-de-açúcar no período 2023/2024 no Brasil, traz valores que chegam a 713,2 milhões de toneladas, com estimativas de dados que podem elevar esses números ainda mais para a próxima safra de 2024/2025.

A cadeia produtiva da cana-de-açúcar no Brasil é um processo complexo e altamente eficiente, que envolve desde o cultivo e a colheita até o transporte, a moagem e

a produção de produtos como açúcar, etanol e energia elétrica. Cada etapa é cuidadosamente planejada para maximizar a eficiência e reduzir custos, aproveitando ao máximo os subprodutos como o bagaço e a palha, que são utilizados na cogeração de energia. Nos últimos anos, o avanço da mecanização e o aperfeiçoamento logístico impulsionaram a eficiência desse processo produtivo, permitindo uma colheita mais rápida e com menos desperdício. A introdução de máquinas especializadas, como colhedoras de cana automatizadas, reduziu a dependência do trabalho manual e aumentou a capacidade de produção. Além disso, melhorias na logística de transporte e distribuição diminuíram os custos associados ao deslocamento da matéria-prima e dos produtos, garantindo que o setor sucroalcooleiro continue competitivo no mercado global. (ARAÚJO e SOBRINHO, 2024)

A otimização do uso dos subprodutos é um diferencial importante: o bagaço da cana, por exemplo, é convertido em biomassa para geração de energia elétrica, atendendo a demanda interna das usinas e gerando excedentes que podem ser vendidos para o sistema elétrico nacional. O bagaço da cana-de-açúcar é a principal matéria-prima nas usinas termelétricas das empresas sucroenergéticas, pois é uma matéria prima que pode ser ricamente aproveitada para tal função e que é um subproduto do processo na moagem. A energia elétrica gerada pela combustão do bagaço nas caldeiras é utilizada pela própria usina, e o excedente é comercializado com as empresas fornecedoras de energia. Isso não só diversifica a fonte de receitas para as usinas, como também contribui para a sustentabilidade energética do país, reduzindo a dependência de fontes não renováveis. Dados da própria Embrapa revelam que a produção da energia elétrica nas usinas não só é suficiente para seu próprio uso como que mais de 60% dessa energia gerada e fornecida para a rede para as concessionárias de energia.

Sendo assim, o modelo de produção do setor sucroalcooleiro no Brasil, fundamentado em inovação e sustentabilidade, destaca-se como um dos mais dinâmicos e avançados da economia agrícola. A integração de tecnologias de ponta – como a mecanização da colheita e a biotecnologia aplicada ao melhoramento genético da cana-de-açúcar – tornou o processo produtivo mais eficiente, reduzindo custos e minimizando o impacto ambiental. Essa cadeia produtiva, que inclui o cultivo, colheita, transporte, moagem e fabricação de açúcar, etanol e energia, otimiza os recursos ao aproveitar integralmente a planta, transformando o bagaço e a palha em biomassa para cogeração de energia elétrica (EMBRAPA, 2024).

O setor sucroalcooleiro é um grande empregador no Brasil, especialmente nas regiões rurais do Sudeste e centro-oeste. Além da criação de empregos diretos e indiretos,

contribui para a geração de renda e o desenvolvimento regional. Estudos apontam que as áreas com grande presença de usinas de cana-de-açúcar tendem a apresentar melhores indicadores econômicos. (ÚNICA, 2024).

Como mencionado anteriormente, a cana-de-açúcar é uma das culturas mais importantes para o Brasil (pois gera milhões de empregos diretos e indiretos por consequência movimenta uma fatia grandiosa do PIB nacional), não apenas por sua contribuição para a economia, mas também por sua versatilidade. Além do açúcar e do etanol, que são os produtos mais conhecidos, a cana-de-açúcar pode ser transformada em uma gama de outros produtos, impulsionando a bioeconomia e a sustentabilidade.

Segundo a EMBRAPA (2024), a cana-de-açúcar gera diversos subprodutos com ampla aplicabilidade industrial e agropecuária. Um dos principais resíduos é o bagaço, parte fibrosa que permanece após a extração do caldo da cana. Esse resíduo apresenta grande potencial energético, sendo amplamente utilizado na geração de energia elétrica e térmica por meio da queima em caldeiras nas próprias usinas ou em sistemas interligados à rede elétrica. Além disso, o bagaço pode ser destinado à produção de biogás, uma alternativa sustentável de combustível e geração de energia. Outro uso relevante do bagaço é na fabricação de papel, aproveitando suas fibras como matéria-prima alternativa à celulose proveniente da madeira, contribuindo, assim, para a preservação de florestas (EMBRAPA, 2024).

A palha da cana-de-açúcar, por sua vez, também possui aproveitamentos significativos. Pode ser utilizada como forragem para alimentação animal, especialmente em períodos de estiagem, ou ainda ser convertida em biocombustíveis de segunda geração, como o etanol celulósico, que representa uma alternativa renovável com menor impacto ambiental (EMBRAPA, 2024).

Outro subproduto relevante é a vinhaça, um resíduo líquido gerado durante o processo de produção de etanol. Rica em potássio e outros nutrientes, a vinhaça tem aplicação direta na fertilização do solo, promovendo o reaproveitamento de resíduos e a redução do uso de fertilizantes minerais. Além disso, pode ser utilizada na produção de biogás, sendo uma solução tecnológica de valorização energética de resíduos líquidos (EMBRAPA, 2024).

Por fim, destaca-se o melaço, um líquido espesso e escuro obtido após o processo de cristalização do açúcar. Ele é comumente aproveitado na produção de bebidas alcoólicas, como aguardente, e serve como suplemento alimentar para animais, sendo uma fonte energética complementar em dietas pecuárias (EMBRAPA, 2024).

Além das aplicações mais tradicionais, a cana-de-açúcar também tem sido explorada para a produção de diversos outros produtos de valor agregado. O melaço, por exemplo, além de seu uso na alimentação animal e produção de álcool, pode ser transformado em ácido cítrico, rapadura, vinagre e outros produtos de interesse alimentar e industrial, ampliando as possibilidades de aproveitamento da biomassa residual da cana (EMBRAPA, 2023).

A crescente busca por soluções sustentáveis também tem impulsionado o uso da cana-de-açúcar como base para o desenvolvimento de plásticos biodegradáveis, com destaque para o uso do etanol derivado da cana na síntese de biopolímeros. Esses materiais têm ganhado espaço no mercado em razão de sua menor agressividade ao meio ambiente em comparação aos plásticos convencionais. Além disso, as fibras extraídas da cana são ricas em celulose e podem ser direcionadas à produção de papel e outros materiais celulósicos, representando uma alternativa renovável e de baixo impacto ambiental. A planta também serve como base para a fabricação de diversos produtos químicos, como o ácido láctico e o próprio ácido cítrico, ambos utilizados em setores como o alimentício, farmacêutico e cosmético. (EMBRAPA, 2023)

Dessa forma, a versatilidade da cana-de-açúcar evidencia seu papel estratégico para a economia brasileira, não apenas pela sua tradicional importância no setor sucroenergético, mas também pelas possibilidades de inovação industrial e tecnológica que oferece por meio do aproveitamento integral de seus componentes.

A PRODUÇÃO E OS IMPACTOS DA INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA NO BRASIL.

O setor sucroalcooleiro no país se destaca por suas características singulares, que o distinguem de seus equivalentes em outros países. Em primeiro lugar, a maioria das indústrias produz uma quantidade significativa de cana-de-açúcar que processa. Em contrapartida, o padrão internacional geralmente separa a atividade agrícola da produção industrial de cana-de-açúcar. Esse modelo organizacional está intimamente ligado à vasta extensão territorial do país, à abundância de terras férteis adequadas ao cultivo de cana-de-açúcar e à tradição agrícola nacional (CONAB, 2024).

Outro aspecto relevante é a diversidade tradicional de produtos comerciais compostos do caldo de cana-de-açúcar e dos resíduos líquidos e sólidos da moagem. Além do açúcar e do etanol, destacam-se a lista de produtos a cachaça e a rapadura, produzidos em pequenas fábricas especializadas nessa atividade, e a cogeração de energia elétrica

obtida pela queima do bagaço. Quanto ao açúcar e ao etanol, a maior parte de sua produção provém de indústrias equipadas para a fabricação de ambos os produtos.

“O Brasil produziu 634,8 milhões de toneladas de cana-de-açúcar nesta safra em pouco mais de 9 milhões de hectares. A produção do país sofreu uma queda de 3,7% em relação à safra passada e só não foi maior porque foi compensada por um leve aumento na área plantada no país (2,2%), ou seja, a queda na produção está diretamente relacionada com a queda na produtividade de 5,7% (gráfico 01).” (CONAB, 2024).

O cultivo da cana-de-açúcar no Brasil é crescente, de acordo com os dados disponibilizados pela CONAB, estima-se que haja um crescimento de até 6% em relação à safra 23/24 (que já é safra recorde) para a safra 24/25

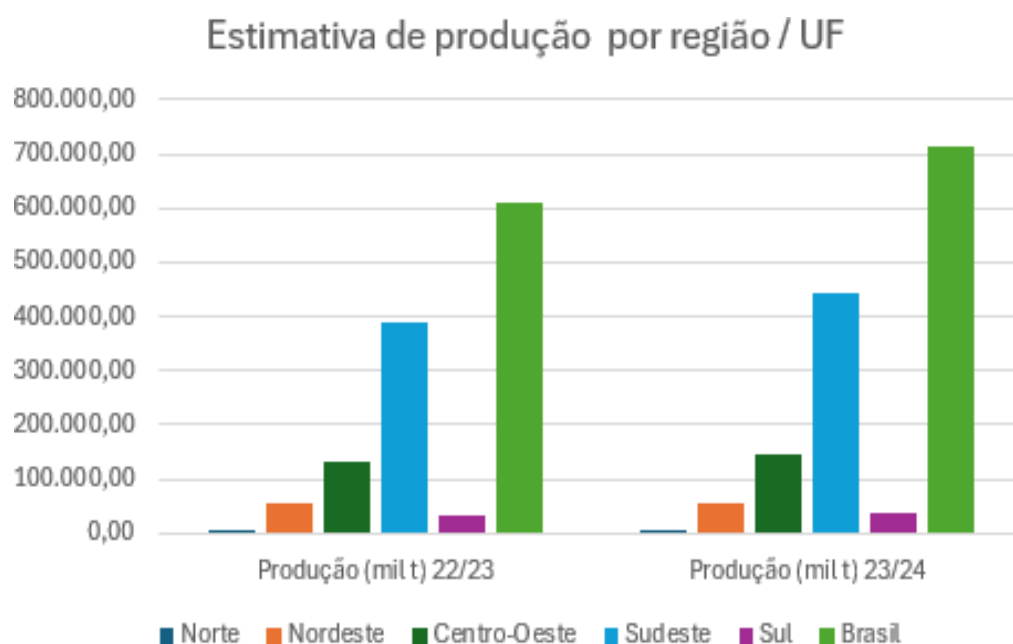


Figura 3 – Estimativas produção de cana-de-açúcar no Brasil Safras 2022/23 e 2023/24
(Adaptado de Conab, abril/2024)

A indústria sucroalcooleira no Brasil desempenha um papel crucial na economia nacional, influenciando não apenas o ambiente local, mas também impactando

significativamente o meio ambiente e a sociedade em níveis regionais. Economicamente, a produção de açúcar e etanol gera empregos diretos e indiretos, contribuindo para o crescimento econômico local através do comércio, serviços e infraestrutura. No entanto, essa atividade também traz desafios ambientais consideráveis, como a demanda por água e energia, e os efeitos da expansão das plantações sobre ecossistemas naturais e biodiversidade.

Socialmente, a indústria sucroalcooleira pode beneficiar comunidades locais com investimentos em educação, saúde e infraestrutura, mas também enfrenta críticas devido a questões trabalhistas, incluindo condições de trabalho e direitos dos trabalhadores. Além disso, as operações das usinas de açúcar e etanol muitas vezes geram impactos na saúde pública e qualidade de vida, especialmente em áreas próximas às plantações e unidades industriais (Ottoni, 2010).

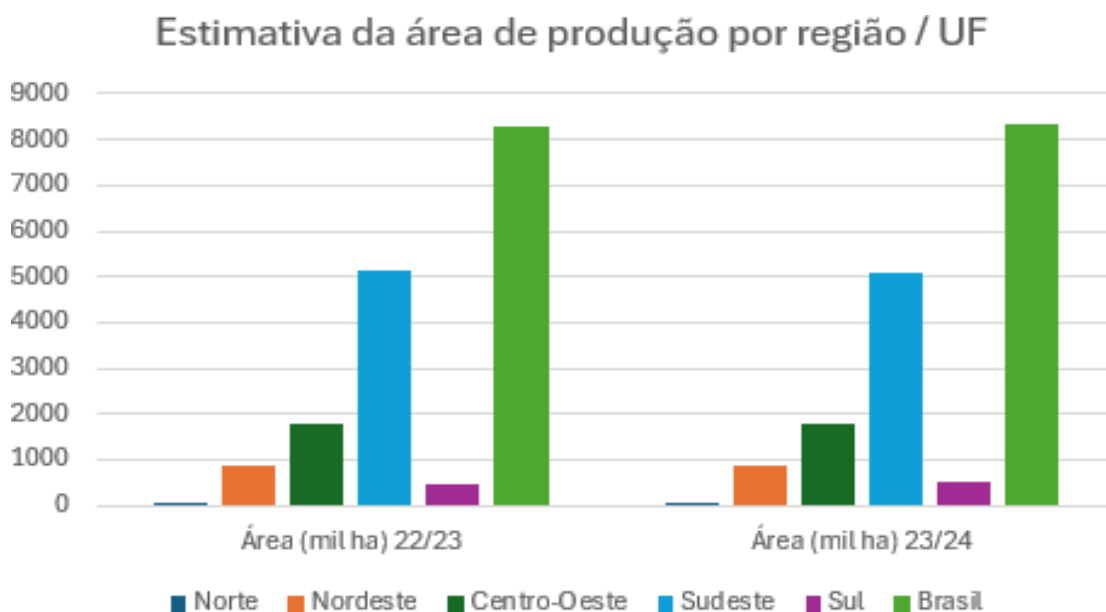


Figura 4 – Estimativas da área de produção de cana-de-açúcar no Brasil Safras 2022/23 e 2023/24 (Adaptado de Conab, abril/2024)

Segundo Ottoni (2010) os impactos advindos da produção da cana de açúcar abrangem diversas áreas, desde o desenvolvimento econômico regional até questões ambientais e sociais. Este setor, que engloba a produção de açúcar, etanol e outros

derivados da cana-de-açúcar, tem sido objeto de intensos debates devido aos seus efeitos tanto positivos quanto negativos.

Inicialmente, é importante destacar o papel econômico da indústria sucroalcooleira no Brasil. Segundo a EMBRAPA, o país é um dos maiores produtores mundiais de cana-de-açúcar, o que coloca a indústria em uma posição estratégica no mercado global de commodities. A produção de açúcar e etanol gera investimentos diretos e indiretos em diversas regiões, contribuindo para o crescimento econômico e a redução das desigualdades sociais. Além disso, o setor sucroalcooleiro tem um impacto significativo nas exportações brasileiras, gerando divisões e contribuindo para o equilíbrio da balança comercial. Existem hoje no Brasil cidades que são literalmente movidas quase que totalmente pela agricultura de cana-de-açúcar.

Pode-se compreender a importância da cultura da cana para o crescimento econômico do país. Do cultivo da cana-de-açúcar é possível ter um aproveitamento de praticamente todos os produtos e subprodutos, como o açúcar, o álcool anidro e hidratado, o bagaço da cana, a torta da filtragem e a vinhaça cada um com suas particularidades e por consequência podem ter impactos diferentes.

O bagaço é o resíduo fibroso que sobra após a extração do suco da cana. Este subproduto é amplamente utilizado como fonte de energia nas próprias usinas sucroalcooleiras, sendo queimado para gerar vapor e eletricidade. Essa prática não só torna as usinas autossuficientes em termos energéticos, como também contribui para a redução das emissões de gases de efeito estufa, uma vez que substitui o uso de combustíveis fósseis (CETESB, 2023).

A torta da filtragem, um subproduto rico em nutrientes, é frequentemente utilizada como fertilizante orgânico. Este resíduo contém altos níveis de matéria orgânica e nutrientes essenciais como nitrogênio, fósforo e potássio, melhorando a fertilidade do solo e a produtividade agrícola. Seu uso na agricultura ajuda a fechar o ciclo de nutrientes, promovendo uma agricultura mais sustentável (EMBRAPA, 2023).

A vinhaça, subproduto da destilação do álcool, é um líquido rico em nutrientes, mas com alto potencial poluente. Entretanto, quando adequadamente tratada, a vinhaça pode ser usada na irrigação, fornecendo nutrientes valiosos para as plantações e reduzindo a necessidade de fertilizantes químicos. Esta prática sustentável contribui para a melhoria da qualidade do solo e para a gestão eficiente de resíduos na indústria sucroalcooleira.

De acordo com o CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), em sua resolução nº 1, de 23 de janeiro de 1986 Publicada no DOU, de 17 de fevereiro de 1986, Seção 1, páginas 2548-2549:

(...) considera-se impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam:

I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população;

II - as atividades sociais e econômicas;

III - a biota;

IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;

V - a qualidade dos recursos ambientais. (CONAMA, 1986)

Além dos impactos ambientais, o cultivo da cana de açúcar também pode gerar impactos socioeconômicos na região onde se situa. Segundo Andrade e Diniz (2007) a relação aos impactos ambientais relacionados ao cultivo da cana de açúcar está pautada em duas fases a agrícola e a industrial que trazem consigo os impactos:

- I. Redução da biodiversidade, causada pelo desmatamento e pela implantação de monocultura;
- II. Contaminação das águas superficiais e subterrâneas e do solo, por meio da prática excessiva de adubação química, corretivos minerais e aplicação de herbicidas e defensivos agrícolas;
- III. Compactação do solo, pelo tráfego de máquinas pesadas, durante o plantio, tratamentos culturais e colheita;
- IV. Assoreamento de corpos d'água, devido à erosão do solo em áreas de reforma;
- V. Emissão de fuligem e gases de efeito estufa, na queima, ao ar livre, de palha, durante o período de colheita;
- VI. Danos à flora e fauna, causados por incêndios descontrolados;
- VII. Consumo intenso de óleo diesel, nas etapas de plantio, colheita e transporte;

Observando os dados fornecidos por Andrade e Diniz (2007), os benefícios econômicos da indústria sucroalcooleira muitas vezes vêm acompanhados de desafios ambientais. A expansão das plantações de cana-de-açúcar pode levar à conversão de áreas de vegetação nativa, como a Mata Atlântica e o Cerrado, em monoculturas, resultando na perda de biodiversidade e na manipulação do solo. Além disso, o processo de produção de açúcar e etanol pode gerar impactos negativos no meio ambiente, incluindo a poluição do

ar e da água, o consumo excessivo de recursos naturais e a geração de resíduos sólidos e líquidos.

Outro aspecto importante a considerar são os impactos sociais da indústria sucroalcooleira. Apesar de gerar empregos e receitas em muitas regiões, o setor também enfrenta críticas relacionadas às condições de trabalho, especialmente nas áreas rurais. Trabalhadores rurais muitas vezes enfrentam dificuldades, jornadas de trabalho extenuantes e condições precárias de moradia, o que levanta questões sobre justiça social e direitos trabalhistas. Além disso, a expansão das plantações de cana-de-açúcar pode levar ao conflito de terras e à exclusão de comunidades tradicionais, como indígenas e quilombolas, de seus territórios ancestrais.

CAPÍTULO II - OS CONFLITOS DE INTERESSES ENTRE O DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DA CANA-DE-AÇÚCAR E A PRESERVAÇÃO AMBIENTAL.

INTRODUÇÃO

O cultivo de cana-de-açúcar tem uma relevância histórica e econômica significativa no Brasil, sendo a principal matéria-prima da indústria sucroalcooleira, que engloba a produção principalmente de açúcar e etanol. No entanto, o desenvolvimento dessa cultura gera um paradoxo entre o progresso econômico e a preservação ambiental. Este conflito de interesses torna-se especialmente complexo devido ao impacto ambiental do cultivo em larga escala, que inclui problemas como desmatamento, erosão do solo, contaminação de recursos hídricos e emissão de gases de efeito estufa, somados à necessidade de crescimento econômico e geração de emprego. Observando o cenário mundial da atualidade, se faz necessário uma análise mais detalhada sobre o caso pois as questões sobre sustentabilidade e mudanças climáticas, são temas superimportantes, o que se torna essencial entender e analisar os desafios e potenciais soluções para um desenvolvimento mais equilibrado dessa atividade.

O cultivo da cana-de-açúcar foi introduzido no Brasil pelos colonizadores portugueses no século XVI e rapidamente se tornou a base da economia colonial, sendo cultivado inicialmente no Nordeste e posteriormente em outras regiões do país. O modelo de produção adotado, conhecido como sistema de plantation, era caracterizado pela monocultura extensiva e pela utilização de mão de obra escrava. Esse sistema não apenas impactou a estrutura socioeconômica da época, mas também impôs consequências ambientais, como a degradação dos solos e o desmatamento para abrir espaço para as plantações. Com o passar dos séculos, a cana-de-açúcar consolidou-se como uma das culturas mais relevantes para a economia brasileira, adaptando-se a novos contextos e expandindo-se para regiões como o Sudeste e o Centro-Oeste, onde condições climáticas e políticas de incentivo propiciaram um crescimento substancial. (RODRIGUES E ROSS, 2020).

A industrialização da produção de açúcar e, mais recentemente, a expansão do mercado de etanol como biocombustível impulsionaram ainda mais a expansão das áreas de cultivo, tornando o Brasil um dos maiores produtores e exportadores mundiais. Esse processo, entretanto, foi frequentemente marcado pela ausência de preocupações ambientais significativas até meados do século XX. As práticas de queimadas, por exemplo, amplamente utilizadas no manejo da cana, geraram problemas de poluição do ar

e contribuíram para a emissão de gases de efeito estufa, que acentuam o impacto ambiental dessa indústria. (RODRIGUES E ROSS, 2020).

O cultivo intensivo de cana-de-açúcar gera diversos impactos ambientais que se relacionam tanto com o manejo do solo quanto com os recursos hídricos e a biodiversidade. Um dos principais problemas ambientais relacionados ao cultivo da cana é o desmatamento. Segundo Wissmann (2017), A agroindústria canavieira no Brasil é caracterizada por uma inter-relação complexa entre impactos econômicos, sociais e ambientais, o que dificulta a dissociação desses elementos em uma análise isolada. A relevância dessa atividade para o crescimento econômico nacional é evidente, dado seu papel significativo na geração de empregos diretos e indiretos, tanto no mercado formal quanto informal.

Em muitas regiões, a expansão das plantações se deu à custa de ecossistemas nativos, como a Mata Atlântica e, mais recentemente, o Cerrado. A remoção da vegetação nativa contribui para a perda de biodiversidade e reduz a capacidade de absorção de carbono das áreas cultivadas. Além disso, o uso extensivo de fertilizantes e agrotóxicos nas lavouras de cana tem impactos adversos na qualidade do solo e na contaminação dos lençóis freáticos, o que afeta a saúde dos ecossistemas locais e das populações humanas que dependem desses recursos. De acordo com Projeto de Monitoramento do Desmatamento das Florestas Brasileira por Satélite (Prodes), que é um programa do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) que monitora os desmatamentos por meio de satélites, em 2023, a área desmatada no Cerrado foi de aproximadamente de 1.110.326 hectares, o que representa um aumento de 68% em relação a 2022. O Cerrado é o bioma mais desmatado do Brasil, respondendo por 61% da área desmatada no país. (INPE, 2024)

A principal causa do desmatamento no Cerrado é a expansão da agropecuária, que já ocupa 40% das terras. Outros fatores que contribuem para o desmatamento são a flexibilização das leis ambientais e a menor fiscalização dos biomas. O Cerrado já perdeu mais da metade de sua vegetação nativa. A região é vulnerável às mudanças climáticas e aos impactos humanos, o que exige ações decisivas para reverter a situação. (INPE, 2024)

A erosão do solo é outro problema decorrente do cultivo intensivo da cana-de-açúcar, agravado pela prática de monocultura, que reduz a diversidade de nutrientes no solo e diminui sua resistência à erosão. Segundo a EMBRAPA (2024), a erosão do solo pode ser definida como um processo de degradação física, caracterizado por alterações na estrutura e na densidade do solo. Sendo assim, a erosão do solo traz várias consequências negativas, tanto para o meio ambiente quanto para a agricultura. Um dos principais

impactos é a perda da camada superficial do solo, que é rica em nutrientes essenciais para o crescimento das plantas, resultando em uma diminuição da fertilidade e produtividade agrícola. Além disso, a erosão contribui para o assoreamento de rios e lagos, prejudicando ecossistemas aquáticos e aumentando o risco de enchentes. O solo erodido também carrega pesticidas e fertilizantes, que contaminam corpos d'água, afetando a qualidade da água e a biodiversidade local. A longo prazo, a erosão pode levar à desertificação de áreas produtivas, tornando o solo impróprio para o cultivo e comprometendo a segurança alimentar.

Uma outra particularidade com relação à produção sucroalcooleira, é a queima da cana. Historicamente comum no Brasil, representa um impacto direto sobre a qualidade do ar e a saúde pública, além de contribuir significativamente para as emissões de CO₂ e outros gases de efeito estufa, intensificando o aquecimento global.

O DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DA CANA-DE-AÇÚCAR NO BRASIL ATUAL: ANÁLISE PROFUNDA E PERSPECTIVAS FUTURAS

A cana-de-açúcar, uma das culturas mais icônicas e influentes da história econômica brasileira, continua desempenhando um papel fundamental na economia nacional e na agenda de sustentabilidade do Brasil. Desde os primeiros engenhos instalados no século XVI, essa planta se tornou sinônimo de riqueza econômica, mas também de desafios sociais e ambientais. Atualmente, com os avanços tecnológicos e a crescente demanda por energias renováveis, o setor sucroenergético brasileiro vive um momento de transição e inovação. A cana-de-açúcar se estabelece como um recurso de alta versatilidade, contribuindo significativamente para a matriz energética brasileira, para o mercado global de biocombustíveis e para a economia circular. (FERNANDES, 2019)

Um dos maiores destaques da cana-de-açúcar é sua capacidade de contribuir para a matriz energética brasileira de forma sustentável. Desde a criação do Proálcool (Programa Nacional do Álcool) em 1975, o Brasil vem desenvolvendo a tecnologia de produção de etanol a partir da cana, promovendo o uso de um combustível renovável em substituição aos combustíveis fósseis. Esse programa, criado em resposta à crise do petróleo, marcou o início de uma nova era para o setor, consolidando o Brasil como um dos principais produtores de biocombustíveis no cenário mundial. Atualmente, o etanol brasileiro é amplamente utilizado na frota de veículos, especialmente com a adoção de veículos flex

fuel, que permitem o uso misto de etanol e gasolina, representando cerca de 50% da frota do país. (SOUZA e MACEDO, 2010)

O etanol brasileiro é altamente eficiente e sustentável quando comparado a outros biocombustíveis, pois sua produção emite menos gases de efeito estufa (GEE) em comparação ao etanol produzido a partir de milho, como ocorre em países como os Estados Unidos. Em um estudo de 2020, Macedo constatou que o etanol brasileiro gera uma redução de até 90% das emissões de GEE em comparação à gasolina. Essa característica coloca o Brasil em posição de destaque no cumprimento das metas estabelecidas no Acordo de Paris, posicionando o país como uma liderança global em energia renovável. Além do etanol, a cana-de-açúcar é utilizada na geração de bioeletricidade por meio da queima do bagaço e da palha, tornando-se uma das principais fontes de energia renovável do país e respondendo por aproximadamente 7% da matriz elétrica brasileira em 2022. (ÚNICA, 2024)

A bioeletricidade produzida a partir da cana-de-açúcar traz uma série de benefícios, incluindo a redução do uso de combustíveis fósseis e a contribuição para a segurança energética nacional. A geração de energia a partir do bagaço e da palha da cana, especialmente durante o período de safra, contribui significativamente para o abastecimento energético, principalmente em estados como São Paulo, Goiás e Minas Gerais, onde se concentram as principais usinas de produção. Esse modelo de produção energética descentralizada permite uma maior estabilidade no fornecimento, além de incentivar o desenvolvimento econômico local e a geração de empregos.

SUSTENTABILIDADE E RESPONSABILIDADE SOCIAL NO SETOR SUCROENERGÉTICO

A sustentabilidade é um dos principais pilares do setor de cana-de-açúcar no Brasil, e os produtores têm investido cada vez mais em tecnologias e práticas que minimizem os impactos ambientais. A utilização de sistemas de irrigação eficiente, o tratamento de efluentes e a recuperação de áreas degradadas são algumas das práticas adotadas para mitigar os danos ambientais. Empresas do setor têm adotado a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que promove a reciclagem de resíduos e a reutilização de subprodutos, reduzindo o desperdício e contribuindo para a economia circular.

A responsabilidade social também se destaca como um componente importante para o setor, especialmente em regiões rurais onde a cana-de-açúcar é cultivada. As empresas

investem em programas de desenvolvimento local, educação e saúde, beneficiando as comunidades vizinhas e melhorando a qualidade de vida da população. Tais iniciativas fortalecem.

O modelo produtivo tradicional da cana-de-açúcar, reconhecidamente impactante ao meio ambiente, demanda uma urgente transição para práticas mais sustentáveis. A incorporação de tecnologias e o manejo integrado representam caminhos promissores para a mitigação dos danos ambientais. Estratégias como a rotação de culturas e o plantio direto, aliados ao uso de defensivos biológicos, demonstram potencial para reduzir a degradação do solo e a contaminação hídrica (CHRISTOFFOLETI, 2002; Macedo et al., 2008). Adicionalmente, a otimização do uso da água através de sistemas de irrigação eficientes e a valorização dos resíduos da cana, como na cogeração de energia com o bagaço, configuram alternativas para a sustentabilidade energética e a redução da dependência de fontes não renováveis (EMBRAPA, 2010).

Contudo, a efetiva implementação de práticas sustentáveis no setor canavieiro transcende a adoção de tecnologias. A educação ambiental emerge como um pilar fundamental para a conscientização dos produtores e da sociedade sobre os impactos do cultivo e a importância da preservação (LOUREIRO, 2004).

A URGENTE TRANSIÇÃO PARA A SUSTENTABILIDADE NO CULTIVO DA CANA-DE-AÇÚCAR: DESAFIOS, INOVAÇÕES E A IMPERATIVA DA EDUCAÇÃO AMBIENTAL

O agronegócio da cana-de-açúcar, um pilar fundamental da economia brasileira, historicamente caracterizou-se por um modelo produtivo extensivo e, em muitos casos, com impactos ambientais significativos. A monocultura, o uso intensivo de insumos químicos, a queima da palha e o manejo inadequado do solo têm gerado consequências como a degradação da fertilidade, a erosão, a contaminação de recursos hídricos e a perda de biodiversidade (CHRISTOFFOLETI, 2002; Macedo et al., 2008). Diante de um cenário global cada vez mais consciente da necessidade de práticas sustentáveis, a perpetuação desse modelo tradicional torna-se insustentável a longo prazo, tanto do ponto de vista ambiental quanto socioeconômico.

A busca por um cultivo de cana-de-açúcar sustentável surge, portanto, não como uma mera tendência, mas como uma necessidade urgente. Essa transição exige uma profunda reavaliação das práticas agrícolas convencionais e a incorporação de uma

“reforma” no setor produtivo que concilie a eficiência econômica com a responsabilidade ambiental e social. Nesse contexto, a adoção de tecnologias inovadoras e a implementação de estratégias de manejo integrado do solo e da cultura despontam como vetores cruciais para a construção de um futuro mais sustentável para o setor (EMBRAPA, 2010).

Entre as práticas de manejo integrado com potencial para revolucionar o cultivo da cana, a rotação de culturas assume um papel de destaque. A alternância do plantio de cana com outras espécies, contribui para a melhoria da estrutura do solo, o aumento da matéria orgânica, a redução da incidência de pragas e doenças específicas da cana e a diversificação da produção agrícola na propriedade. De forma complementar, o sistema de plantio direto, que elimina ou minimiza o revolvimento do solo, preserva a sua estrutura, reduz a erosão e contribui para o sequestro de carbono, mitigando as emissões de gases de efeito estufa (DERPSCH, 2008).

Ainda no âmbito do manejo do solo, a utilização de defensivos biológicos representa uma alternativa promissora para a redução da dependência de agroquímicos sintéticos. O controle biológico, através da introdução de inimigos naturais de pragas e doenças, oferece uma abordagem mais ecológica e menos prejudicial à saúde humana e ao meio ambiente (BUENO & BUENO, 2008). A combinação dessas práticas de manejo integrado, adaptadas às especificidades de cada região e sistema de produção, pode resultar em ganhos significativos em termos de sustentabilidade ambiental.

A gestão eficiente dos recursos hídricos é outro pilar fundamental da sustentabilidade no cultivo da cana-de-açúcar. A adoção de sistemas de irrigação modernos e precisos, como a irrigação por gotejamento ou aspersão de baixa pressão, permite otimizar o uso da água, reduzir o desperdício e minimizar os impactos sobre os mananciais (Bernardes et al., 2012). Além disso, a implementação de práticas de conservação da água no solo, como o terraceamento e a construção de bacias de retenção, contribui para a infiltração da água da chuva e a recarga dos aquíferos.

A valorização dos resíduos da cana-de-açúcar também se apresenta como uma importante estratégia para a sustentabilidade do setor. A cogeração de energia a partir do bagaço da cana, por exemplo, não apenas supre as necessidades energéticas da usina, mas também gera excedente de eletricidade que pode ser injetado na rede, contribuindo para a diversificação da matriz energética e a redução da emissão de gases de efeito estufa (Moreira, 2010). A vinhaça e a torta de filtro, outros subprodutos da indústria canavieira, podem ser utilizados como fertilizantes orgânicos, fechando o ciclo produtivo e reduzindo a necessidade de insumos químicos (SANTOS et al., 2015).

No entanto, a transição para um modelo de cultivo de cana-de-açúcar verdadeiramente sustentável não se limita à adoção de tecnologias e práticas inovadoras no campo. A dimensão humana e social desempenha um papel igualmente crucial. Nesse contexto, a educação ambiental emerge como um catalisador fundamental para a mudança de mentalidade e a promoção de comportamentos mais responsáveis em relação ao meio ambiente (LOUREIRO, 2004).

Programas de educação ambiental direcionados aos produtores sucroalcooleiros, são essenciais para disseminar o conhecimento sobre os impactos ambientais do cultivo convencional e os benefícios das práticas sustentáveis. Através de atividades de capacitação, workshops, dias de campo e materiais educativos, os produtores podem adquirir as habilidades e o conhecimento necessários para implementar novas técnicas de manejo, otimizar o uso de recursos naturais e reduzir a sua pegada ecológica (JACOBI, 2003). A conscientização sobre a importância da conservação da biodiversidade, da proteção dos recursos hídricos e da saúde do solo é fundamental para engajá-los na busca por um sistema produtivo mais resiliente e sustentável.

Além dos produtores, a educação ambiental também deve alcançar as comunidades agrícolas e a população em geral. A compreensão dos impactos do cultivo da cana no contexto local e global, bem como os benefícios de um setor mais sustentável, pode gerar um maior apoio da sociedade para a adoção de práticas responsáveis. A disseminação de informações claras e acessíveis sobre a produção de cana, seus desafios ambientais e as iniciativas em prol da sustentabilidade pode fortalecer o diálogo entre os diferentes atores da sociedade e incentivar a colaboração na busca por soluções inovadoras.

A efetividade da transição para a sustentabilidade no cultivo da cana-de-açúcar depende, em última instância, da articulação de esforços entre governos, setor produtivo, instituições de pesquisa e a sociedade civil. Políticas públicas que incentivem a adoção de práticas sustentáveis, linhas de crédito com taxas diferenciadas para projetos ambientais, o fortalecimento da pesquisa e da extensão rural e a criação de mecanismos de certificação de produtos sustentáveis são instrumentos importantes para impulsionar essa mudança de paradigma (ROMEIRO, 2012).

A conscientização ambiental, fomentada por programas educativos abrangentes e eficazes, é o alicerce sobre o qual essa colaboração pode prosperar. Ao promover uma compreensão mais profunda dos desafios ambientais e das oportunidades de um futuro mais sustentável, a educação ambiental capacita os indivíduos a tomarem decisões mais informadas e a participar ativamente na construção de um setor canavieiro mais

responsável e resiliente. Em suma, a sustentabilidade no cultivo da cana-de-açúcar não é apenas uma meta a ser alcançada, mas um processo contínuo de aprendizado, inovação e colaboração, impulsionado pela imperativa da educação ambiental.

A sustentabilidade é uma das grandes preocupações para o setor de cana-de-açúcar, especialmente frente aos desafios de preservação ambiental e de responsabilidade social. Muitas empresas têm investido em tecnologias que minimizam os impactos ambientais, como o uso de sistemas de irrigação mais eficientes e o tratamento de efluentes. Além disso, a recuperação de áreas degradadas e o uso de práticas de plantio sustentável são medidas adotadas para mitigar os efeitos da monocultura da cana-de-açúcar .

A responsabilidade social também é uma questão importante para muitas empresas do setor, que buscam melhorar as condições de vida das comunidades locais. Programas de desenvolvimento comunitário, investimentos em educação e saúde, e iniciativas de capacitação profissional para trabalhadores rurais são alguns exemplos de esforços feitos para promover o bem-estar das comunidades próximas às áreas de plantação e processamento de cana. Esses esforços não apenas melhoram a qualidade de vida da população local, mas também fortalecem a imagem da indústria sucroenergética perante a sociedade .

O FUTURO DA CANA-DE-AÇÚCAR NO BRASIL E OS DESAFIOS DA AGRICULTURA CONVENCIONAL

O futuro da cana no Brasil é promissor, impulsionado por uma combinação de políticas públicas, investimentos em pesquisa e desenvolvimento, e uma demanda crescente por fontes de energia renováveis. O Brasil possui uma base sólida de conhecimento técnico e científico na produção de etanol, e o desenvolvimento de biocombustíveis de segunda geração (E2G) tem ganhado destaque como uma das soluções mais viáveis para o futuro energético do país. (MOLINARI, BAJAY e GUIDUCCI, 2021)

As tendências futuras incluem a produção de bioquímicos, que utilizamos matéria-prima para substituir derivados do petróleo em produtos plásticos e de cosméticos. Adicionalmente, o uso de resíduos de cana na produção de bioeletricidade e biogás promete revolucionar a indústria, tornando-a mais autossustentável e menos dependente de combustíveis fósseis.

Portanto, o desenvolvimento econômico da cana-de-açúcar no Brasil, apesar dos desafios, representa uma grande oportunidade para o país liderar o mercado global de energias

renováveis e produtos sustentáveis. Com políticas adequadas e práticas sustentáveis, o setor pode continuar a crescer e contribuir para o desenvolvimento do país, consolidando a cana-de-açúcar como um dos recursos mais importantes da agroindústria brasileira.

A preservação ambiental refere-se à proteção dos ecossistemas, da biodiversidade e dos recursos naturais. Com a crescente população mundial e a demanda por alimentos, é imperativo que os agricultores adotem práticas que minimizem os impactos negativos sobre o meio ambiente. Os ecossistemas saudáveis fornecem serviços essenciais, como a polinização, a regulação do clima e a purificação da água, que são fundamentais para a produção agrícola e a qualidade da vida humana.

As práticas agrícolas ecológicas, caracterizadas pelo uso intensivo de insumos químicos, monoculturas e desmatamento, geram problemas sérios para o meio ambiente. O uso excessivo de fertilizantes e pesticidas pode contaminar os solos e os corpos d'água, afetando a saúde dos ecossistemas aquáticos e terrestres. Além disso, a agricultura intensiva pode levar à manipulação do solo, à erosão e à perda de nutrientes, tornando as terras menos produtivas a longo prazo. O desmatamento, frequentemente associado à expansão agrícola, tem consequências devastadoras para a biodiversidade. Florestas tropicais e outros habitats naturais são destruídos para dar lugar às plantações, resultando na extinção de espécies e na perda de áreas que desempenham funções cruciais, como a absorção de carbono e a manutenção do ciclo hidrológico. (PARREIRAS e BOLFE, 2023)

Para enfrentar esses desafios, é fundamental adotar práticas agrícolas sustentáveis que equilibrem a produção de alimentos com a proteção do meio ambiente. A agricultura sustentável busca não apenas aumentar a produtividade, mas também preservar os recursos naturais para as futuras gerações.

A rotação de culturas é uma prática agrícola que consiste na alternância de diferentes espécies vegetais em um mesmo terreno ao longo do tempo. Essa estratégia pode melhorar significativamente a saúde do solo, reduzir a incidência de pragas e doenças, além de aumentar a biodiversidade do agroecossistema. Essa prática é recomendada por instituições como a Embrapa devido aos seus múltiplos benefícios agrônômicos e ambientais. (EMBRAPA, 2024)

A agroecologia representa uma abordagem sustentável que integra princípios ecológicos na agricultura. Ela promove a diversidade de espécies e sistemas de cultivo que respeitam a dinâmica dos ecossistemas locais, contribuindo para a resiliência agrícola e para a soberania alimentar. (EMBRAPA, 2024)

A conservação do solo é fundamental para a sustentabilidade agrícola. Práticas como a cobertura do solo com palha ou vegetação, o plantio direto e o uso de adubação verde são eficazes na prevenção da erosão, no aumento da fertilidade e na conservação da umidade do solo. A Embrapa destaca essas estratégias como essenciais para manter a produtividade a longo prazo e preservar os recursos naturais

O uso de tecnologias limpas no campo envolve a adoção de métodos que minimizam o uso de insumos químicos e reduzem os impactos ambientais da atividade agrícola. Exemplos incluem o controle biológico de pragas, a agricultura de precisão e o uso de sensores para monitoramento ambiental. Essas tecnologias contribuem para a redução da contaminação do solo e da água, sendo incentivadas por órgãos como o Ministério da Agricultura. (MAPA, 2024)

A preservação da água é uma preocupação central na agricultura sustentável. O uso responsável desse recurso inclui técnicas como a irrigação por gotejamento, que reduz perdas por evaporação, e a captação de água da chuva para reuso. (ANA, 2020)

Diante dos impactos evidentes causados pela agricultura convencional, torna-se cada vez mais urgente repensar os modelos produtivos que priorizam apenas o rendimento econômico, em detrimento da sustentabilidade ambiental. A dependência de insumos químicos, como fertilizantes e pesticidas, compromete a saúde dos solos e contamina os recursos hídricos, afetando diretamente a fauna, a flora e a saúde humana. O esgotamento do solo, a erosão e a perda de nutrientes revelam que esse modelo não se sustenta a longo prazo, colocando em risco a segurança alimentar futura. Além disso, a substituição de ecossistemas ricos por monoculturas empobrece a biodiversidade e fragiliza os serviços ecossistêmicos essenciais à vida, como a regulação do clima e a purificação da água. Assim, é fundamental investir em práticas agrícolas mais sustentáveis, como a agroecologia e a agricultura regenerativa, que priorizam a conservação dos recursos naturais, a diversidade de cultivos (mesmo em monoculturas como a cana de açúcar) e o bem-estar das populações rurais.

CAPÍTULO III: A CANA-DE-AÇÚCAR, LEGISLAÇÃO E A EDUCAÇÃO AMBIENTAL: DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA A SUSTENTABILIDADE.

INTRODUÇÃO

A partir de uma minuciosa análise dos conflitos de interesses entre o desenvolvimento econômico da cana-de-açúcar e a preservação ambiental é possível observar que o ponto central está em equilibrar produtividade e conservação dos recursos naturais. É notório que esse embate não se limita ao campo econômico, mas também dimensões jurídicas, sociais e culturais, que precisam de soluções integradas. Sendo assim, a discussão sobre legislação e educação ambiental surge como elemento crucial para propor práticas produtivas sustentáveis. Assim a determinação de leis ambientais estabelece quais serão os limites e os critérios para o uso responsável do solo, da água e da biodiversidade, enquanto a educação ambiental está voltada para a conscientização dos agentes envolvidos, fortalecendo a adoção de métodos inovadores e ambientalmente corretos. Assim, a passagem para o próximo eixo temático tem como finalidade, demonstrar como esses dois tópicos podem transformar desafios históricos em oportunidades de sustentabilidade para a cadeia produtiva da cana-de-açúcar.

A cana-de-açúcar tem sido historicamente uma das culturas mais relevantes do Brasil, tanto do ponto de vista econômico quanto social. Desde o período colonial, a produção de cana esteve associada a processos de expansão agrícola e desenvolvimento econômico. Atualmente, o país é líder mundial na produção de açúcar e etanol, sendo o segundo maior produtor de etanol combustível, com forte presença no mercado internacional (UNICA, 2023).

A sustentabilidade no cultivo de cana-de-açúcar exige uma mudança no modelo produtivo tradicional, incorporando tecnologias e práticas que reduzam o impacto ambiental. A rotação de culturas e o uso de técnicas de manejo integrado, como o plantio direto e o uso de defensivos biológicos, são exemplos de práticas que podem reduzir a degradação do solo e a contaminação da água. Além disso, a adoção de sistemas de irrigação eficientes e a utilização de resíduos da cana para a geração de energia, como a cogeração com bagaço de cana, são alternativas que visam melhorar a sustentabilidade do setor.

Outro aspecto relevante é a educação ambiental, que desempenha um papel crucial na conscientização dos produtores e na promoção de práticas sustentáveis. Programas de

educação ambiental voltados para as comunidades agrícolas e para a população em geral podem auxiliar na compreensão dos impactos do cultivo de cana e na adoção de práticas que conciliem a preservação ambiental com a produtividade. Esses programas têm o potencial de gerar uma conscientização ambiental mais ampla e de incentivar a colaboração entre governos, produtores e sociedade para a implementação de práticas sustentáveis.

Entretanto, o modelo tradicional de cultivo da cana-de-açúcar apresenta sérios desafios ambientais. A monocultura intensiva, o uso excessivo de agroquímicos e as práticas de queima da palha, ainda comuns em algumas regiões, contribuem para a degradação ambiental e a perda da biodiversidade (SILVA; GOMES, 2019). Diante desse cenário, torna-se urgente a transição para um modelo produtivo mais sustentável, baseado em tecnologias limpas e no manejo racional dos recursos naturais.

A educação ambiental emerge como elemento essencial nesse processo, ao promover a conscientização dos diversos atores envolvidos na cadeia produtiva, incentivando práticas agrícolas responsáveis e a participação comunitária na proteção do meio ambiente (JACOBI, 2003).

O cultivo da cana-de-açúcar impacta significativamente o meio ambiente. A expansão da monocultura resulta na diminuição da cobertura vegetal nativa, comprometendo os serviços ecossistêmicos e a biodiversidade (MARTINS et al., 2015). Além disso, práticas como a queima da palha, comum em períodos de colheita manual, contribuem para a emissão de poluentes atmosféricos e a degradação da qualidade do ar (MACHADO et al., 2018).

Outro fator preocupante é o uso intensivo de água e a contaminação de corpos hídricos por fertilizantes e pesticidas. De acordo com o relatório da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2020), a cana-de-açúcar está entre as culturas que mais consomem água no Brasil, destacando-se a necessidade de adoção de sistemas de irrigação mais eficientes.

Nessa perspectiva, surge a necessidade de mudanças no cenário atual no setor sucroalcooleiro. A educação ambiental tem se consolidado nas últimas décadas como uma ferramenta indispensável para enfrentar os desafios impostos pela crise ecológica global e para promover a sustentabilidade nos diferentes setores da sociedade. No contexto da agricultura e, especificamente, do cultivo da cana-de-açúcar, ela assume um papel estratégico ao possibilitar a construção de uma consciência crítica, capaz de promover mudanças nas práticas produtivas e na relação do ser humano com o meio ambiente.

Segundo Loureiro (2012), a educação ambiental deve ser compreendida não apenas como uma disciplina escolar, mas como um processo contínuo, Inter e transdisciplinar, que articula conhecimento, ética e prática. No caso do setor sucroenergético, esse processo é fundamental para envolver os diversos atores da cadeia produtiva agricultores, trabalhadores rurais, gestores, educadores e consumidores na construção de modelos agrícolas mais sustentáveis.

A perspectiva crítica da educação ambiental, conforme proposto por autores como Paulo Freire (2005) e Carlos Frederico Loureiro (2012), baseia-se na emancipação dos sujeitos por meio da reflexão sobre sua realidade e na ação transformadora. Não se trata, portanto, de uma educação prescritiva ou apenas informativa, mas de um processo dialógico que reconhece o saber popular e promove a autonomia.

No contexto rural, a educação ambiental crítica pode contribuir para a valorização dos conhecimentos tradicionais, muitas vezes marginalizados pelas abordagens tecnicistas. Ao dialogar com os saberes locais e com a realidade vivida pelos agricultores, é possível fomentar alternativas de manejo sustentável que respeitem a diversidade socioambiental dos territórios (GUIMARÃES, 2004).

A Lei nº 14.926/2024, que institui a Política Nacional de Educação Ambiental no Brasil, estabelece princípios fundamentais como a participação da sociedade, o respeito à pluralidade e a integração com as políticas públicas. Esses fundamentos são essenciais para orientar ações de educação ambiental no setor sucroenergético.

A aplicação da educação ambiental no cultivo da cana-de-açúcar pode ocorrer em diversas frentes. Uma delas é a formação técnica e política dos produtores, com vistas à adoção de práticas agrícolas menos agressivas ao meio ambiente. Cursos de capacitação, oficinas, seminários e visitas técnicas são exemplos de estratégias educativas que podem ser articuladas por cooperativas, sindicatos rurais, universidades e instituições públicas.

Experiências exitosas como o *Programa Cana IAC* (Instituto Agrônomo de Campinas), por exemplo, vêm promovendo a capacitação de produtores na adoção de boas práticas agrícolas e ambientais, com destaque para a conservação do solo, o uso racional de água e a redução de insumos químicos (IAC, 2022).

Outro exemplo relevante é o projeto “Cana-de-Açúcar e Sustentabilidade no Cerrado Paulista”, promovido por ONGs e universidades em parceria com usinas, que envolveu comunidades locais em oficinas de educação ambiental para refletir sobre os impactos do avanço da monocultura nos territórios. Nessas oficinas, temas como biodiversidade, agroecologia, justiça ambiental e recursos hídricos foram abordados de

forma lúdica, utilizando dinâmicas participativas e materiais educativos adaptados à realidade local (FERNANDES et al., 2019).

Além da capacitação dos produtores, a educação ambiental também deve incluir trabalhadores do setor, especialmente aqueles expostos a condições laborais precárias e riscos ambientais. Ações formativas voltadas à saúde do trabalhador, segurança no manuseio de defensivos, prevenção de queimadas e recuperação de áreas degradadas são essenciais para a promoção de um ambiente de trabalho digno e sustentável (MMA, 2022).

A presença da educação ambiental nas escolas do campo representa outro eixo fundamental de transformação. As escolas rurais têm o potencial de atuar como centros de referência para a construção de uma cultura de sustentabilidade em comunidades produtoras de cana-de-açúcar. Quando articuladas com os saberes locais e com as práticas da agricultura familiar, essas escolas podem contribuir para formar cidadãos comprometidos com a proteção ambiental e a justiça social (CALDART, 2004).

A inclusão de temas ambientais nos currículos escolares, conforme previsto na Base Nacional Comum Curricular (BNCC), deve considerar a realidade socioambiental local e envolver as famílias, associações de produtores e demais membros da comunidade em projetos pedagógicos integrados. Horta escolar, compostagem, reaproveitamento de resíduos da cana e reflorestamento de matas ciliares são exemplos de atividades que podem ser incorporadas ao cotidiano escolar.

As universidades, por sua vez, têm papel crucial na formação de profissionais conscientes e na produção de conhecimento crítico sobre a sustentabilidade no setor sucroenergético. Cursos de agronomia, engenharia ambiental, ciências sociais, pedagogia e biologia devem fomentar a interdisciplinaridade e desenvolver projetos de extensão que envolvam as comunidades rurais na busca por soluções sustentáveis.

EDUCAÇÃO AMBIENTAL E POLÍTICAS PÚBLICAS VOLTADAS PARA A CANA-DE-AÇÚCAR NA PERSPECTIVA DA QUESTÃO AMBIENTAL.

A efetividade da educação ambiental como ferramenta de transformação no setor da cana-de-açúcar depende também da articulação com políticas públicas estruturantes. É fundamental que os programas ambientais e agrícolas dialoguem entre si, promovendo ações integradas que envolvam secretarias de meio ambiente, educação, agricultura e saúde.

O Plano Nacional de Educação Ambiental (PNEA) e o Plano ABC+ (Agricultura de Baixo Carbono) são exemplos de instrumentos que podem orientar políticas voltadas para a transição agroecológica e a mitigação de impactos ambientais na agricultura. A participação ativa da sociedade civil e dos movimentos sociais na construção e fiscalização dessas políticas é essencial para garantir sua efetividade e coerência com os princípios da sustentabilidade (BRASIL, 2020).

Além disso, incentivos fiscais, linhas de crédito específicas e assistência técnica contínua são condições necessárias para que produtores rurais, especialmente os pequenos, possam implementar práticas sustentáveis sem comprometer sua viabilidade econômica.

A legislação ambiental brasileira estabelece uma série de normas voltadas à proteção ambiental, como o Código Florestal e a Política Nacional do Meio Ambiente, que buscam mitigar os impactos das atividades agrícolas. No entanto, a efetividade dessas normas é frequentemente limitada pela falta de fiscalização e pelo cumprimento parcial das regulamentações por parte dos produtores. A criação de áreas de preservação permanente (APPs) e reservas legais são alguns dos mecanismos que visam limitar a expansão agrícola em áreas sensíveis e proteger os recursos naturais. No entanto, o desrespeito a essas áreas protegidas ainda é comum, em parte devido à pressão econômica e à falta de incentivos eficazes para a adoção de práticas mais sustentáveis.

A partir de 2007, o Programa de Biocombustíveis do governo brasileiro buscou impulsionar a produção sustentável de etanol, incentivando o cumprimento de padrões ambientais para exportação e consumo interno. Apesar dessas iniciativas, a necessidade de expansão contínua da produção ainda encontra dificuldades para alinhar-se plenamente com a legislação ambiental, criando um cenário de tensão entre as metas econômicas e as restrições ecológicas.

A estruturação legal ambiental brasileira representa um dos mais avançados do mundo em termos de abrangência normativa e princípios de proteção dos recursos naturais. Entretanto, no contexto da produção agrícola especialmente no setor sucroenergético, a distância entre a legislação e a prática cotidiana ainda se mostra significativa. A legislação ambiental, embora clara em seus objetivos de conservação e uso sustentável, enfrenta desafios estruturais relacionados à fiscalização, à aplicação efetiva das normas e à compatibilização com os interesses econômicos dos diversos agentes envolvidos.

O CÓDIGO FLORESTAL E A PROTEÇÃO DAS ÁREAS SENSÍVEIS

O Código Florestal Brasileiro, instituído originalmente pela Lei nº 4.771/1965 e atualizado pela Lei nº 12.651/2012, estabelece normas para a proteção da vegetação nativa, determinando a criação de Áreas de Preservação Permanente (APPs) e Reservas Legais (RLs) nas propriedades rurais. No caso das APPs, trata-se de áreas protegidas, cobertas ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, além de facilitar o fluxo gênico da fauna e flora. Já as Reservas Legais são porções de, no mínimo, 20% da área rural (variável conforme a região), que devem ser mantidas com vegetação nativa.

Esses dispositivos legais são especialmente relevantes nas regiões de expansão canavieira, como o Centro-Sul do Brasil, onde há grande pressão sobre áreas ambientalmente frágeis. De acordo com estudos do IBGE (2021), muitos produtores ainda deixam de cumprir integralmente essas obrigações, tanto por desconhecimento quanto por interesses econômicos imediatos, dificultando a manutenção dos ecossistemas e a qualidade dos serviços ambientais prestados.

Segundo Ferreira et al. (2020), o cumprimento da legislação é frequentemente dificultado pela ausência de instrumentos eficazes de fiscalização, pela lentidão nos processos administrativos e pela baixa integração entre as esferas federal, estadual e municipal. Além disso, o processo de regularização ambiental por meio do Cadastro Ambiental Rural (CAR) e dos Programas de Regularização Ambiental (PRAs) ainda enfrenta entraves operacionais e jurídicos que retardam sua efetividade.

A Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), instituída pela Lei nº 6.938/1981, estabelece como um de seus instrumentos o licenciamento ambiental, exigido para atividades potencialmente poluidoras ou que utilizem recursos naturais de forma significativa. No caso das usinas de cana-de-açúcar, o licenciamento ambiental deveria garantir o controle prévio e contínuo dos impactos causados pelo plantio, colheita e processamento da cana, assim como pelo uso de agroquímicos, consumo de água e geração de resíduos.

Contudo, diversos autores apontam falhas no sistema de licenciamento, desde a fragilidade técnica das análises de impacto até a interferência política em decisões sobre concessão ou renovação de licenças (BRASIL, 2020; OLIVEIRA, 2021). Além disso, há uma tendência de flexibilização das exigências ambientais como forma de estimular a

competitividade do setor sucroenergético, especialmente diante das demandas do mercado internacional por etanol brasileiro.

A fragilidade institucional na aplicação da PNMA compromete, portanto, os objetivos centrais da sustentabilidade e da precaução ambiental. Como observa Araújo (2019), o modelo atual de licenciamento muitas vezes se restringe ao cumprimento burocrático de requisitos formais, sem garantir efetivamente o monitoramento e a mitigação dos danos ambientais decorrentes das atividades agrícolas em larga escala.

OS DESAFIOS DA EFETIVAÇÃO DA LEGISLAÇÃO AMBIENTAL NA PRODUÇÃO CANAVIEIRA

A efetividade da legislação ambiental na produção de cana-de-açúcar enfrenta entraves históricos e estruturais relacionados ao padrão de desenvolvimento adotado no Brasil desde o período colonial. A matriz produtiva baseada na monocultura extensiva, voltada para exportação e centrada em grandes propriedades, consolidou-se ao longo dos séculos como um modelo predominantemente extrativista e predatório (PORTO-GONÇALVES, 2013). Essa configuração não apenas gerou desigualdades sociais profundas como também promoveu a degradação sistemática dos ecossistemas, estabelecendo uma relação instrumental e utilitarista com a natureza.

Mesmo com o avanço da legislação ambiental nas últimas décadas, como a promulgação da Lei nº 6.938/1981 que instituiu a Política Nacional do Meio Ambiente e do Novo Código Florestal (Lei nº 12.651/2012), os desafios para sua aplicação no setor canavieiro ainda são significativos. Embora essas normativas prevejam instrumentos como o licenciamento ambiental, a criação de Áreas de Preservação Permanente (APPs) e reservas legais, além da responsabilização por danos ecológicos, o cumprimento dessas obrigações por parte dos produtores rurais permanece parcial e, por vezes, simbólico. A fiscalização limitada, o corporativismo político e a ausência de sanções efetivas contribuem para um cenário de impunidade ambiental (ACSELRAD, 2009).

A superação desse quadro exige uma mudança profunda na cultura jurídica e institucional do país. A legislação, por si só, não transforma realidades quando desconectada de um aparato estatal comprometido com sua implementação e de uma sociedade civil mobilizada e consciente de seus direitos e deveres ambientais. Como destacam Jacobi (2003) e Loureiro (2012), o arcabouço legal precisa dialogar com

processos educativos e participativos, capazes de transformar a relação da sociedade com o meio ambiente e de fomentar uma ética ecológica nas práticas produtivas.

Nesse sentido, o fortalecimento das instituições públicas ambientais como o IBAMA, os órgãos estaduais e os conselhos de meio ambiente são fundamentais para garantir a efetiva fiscalização das normas. Esses órgãos precisam dispor de recursos técnicos, financeiros e humanos suficientes para atuar de maneira capilarizada, especialmente nas regiões de expansão agrícola. A criação de indicadores de desempenho ambiental, a transparência das ações públicas e a digitalização dos processos de monitoramento são medidas que podem aumentar a eficiência e a credibilidade da fiscalização ambiental.

Outro aspecto relevante é o enfrentamento da lógica da impunidade. Muitas infrações ambientais não resultam em penalizações proporcionais aos danos causados, o que desestimula o cumprimento da legislação e reforça práticas irregulares. A responsabilização deve incluir não apenas multas, mas também a reparação dos danos, a suspensão de financiamentos públicos e a exclusão de programas de incentivo para produtores reincidentes. Além disso, a atuação do Ministério Público e do Judiciário em defesa do meio ambiente precisa ser fortalecida, com base em ações civis públicas, termos de ajustamento de conduta e outros mecanismos legais disponíveis.

Paralelamente, é fundamental fomentar políticas públicas de incentivo à sustentabilidade na produção de cana-de-açúcar. A transição para modelos agroecológicos requer suporte técnico, financeiro e institucional. Entre os instrumentos mais promissores estão os créditos verdes, o pagamento por serviços ambientais (PSA), o acesso a tecnologias limpas e o incentivo à certificação socioambiental, como o selo Bonsucro que é um padrão e plataforma global de sustentabilidade para a cana-de-açúcar, com o objetivo de promover a produção e o uso sustentável da cultura. É uma iniciativa que reúne diversos atores da cadeia de produção e consumo, com o objetivo de reduzir os impactos ambientais e sociais do cultivo da cana. Esses mecanismos podem induzir os produtores a internalizarem os custos ambientais e a adotarem práticas mais responsáveis, como o manejo integrado de pragas, a rotação de culturas, a recomposição de matas ciliares e o uso de bioinsumos (SILVA; SOUZA, 2019).

A integração entre políticas ambientais, agrárias, econômicas e sociais também se faz necessária para articular diferentes dimensões do desenvolvimento rural. A atuação coordenada entre Ministérios, secretarias estaduais, cooperativas e instituições de pesquisa pode potencializar os resultados e evitar a sobreposição ou contradição de políticas

públicas. O desenvolvimento sustentável não deve ser tratado como um nicho específico, mas como eixo estruturante de todas as ações governamentais e das estratégias empresariais no setor agroindustrial.

Importante também é destacar o papel dos mercados consumidores na indução de práticas sustentáveis. As exigências internacionais por rastreabilidade, responsabilidade socioambiental e respeito aos direitos trabalhistas têm se tornado critérios de acesso a mercados mais exigentes, especialmente na União Europeia. Nesse contexto, a conformidade com a legislação ambiental deixa de ser apenas uma obrigação legal e passa a representar uma vantagem competitiva e reputacional. Os produtores que aderem a selos e certificações passam a ocupar espaços diferenciados em cadeias produtivas globais, o que pode estimular a disseminação de boas práticas no setor (PÁDUA; MONTEIRO, 2021).

Por fim, é condição indispensável para transformar o direito ambiental em prática cotidiana. O conhecimento das leis, por parte dos produtores e da população em geral, é o primeiro passo para o seu cumprimento. No entanto, mais que a informação, é necessário fomentar uma formação crítica, que permita compreender os fundamentos éticos e ecológicos da legislação. A participação social em conselhos, audiências públicas e processos de licenciamento também precisa ser ampliada, com vistas à democratização da governança ambiental e à construção de um pacto coletivo por um modelo de desenvolvimento mais justo e sustentável.

Nesse sentido, como defende Loureiro (2012), o direito ambiental não deve ser visto apenas como um conjunto de normas impostas de forma vertical, mas como resultado de um pacto político e social orientado pelo princípio da responsabilidade coletiva para com as futuras gerações. Essa perspectiva exige que a sociedade se reconheça como sujeito da transformação, comprometida com a construção de um futuro ecologicamente equilibrado, socialmente justo e economicamente viável.

O setor de cana-de-açúcar no Brasil enfrenta uma série de desafios econômicos, ambientais e sociais que afetam seu desenvolvimento. Um dos principais desafios é a volatilidade dos preços internacionais de açúcar e etanol, o que causa instabilidade financeira para os produtores. Essa volatilidade é influenciada por fatores como a flutuação cambial, a demanda global, as políticas de subsídios e as mudanças no preço do petróleo. O mercado internacional de açúcar, por exemplo, sofre pressões significativas da concorrência com produtores como Índia e Tailândia, que recebem subsídios governamentais e aumentam a competitividade de seus produtos .

Outro desafio importante é a pressão para adoção de práticas agrícolas e industriais mais sustentáveis. O cultivo intensivo de cana-de-açúcar pode levar à degradação do solo e à contaminação de corpos d'água, especialmente quando práticas inadequadas de irrigação e uso de pesticidas são adotadas. A expansão da fronteira agrícola, que visa atender à crescente demanda por biocombustíveis, também ameaça biomas como o Cerrado e a Mata Atlântica. Para lidar com esses problemas, a legislação ambiental brasileira estabelece uma série de normas que restringem o desmatamento e promovem a conservação das Áreas de Preservação Permanente (APPs) e de Reservas Legais (RLs). O Código Florestal de 2012, por exemplo, obriga os produtores a preservarem uma fração de suas terras, promovendo a sustentabilidade e mitigando os impactos ambientais do setor .

Em contrapartida, o setor de cana-de-açúcar no Brasil apresenta grandes oportunidades, principalmente devido à crescente demanda global por biocombustíveis e fontes de energia renováveis. Diversos países, especialmente na União Europeia, vêm adotando políticas que incentivam o uso de biocombustíveis como forma de reduzir suas emissões de carbono, e o etanol brasileiro se destaca como uma alternativa sustentável e competitiva. Segundo a Agência Internacional de Energia (AIE), o Brasil poderá ser um dos principais fornecedores de biocombustíveis para atender às metas de descarbonização de diversos países, consolidando-se como líder mundial em energia renovável .

Além disso, o desenvolvimento de novas tecnologias tem o potencial de aumentar a produtividade e a eficiência do setor. Inovações como a biotecnologia e o uso de inteligência artificial na agricultura permitem monitorar e otimizar o uso de recursos, reduzindo desperdícios e aumentando a sustentabilidade. A Embrapa, por exemplo, vem desenvolvendo variedades de cana geneticamente modificadas que são mais resistentes a pragas e mudanças climáticas, o que pode aumentar a produtividade e reduzir a necessidade de insumos químicos.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao final desta jornada investigativa, que percorreu a complexa trama envolvendo a cultura da cana-de-açúcar, a legislação ambiental e a educação ambiental no Brasil, emerge uma certeza: o caminho para a sustentabilidade do setor sucroenergético é desafiador, porém, viável e imperativo. A pesquisa, que teve como ponto de partida a análise do documento anexo, buscou ampliar e aprofundar as questões ali levantadas, construindo um panorama mais completo que pudesse subsidiar uma reflexão crítica e propositiva.

A hipótese central, de que a eficácia da legislação ambiental é potencializada pela educação ambiental, foi corroborada ao longo do estudo. A análise do arcabouço legal, em especial do Código Florestal e da PNMA, revelou que, embora o Brasil possua uma das legislações ambientais mais avançadas do mundo, sua aplicação enfrenta severos obstáculos. A fiscalização deficiente, as pressões do poder econômico e a baixa adesão de parte dos produtores comprometem a efetividade das normas. A lei, por si só, mostra-se insuficiente para transformar uma realidade profundamente arraigada em práticas produtivas historicamente predatórias.

É neste ponto que a educação ambiental se revela como o elemento catalisador da mudança. Como preconiza a PNEA, a educação ambiental transcende a mera informação, buscando a construção de valores, a mudança de atitudes e o desenvolvimento de competências para a ação. Ao promover a conscientização sobre as causas e consequências dos problemas ambientais, a educação ambiental capacita os sujeitos – do pequeno agricultor ao grande empresário, do trabalhador rural ao gestor público – a se tornarem agentes da transformação. Ela fomenta a compreensão de que a conservação ambiental não é um entrave ao desenvolvimento, mas uma condição para sua perenidade.

Os resultados apresentados no documento original, e aprofundados nesta tese, demonstram que o setor sucroenergético ainda convive com práticas insustentáveis, como o uso excessivo de agrotóxicos e a degradação do solo e da água. No entanto, também apontam para um crescente movimento em direção à sustentabilidade, com a adoção de tecnologias como a colheita mecanizada sem queima, a fertirrigação com vinhaça e a produção de bioeletricidade. Essas inovações, muitas vezes impulsionadas por exigências de mercado e pela busca de certificações, encontram na educação ambiental um terreno fértil para sua disseminação e aprimoramento.

O grande desafio reside em universalizar essas boas práticas, tornando-as a regra, e não a exceção. Para tanto, é fundamental uma ação coordenada entre o Estado, o setor

produtivo e a sociedade civil. As políticas públicas devem ir além da punição, incentivando a produção sustentável por meio de crédito rural diferenciado, assistência técnica e extensão rural qualificadas, e programas de pagamento por serviços ambientais. O setor produtivo, por sua vez, deve assumir um compromisso genuíno com a sustentabilidade, incorporando-a em sua estratégia de negócio e investindo na capacitação de seus colaboradores e na pesquisa e desenvolvimento de tecnologias limpas.

À sociedade civil, e em especial às instituições de ensino e pesquisa, cabe o papel de produzir e disseminar o conhecimento, de formar profissionais com uma visão crítica e sistêmica, e de promover o diálogo e o controle social sobre as políticas públicas e as práticas empresariais. A educação ambiental, em seu caráter formal e não-formal, é a grande articuladora desse processo.

Em suma, a pesquisa que se encerra aponta para a necessidade de um novo pacto para a cana-de-açúcar no Brasil. Um pacto que reconheça a importância econômica do setor, mas que não se curve à lógica do lucro a qualquer custo. Um pacto que valorize a biodiversidade, que proteja as águas e o solo, que garanta condições de trabalho dignas e que promova o desenvolvimento social das comunidades onde a cana-de-açúcar está presente. Um pacto, enfim, que seja selado pela aliança indissolúvel entre uma legislação ambiental forte e uma educação ambiental transformadora. O futuro do ouro verde brasileiro depende da sabedoria e da coragem para cultivar não apenas a cana, mas também a sustentabilidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACSELRAD, Henri; MELLO, Cecília Campello do Amaral; BEZERRA, Gustavo das Neves. **O que é justiça ambiental**. Rio de Janeiro: Garamond, 2009.

ARAÚJO, Daniel Féo Castro de; SOBRINHO, Fernando Luiz Araújo. **O setor sucroenergético brasileiro: intervenção estatal como motor do desenvolvimento**. Revista Tocantinense de Geografia, [S. l.], v. 13, n. 30, p. 173–200, 2024. DOI: 10.20873/rtg.v13i30.18482.

ARAÚJO, Valterlan Teixeira. **Impactos socioeconômicos, na família dos pequenos proprietários rurais: consolidação da empresa agrícola da cana-de-açúcar em Itapaci-GO**. Cadernos CERU, v. 22, n. 1, p. 95-112, 2011.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. **Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br>. Acesso em: 1 maio 2025.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. **Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa (Novo Código Florestal)**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br>. Acesso em: 1 maio 2025.

BRASIL. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Plano ABC+ 2020-2030: Agricultura de Baixo Carbono. Brasília: MAPA, 2020.

CHRISTOFFOLETI, PEDRO J. et al. Manejo de plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar: novas moléculas herbicidas. **II Simpósio de Tecnologia de Produção de Cana-de-Açúcar, Piracicaba. Palestras. Piracicaba: ESALQ/POTAFOS, 2005.**

Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana>. Acessado em 10 de março de 2024.

D'AGOSTINI, S.; REBOUÇAS, M. M.; BATISTA FILHO, A.; VITIELLO, N. A cana-de-açúcar permeando pelo Centro de Memória do Instituto Biológico.

In: REBOLUÇAS, M. M. et al. *O Instituto Biológico e seu Acervo Documental*. **Cadernos de História da Ciência**, São Paulo, v. 5, n. 1, julho 2009. DOI 10.47692/cadhistcienc.2009.v5.35762

DA SILVA, Victor Andrade. A Importância da Plantation Açucareira no Brasil Colonial. **Repositório de Trabalhos de Conclusão de Curso**, 2019.

DE OLIVEIRA SHIMADA, Shiziele. A economia açucareira e o processo de exploração desde o Brasil-Colônia. **Scientia Plena**, v. 9, n. 5, 2013.

FAUSTO, Boris; et al. *História do Brasil*. São Paulo: Edusp, 1994.

FERNANDES, A. L. et al. Educação ambiental e sustentabilidade: práticas em comunidades produtoras de cana-de-açúcar no interior paulista. **Revista Brasileira de Educação Ambiental**, v. 14, n. 2, p. 127-142, 2019.

FERREIRA, Vitor F.; SILVA, Fernando C.; Perrone, Clarissa C. Sacarose no laboratório de química orgânica de graduação. **Química Nova**, v. 24, pág. 905-907, 2001.

FREIRE, P. **Pedagogia do oprimido**. 50. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2005.

FREYRE, Gilberto. **Casa-Grande & Senzala: formação da família brasileira sob o regime de economia patriarcal**. Editora Mundial, 2013.

GODOY, Marcelo Magalhães. Civilizações da cana-de-açúcar: dois paradigmas de atividades agro açucareiras no Novo Mundo, séculos XVI a XIX. **História econômica & história de empresas**, v. 10, n. 2, 2007.

GOES, Tarcizio; MARRA, Renner; SILVA, Geraldo Souza e. Setor sucroalcooleiro no Brasil Situação atual e perspectivas. **Revista de Política Agrícola**, n. 2, p. 39-51, 2008.

GUIMARÃES, M. Educação ambiental: da emergência à política pública. In: LAYRARGUES, P. P. (Org.). **Identidades da educação ambiental brasileira**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2004. p. 25-45.

HALL, Stuart. **A identidade cultural na pós-modernidade**; tradução Tomaz Tadeu da Silva, Guaracira Lopes Louro-11. ed. -Rio de Janeiro: DP&A, 2006.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS – IAC. Programa Cana IAC: **soluções para a sustentabilidade na canavicultura**. Campinas: IAC, 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). COORDENAÇÃO GERAL DE OBSERVAÇÃO DA TERRA. PROGRAMA DE MONITORAMENTO DA AMAZÔNIA E DEMAIS BIOMAS. **Avisos – Bioma Cerrado** – Disponível em: <https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/downloads/>. Acesso em: 10 jun. 2024.

JACOBI, P. R. **Educação ambiental, cidadania e sustentabilidade**. Cadernos de Pesquisa, v. 33, n. 118, p. 189-205, jan./abr. 2003.

LISBOA, Larissa. **O samba como resistência e reafirmação**. Revista África e Africanidades, v. 8, fevereiro. 2010. ISSN 1983-2354. Disponível em: <https://www.africaeaficanidades.com.br>. Acesso em: 28 mar. 2025.

LOUREIRO, C. F. B. **Educação ambiental e a formação de sujeitos ecológicos: reflexões na perspectiva da sustentabilidade crítica**. São Paulo: Cortez, 2012.

LOUREIRO, C. F. B. Educação ambiental e sustentabilidade: a urgência de um novo paradigma. **Revista Brasileira de Educação Ambiental (REBEA)**, v. 1, n. 1, p. 1-16, 2004.

MACEDO, I. C.; SEABRA, J. E. A.; SILVA, J. E. A. R. Greenhouse gases emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil: The 2005/2006 averages and a prediction for 2020. **Biomass and Bioenergy**, v. 32, n. 7, p. 582-595, 2008.

MACEDO, J. R. M. et al. Sistemas de manejo do solo e produtividade da cana-de-açúcar em diferentes ambientes de produção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2701-2712, 2008.

MACHADO, F. B. P. - **A História da Cana-de-açúcar - Da Antiguidade aos Dias Atuais**. <https://www.udop.com.br/noticia/2003/01/01/a-historia-da-cana-de-acucar-da-antiguidade-aos-dias-atuais.html>. Acessado em 11 de março de 2024

MILLER, Joseph C. O Atlântico escravista: açúcar, escravos e engenhos. **Afro-Ásia**, n. 19-20, 1997..

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. **Educação ambiental para o desenvolvimento rural sustentável**. Brasília: MMA, 2022.

MOLINARI, Hugo Bruno Correa; BAJAY, Stephanie Karenina; GUIDUCCI, Rosana do Carmo Nascimento. **Cenários de adoção da variedade Cana Flex II e avaliação de impactos econômicos no setor**. *Embrapa Agroenergia / Instituto PECEGE*, [s.d.]. 2021.

MORIN, E. **Os sete saberes necessários à educação do futuro**. 2ª ed., São Paulo: Cortez, Brasília, DF: UNESCO, 2000.

OTTONI, Máximo Alessandro Mendes. Etanol da cana-de-açúcar: consequências sociais e ambientais. **Revista multidisciplinar da UNIESP** v. 20, 2010. Acesso em novembro 2024.

MARTINS, Bruna Aparecida da Silva et al. **Eficiência econômica e sustentabilidade ambiental na produção de etanol e açúcar**. 2024..

PARREIRAS, Taya Cristo; BOLFE, Édson Luis. **Expansão e intensificação da agropecuária no Cerrado**. *Anais do Evento em Comemoração aos 20 Anos do Programa de Pós-Graduação em Geografia*, Campinas, v. 1, n. 1, p. 476-492, 2023.

PEREIRA, A. L.; WESZ JUNIOR, V. J. Da colônia à república: desenvolvimento do setor sucroenergético e a economia brasileira. **Revista Campo-Território**, Uberlândia, v. 15, n. 37 Ago., p. 353–382, 2021.

REIS, João José. **A morte é uma festa: ritos fúnebres e revolta popular no Brasil do século XIX**. São Paulo: Companhia das Letras, 1991.

REZENDE, Lorena Marquesini; MAGALHÃES, Paula Andrea N. dos Reys. **Impactos sociais e ambientais da indústria sucroalcooleira no estado de Goiás.** Trabalho de conclusão de curso. Universidade de Rio Verde, Goianésia, Goiás, 2012.

RODRIGUES, Gelze Serrat de Souza Campos; ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. **A trajetória da cana-de-açúcar no Brasil: perspectivas geográfica, histórica e ambiental.** Edufu, 2020.

ROMEIRO, A. R. **Desenvolvimento sustentável: um olhar sobre o Brasil.** São Paulo: Cortez, 2012.

SCHWARTZ, S. B. **Segredos Internos: Engenhos e Escravos na Sociedade Colonial, 1550-1835.** Tradução: Laura Teixeira Motta. Companhia das Letras. 1988.

SCHWARTZ, Stuart B. **Sugar Plantations in the Formation of Brazilian Society: Bahia, 1550-1835.** 1985.

SILVA, R. R.; SOUZA, F. G. Agroecologia, sustentabilidade e políticas públicas: desafios e perspectivas. **Revista Extensão Rural**, n. 26, p. 45-66, 2019.

SOUZA, E. L. L.; MACEDO, I. C. (Orgs.). **Etanol e bioeletricidade: a cana-de-açúcar no futuro da matriz energética.** São Paulo: Luc Projetos de Comunicação, 2010.

TANEZINI, Theresa Cristina Zavaris et al. **Os industriais do açúcar na "plantation" colonial (um estudo da agroindústria açucareira no Nordeste).** 1994.

UNICA. Associação Brasileira do Agronegócio da Cana-de-Açúcar. **Relatórios Anuais.** Disponível em: <http://www.unica.com.br>. Acesso em 29/06/2024

UNICA. Associação Brasileira do Agronegócio da Cana-de-Açúcar. setor-sucroenergético. Disponível em: <http://www.unica.com.br>. Acesso em 29/06/2024

WISSMANN, Martin Airton. Impactos econômicos, ambientais e sociais da agroindústria canavieira no Brasil. **Revista Desenvolvimento, Fronteiras e Cidadania**, v. 1, n. 1, p. 134-160, jul. 2017.