



Universidade Evangélica de Goiás – UniEVANGÉLICA
Pró-Reitoria de Pós-Graduação, Pesquisa, Extensão e Ação Comunitária
Programa de Pós-Graduação em Sociedade, Tecnologia e Meio Ambiente

**ANÁLISE DA EXPANSÃO DA AGROINDÚSTRIA CANAVIEIRA E DA
VIABILIDADE ECONÔMICA DA CANA-DE-AÇÚCAR NO MÉDIO NORTE
GOIANO**

GABRIELA NOBRE CUNHA

Anápolis, GO

2026

GABRIELA NOBRE CUNHA

**ANÁLISE DA EXPANSÃO DA AGROINDÚSTRIA CANAVIEIRA E DA
VIABILIDADE ECONÔMICA DA CANA-DE-AÇÚCAR NO MÉDIO NORTE
GOIANO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação *Stricto Sensu* em Sociedade, Tecnologia e Meio Ambiente da Universidade Evangélica de Goiás – UniEVANGÉLICA, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutora em Ciências Ambientais.

Orientador: Dr. Jadson Belém de Moura.

Anápolis, GO

2026

C972

Cunha, Gabriela Nobre.

Análise da expansão da agroindústria canavieira e da viabilidade econômica da cana-de-açúcar no médio norte goiano / Gabriela Nobre Cunha – Anápolis: Universidade Evangélica de Goiás - UniEvangélica, 2026.

67p. il.

Orientador: Prof. Dr. Jadson Belém de Moura.

Tese (doutorado) – Programa de pós-graduação *stricto sensu*

Doutorado em Sociedade, Tecnologia e Meio Ambiente –

Universidade Evangélica de Goiás - UniEvangélica, 2026.

1. Setor sucroenergético 2. Cerrado 3. Rendimento 4. Impactos ambientais
5. Custo de produção I. Moura, Jadson Belém de II. Título.

CDU 504



**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SOCIEDADE, TECNOLOGIA E
MEIO AMBIENTE.**

FOLHA DE APROVAÇÃO

**ANÁLISE DA EXPANSÃO DA AGROINDÚSTRIA CANAVIEIRA E DA VIABILIDADE
ECONÔMICA DA CANA-DE-AÇÚCAR NO MÉDIO NORTE GOIANO**

Gabriela Nobre Cunha

Tese apresentada ao Programa de Pós- graduação
em Sociedade, Tecnologia e Meio Ambiente da
Universidade Evangélica de Goiás como requisito
parcial à obtenção do grau de DOUTORA.

APROVADO EM 13 DE MAIO DE 2026.

LINHA DE PESQUISA: SISTEMAS AGRÍCOLAS SUSTENTÁVEIS

BANCA EXAMINADORA

O	Dr. Jadson Belém de Moura
EI	Dr. Wagner Gonçalves Vieira Júnior
EI	Dr. Joao Mauricio Fernandes Souza
EE	Dra. Maísa França Teixeira
EE	Dr. Gabriel Martins Almeida

Jadson Belem de Moura
Wagner Gonçalves Vieira Júnior
João Mauricio F. Souza
Maisa França Teixeira
Gabriel Martins Almeida

O: Orientador (Presidente); EI: Examinador Interno; EE: Examinador Externo; S: Secretária.

Associação Educativa Evangélica



Avenida Universitária, Km 3,5 - Cidade Universitária | CEP: 75083-515 | Fone: 3310-6600 | CNPJ: 01.060.102/0001-66
"...grandes coisas fez o Senhor por nós, por isso estamos alegres" (Sl 126:3)





 REQUESTED

TITLE	Folha de Aprovação - Gabriela Nobre Cunha
FILE NAME	010- F. de Aprovação - Defesa DOUTORADO -
REQUEST ID	signature_request_57ef5a19-b65e-4e5c-98c9-
REQUESTED BY	Adriana Dias Maia
STATUS	● Completed



Jadson Belem de Moura (jadson.moura@uniego.edu.br)

 SENDED	13/05/2026 20:33:54UTC±0	 SIGNED	13/05/2026 20:35:24UTC±0 177.10.238.133
---	-----------------------------	---	---

Wagner Gonçalves Vieira Júnior (wagner.junior@uniego.edu.br)

 SENDED	18/05/2026 20:19:00UTC±0	 SIGNED	18/05/2026 20:19:30UTC±0 191.242.4.159
---	-----------------------------	---	--

João Maurício Fernandes de Souza (joao.souza@unievangelica.edu.br)

 SENDED	18/05/2026 20:20:12UTC±0	 SIGNED	18/05/2026 21:56:42UTC±0 45.4.96.131
---	-----------------------------	---	--

Maisa França Teixeira (maisafteixeira@gmail.com)



SENDED

19/05/2026
13:27:05UTC±0



SIGNED

19/05/2026
13:37:13UTC±0
177.174.214.189

Gabriel Martins Almeida (gabrielrvmartins@gmail.com)



SENDED

19/05/2026
13:38:41UTC±0



SIGNED

20/05/2026
13:00:10UTC±0
177.223.40.194



COMPLETED

20/05/2026
13:00:10 UTC±0
O documento foi concluído.



Para obter e validar o documento em versão digital, faça a leitura do código ao lado ou utilize o link abaixo:

<https://aee.portalassinatura.abaris.com.br/sign/download/e9%2fQlYqMr0WGHeVS3S18aT SOYBe9NjocP4RYYOol5YXHv7teriTjsCYzRAkiGlpqDviqiPzhqophCzVR7VthwZBrS7gdhWOrEiQJG KIB13Z%2fgG4HrBuleXPm5WhyoTW>

AGRADECIMENTOS

A Deus, que me abençoa diariamente com vida, saúde, proteção e sempre guia meus passos.

Aos meus familiares, em especial à minha mãe, Oneide Nobre da Cunha, ao meu pai, Ernane da Silveira Cunha, e ao meu irmão, Fernando Nobre Cunha, pelo amor, pela força e pela motivação.

Ao meu esposo, Rogério Maróstica, por todo o amor e apoio.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Jadson Belém de Moura, pela dedicação, paciência, compreensão e sabedoria.

À Universidade Evangélica de Goiás (UniEVANGÉLICA) e ao corpo docente do Programa de Doutorado em Sociedade, Tecnologia e Meio Ambiente.

À Usina de Uruaçu – GO, pelo apoio à pesquisa.

RESUMO

A cultura da cana-de-açúcar é uma das mais relevantes para a economia brasileira, constituindo-se como um dos principais produtos de exportação, geradora de empregos diretos e indiretos em diversas regiões e impulsionadora de uma cadeia produtiva que abrange desde o cultivo até a produção de derivados, como açúcar e etanol. O estudo teve como objetivo realizar um diagnóstico abrangente dos impactos ambientais e socioeconômicos decorrentes do desenvolvimento da indústria canavieira no Médio Norte Goiano, bem como verificar a viabilidade econômica da cana-de-açúcar irrigada no primeiro e segundo ano de cultivo (cana-planta e cana-soca) na Usina de Uruaçu, localizada nessa região. O primeiro capítulo buscou realizar um diagnóstico abrangente dos impactos decorrentes do desenvolvimento da indústria canavieira no Médio Norte Goiano, oferecendo uma análise integrada dos efeitos ambientais e socioeconômicos dessa atividade. A abordagem metodológica adotada combinou a avaliação de indicadores ambientais e socioeconômicos, com o objetivo de proporcionar uma visão ampla dos efeitos da atividade canavieira. O segundo capítulo apresentou uma análise de viabilidade econômica realizada em uma área utilizada para o plantio da cana-de-açúcar irrigada, pertencente à Usina de Uruaçu. Para essa análise, foram considerados dois cortes da cana-de-açúcar (cana-planta e cana-soca), em cultivo irrigado. A organização dos custos seguiu a metodologia de custo operacional ajustada e os parâmetros financeiros foram estimados para avaliar a viabilidade dos investimentos em irrigação. A irrigação da cana-de-açúcar no primeiro e no segundo ano de cultivo (cana-planta e cana-soca), na região Norte de Goiás, apresentou viabilidade econômica, pois os indicadores econômicos empregados foram positivos em todas as situações. A análise dos impactos ambientais e socioeconômicos das atividades agroindustriais, especialmente do setor sucroenergético, revelou um cenário de crescimento econômico acompanhado de pressões ambientais e sociais.

Palavras-chave: Setor sucroenergético; Cerrado; Rendimento; Impactos ambientais; Custo de produção.

ABSTRACT

Sugarcane cultivation is one of the most important sectors of the Brazilian economy, standing out as one of the country's main export commodities, generating direct and indirect employment across several regions, and driving a productive chain that ranges from cultivation to the production of by-products such as sugar and ethanol. This study aimed to conduct a comprehensive assessment of the environmental and socioeconomic impacts resulting from the development of the sugarcane industry in the Mid-Northern region of Goiás, as well as to evaluate the economic feasibility of irrigated sugarcane cultivation during the first and second production cycles (plant cane and ratoon cane) at the Uruaçu Sugar Mill, located in this region. The first chapter sought to provide a comprehensive diagnosis of the impacts associated with the expansion of the sugarcane industry in the Mid-Northern region of Goiás, offering an integrated analysis of the environmental and socioeconomic effects of this activity. The methodological approach combined the evaluation of environmental and socioeconomic indicators in order to provide a broad understanding of the impacts of sugarcane production. The second chapter presented an economic feasibility analysis conducted in an area used for irrigated sugarcane cultivation belonging to the Uruaçu Sugar Mill. For this analysis, two harvest cycles of sugarcane cultivation (plant cane and ratoon cane) under irrigation were considered. Cost organization followed the adjusted operational cost methodology, and financial parameters were estimated to assess the feasibility of investments in irrigation. The irrigation of sugarcane during the first and second cultivation years (plant cane and ratoon cane) in Northern Goiás proved to be economically feasible, as the economic indicators adopted were positive in all evaluated scenarios. The analysis of the environmental and socioeconomic impacts of agro-industrial activities, particularly within the sugar-energy sector, revealed a scenario of economic growth accompanied by environmental and social pressures.

Keywords: Sugar-energy sector; Cerrado biome; Yield; Environmental impacts; Production costs.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES E FIGURAS

Artigo I: Evolução do cultivo e diagnóstico dos impactos ambientais e socioeconômicos do desenvolvimento da indústria canavieira no Médio Norte Goiano.....	19
Figura 1 Mapa de localização do Médio Norte Goiano em relação ao Brasil.....	23
Figura 2 Mapa dos municípios pertencentes ao Médio Norte Goiano.....	24
Figura 3 Mapa de uso e cobertura da terra do Médio Norte Goiano no ano de 1985.....	27
Figura 4 Mapa de uso e cobertura da terra do Médio Norte Goiano no ano de 1995.....	28
Figura 5 Mapa de uso e cobertura da terra do Médio Norte Goiano no ano de 2005.....	28
Figura 6 Mapa de uso e cobertura da terra do Médio Norte Goiano no ano de 2015.....	29
Figura 7 Mapa de uso e cobertura da terra do Médio Norte Goiano no ano de 2023.....	29
Figura 8 Evolução do cultivo da cana-de-açúcar nos anos de 1985, 1995, 2005 e 2023, no Médio Norte Goiano.....	33
Artigo II: Viabilidade econômica da irrigação de cana-de-açúcar no Norte de Goiás.....	43
Figura 1 Custos com o preparo de solo e plantio da cana-de-açúcar (cana-planta).....	49
Figura 2 Custos com os tratos culturais da cana-de-açúcar em relação ao corte de cana-planta (A) e cana-soca (B).....	49
Figura 3 Custos com a colheita da cana-de-açúcar em relação ao corte de cana-planta (A) e cana-soca (B).....	50
Figura 4 Custos com despesas administrativas do cultivo da cana-de-açúcar em relação ao corte de cana-planta (A) e cana-soca (B).....	51
Figura 5 Custo total com tratos culturais em função do corte da cana-de-açúcar (cana-planta e cana-soca).....	52
Figura 6 Custo total com a colheita em função do corte da cana-de-açúcar (cana-planta e cana-soca).....	52
Figura 7 Custo total relativo do cultivo da cana-de-açúcar em relação ao corte de cana-planta (A) e cana-soca (B).....	53
Figura 8 Custo operacional efetivo em função do corte da cana-de-açúcar (cana-planta e cana-soca).....	54
Figura 9 Custo operacional da irrigação da cana-de-açúcar em relação ao corte de cana-planta (A) e cana-soca (B).....	54

Figura 10	Participação percentual dos custos de produção da cana-de-açúcar irrigada para o primeiro ano de cultivo (cana-planta).....	55
Figura 11	Participação percentual dos custos de produção da cana-de-açúcar irrigada para o segundo ano de cultivo (cana-soca).....	56
Figura 12	Custo operacional total da cana-de-açúcar irrigada em relação ao corte de cana-planta (A) e cana-soca (B).....	56
Figura 13	Rentabilidade em função do corte da cana-de-açúcar irrigada (cana-planta e cana-soca).....	57

LISTA DE QUADROS

Artigo I: Evolução do cultivo e diagnóstico dos impactos ambientais e socioeconômicos do desenvolvimento da indústria canavieira no Médio Norte Goiano.....19

Quadro 1 Composição de cores das classes de uso e cobertura da terra para confecção dos mapas de acordo com as recomendações do projeto MapBiomias.....25

Quadro 2 Evolução das classes de uso e cobertura da terra nos anos de 1985, 1995, 2005, 2015 e 2023, no Médio Norte Goiano.....32

LISTA DE TABELAS

Artigo II: Viabilidade econômica da irrigação de cana-de-açúcar no Norte de Goiás.....	43
Tabela 1 Condições em que foi realizada a avaliação de custos do cultivo de cana-de-açúcar.....	46
Tabela 2 Indicadores econômicos da cultura da cana-de-açúcar irrigada.....	57

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	- Agência Nacional de Águas
APPs	- Áreas de Preservação Permanente
ATR	- Açúcar Total Recuperável
B/C	- Benefício/Custo
BNDES	- Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
COE	- Custo Operacional Efetivo
CONAB	- Companhia Nacional de Abastecimento
COT	- Custo Operacional Total
FAEG	- Federação da Agricultura e Pecuária de Goiás
ONGs	- Organizações Não Governamentais
PIB	- Produto Interno Bruto
TIR	- Taxa Interna de Retorno
TMA	- Taxa Mínima de Atratividade
VPL	- Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL.....	15
1.1	Objetivo Geral.....	17
1.1.1	Objetivos Específicos.....	18
2	ARTIGO I: EVOLUÇÃO DO CULTIVO E DIAGNÓSTICO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS E SOCIOECONÔMICOS DO DESENVOLVIMENTO DA INDÚSTRIA CANAVIEIRA NO MÉDIO NORTE GOIANO.....	19
	Resumo.....	19
	Abstract.....	19
2.1	Introdução.....	20
2.2	Material e Métodos.....	22
2.3	Resultados e Discussão.....	27
2.4	Conclusões.....	38
2.5	Referências.....	39
3	ARTIGO II: VIABILIDADE ECONÔMICA DA IRRIGAÇÃO DE CANA- DE-AÇÚCAR NO NORTE DE GOIÁS.....	43
	Resumo.....	43
	Abstract.....	43
3.1	Introdução.....	44
3.2	Material e Métodos.....	45
3.3	Resultados e Discussão.....	48
3.4	Conclusões.....	58
3.5	Agradecimentos.....	58
3.6	Referências.....	59
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	64
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65

1 INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, com mais de 9,10 milhões de hectares destinados à colheita e uma produção superior a 709,1 milhões de toneladas, o que coloca o país na liderança mundial em tecnologia de produção de etanol. Seus resíduos são utilizados para cogeração de energia elétrica, fabricação de ração e produção de fertilizantes (Companhia Nacional de Abastecimento [CONAB], 2026).

Os principais produtores brasileiros encontram-se no Centro-Sul, destacando-se os estados de São Paulo, Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso do Sul, Paraná, Mato Grosso, Rio de Janeiro e Espírito Santo, que juntos respondem por 88% da produção nacional de cana-de-açúcar (Agência Nacional de Águas [ANA], 2017; CONAB, 2026; Santos, 2023). A região Centro-Oeste ocupa a segunda posição na produção, sendo responsável por 20% da produção total de cana-de-açúcar do país, com o estado de Goiás como maior produtor, representando 10,6% da área colhida total (CONAB, 2026).

A cultura da cana-de-açúcar é, portanto, uma das mais relevantes para a economia brasileira, sendo um dos principais produtos de exportação, gerando empregos diretos e indiretos em diversas regiões e movimentando toda a cadeia produtiva, desde o cultivo até os derivados, como açúcar e etanol (Yara Brasil, 2023). A evolução dessa cultura no Brasil caracteriza-se por importantes transformações sociais, produtivas e inovações tecnológicas, como a utilização de irrigação, o que tem contribuído para sua competitividade internacional e para sua relevância em diferentes setores da economia nacional (Cortez *et al.*, 2016; Quintam; Assunção, 2023; Rocha *et al.*, 2014; Santos *et al.*, 2018).

Os avanços tecnológicos na cultura da cana-de-açúcar aumentaram os desafios financeiros relacionados a investimentos, especialmente na análise da viabilidade econômica da adoção de tecnologias como a irrigação. Nos últimos anos, os sistemas de irrigação passaram por significativa modernização, provocando impactos na produtividade e rentabilidade da cultura. Além disso, poucos estudos econômicos abordam a produção canavieira sob essa perspectiva (Mazzi; Santos; Maistro, 2025; Santos *et al.*, 2016; Santos *et al.*, 2018).

Na análise de investimentos, nos quais os retornos ocorrem somente a partir de determinado ponto da vida útil da cultura, a estimativa do custo operacional da irrigação assume grande importância (Afférri; Trento; Pinto, 2014; Kamal; Zaid; Ali, 2023). O estudo das variáveis de custos da cultura em diferentes regiões produtoras do Brasil tem

demonstrado diferenças significativas em todas as variáveis analisadas, evidenciando a heterogeneidade de custos entre produtores eficientes e ineficientes, geralmente associada ao seu nível tecnológico. Um dos desafios do setor é ampliar o número de empresas operando com gestão financeira e operacional eficiente. Para tanto, é essencial a realização de estudos econômicos contínuos nas áreas produtoras, principalmente quando a irrigação é adotada (Amorim, 2019; Pereira; Tavares, 2017; Rodrigues; Belon, 2018; Santos *et al.*, 2021; Zambianco; Rebelatto, 2019).

A utilização da irrigação permitiu ao setor sucroalcooleiro investir em regiões antes pouco exploradas; em especial, no estado de Goiás, mais precisamente no Médio Norte Goiano, que tem se transformado na nova fronteira do setor no país, promovendo o crescimento e desenvolvimento dessa região. Essa expansão acelerada do cultivo da cana-de-açúcar tem ocorrido em áreas do bioma Cerrado, o que pode gerar impactos negativos sobre esse ecossistema (Bühler *et al.*, 2023; Mesquita, 2016; Teixeira; Couto, 2013).

No Norte de Goiás, o avanço ocorreu sobre áreas de vegetação nativa, incluindo Áreas Prioritárias para Conservação, o que é preocupante do ponto de vista ambiental, uma vez que essa conversão corresponde a 15% e 6% da área ocupada pela expansão da cana-de-açúcar anteriormente formada por Cerrado e mata, respectivamente. De fato, apenas 12% da expansão ocorreu em áreas de pecuária (pastagens degradadas). Conseqüentemente, para compreender a história da expansão da cana-de-açúcar no Médio Norte Goiano, deve-se considerar essa tendência espacial, que pode levar o cultivo a áreas de maior risco ambiental, devido à menor aptidão dessas terras. Isso tende a provocar impactos mais sérios, sobretudo em nível microrregional, em que os efeitos diretos e indiretos das mudanças de uso do solo podem ser significativos e necessitam de investigação detalhada (Batista; Garro; Silva, 2025; Castro *et al.*, 2010; Silva; Miziara, 2011).

Nesse contexto, o setor sucroalcooleiro exerce impactos econômicos, ambientais e sociais relevantes, principalmente em relação a geração de empregos, produção de alimentos e energia. Por se tratar de uma atividade que utiliza matéria-prima alimentar e cuja cadeia produtiva abrange fases agrícolas, industriais e comerciais, é natural que cada etapa envolva impactos positivos e negativos no âmbito ambiental e socioeconômico (Patino *et al.*, 2022; Wissmann; Shikida, 2017).

Considerando que a sustentabilidade não se limita ao fator econômico, sendo necessário também contemplar a conservação dos recursos naturais, a equidade e a justiça

social, torna-se fundamental realizar estudos que avaliem os impactos de atividades agroindustriais, como a canavieira, em novas fronteiras agrícolas. Esses estudos devem considerar a estreita dependência entre os diversos componentes do meio ambiente e o contexto socioeconômico, possibilitando a compreensão das interrelações e da importância de cada elemento (Charles *et al.*, 2023; Sousa; Borges, 2010).

Duas hipóteses foram formuladas: a análise dos impactos ambientais e socioeconômicos do desenvolvimento do setor sucroenergético no Médio Norte Goiano apresenta um cenário de crescimento econômico acompanhado de pressões ambientais e sociais; e o cultivo de cana-de-açúcar irrigada (cana-planta e cana-soca) no Médio Norte Goiano apresenta viabilidade econômica, gerando retornos financeiros positivos e sustentáveis ao longo do tempo.

O primeiro capítulo busca realizar um diagnóstico abrangente dos impactos decorrentes do desenvolvimento da indústria canavieira no Médio Norte Goiano, por meio de uma análise integrada dos efeitos ambientais e socioeconômicos dessa atividade. A abordagem metodológica combina a avaliação de indicadores ambientais e socioeconômicos, com o objetivo de proporcionar uma visão ampla dos efeitos da atividade canavieira, além de realizar uma análise espacial do uso e da cobertura da terra, contribuindo para a compreensão das dinâmicas territoriais associadas à expansão dos canaviais, de modo a identificar padrões de conversão da terra e avaliar as mudanças na paisagem ao longo do tempo.

O segundo capítulo apresenta uma análise de viabilidade econômica realizada em uma área destinada ao plantio de cana-de-açúcar irrigada pertencente à usina de Uruaçu, no Médio Norte Goiano. Para a análise de viabilidade econômica, foram considerados dois cortes da cana-de-açúcar (cana-planta e cana-soca) em cultivo irrigado. A organização dos custos seguiu a metodologia de custo operacional ajustada, em que o custo operacional efetivo é formado pela soma de todas as despesas com operações mecanizadas, mão de obra e insumos utilizados durante a implantação e a etapa produtiva da cana-de-açúcar. Os parâmetros financeiros foram estimados para avaliar a viabilidade dos investimentos em irrigação.

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo foi realizar um diagnóstico abrangente dos impactos ambientais e socioeconômicos decorrentes do desenvolvimento da indústria canavieira no Médio

Norte Goiano, bem como verificar a viabilidade econômica da cana-de-açúcar irrigada no primeiro e segundo ano de cultivo (cana-planta e cana-soca), na Usina de Uruaçu, situada nessa região.

1.1.1 Objetivos Específicos

- Analisar a evolução das classes de uso e cobertura da terra no Médio Norte Goiano entre os anos de 1985 e 2023.
- Analisar os impactos socioeconômicos e ambientais do desenvolvimento da agroindústria canavieira no Médio Norte Goiano.
- Determinar os custos de produção e os indicadores econômicos da cultura da cana-de-açúcar irrigada em uma usina do Médio Norte Goiano.
- Analisar a viabilidade econômica em dois anos de cultivo de cana-de-açúcar irrigada (cana-planta e cana-soca) no Médio Norte Goiano.

2 ARTIGO I

Evolução do cultivo e diagnóstico dos impactos ambientais e socioeconômicos do desenvolvimento da indústria canavieira no Médio Norte Goiano

RESUMO

Embora o cultivo da cana-de-açúcar traga benefícios econômicos, como aumento da produtividade agrícola e geração de empregos, ele também pode impor desafios ambientais e sociais, incluindo degradação do solo, sobrecarga de recursos hídricos, perda de biodiversidade, mudanças na dinâmica rural e impactos sobre o desenvolvimento econômico local. O estudo teve como objetivo realizar, por meio do estudo de uso e cobertura da terra, um diagnóstico abrangente dos impactos ambientais e socioeconômicos decorrentes do desenvolvimento da indústria canavieira no Médio Norte Goiano, oferecendo subsídios para a formulação de políticas públicas e estratégias de gestão que promovam o desenvolvimento sustentável da região, equilibrando crescimento econômico, conservação ambiental e bem-estar social. Para tanto, empregou-se o *software* QGIS, com base nos dados do MapBiomass, para analisar o uso e ocupação da terra com enfoque no cultivo da cana-de-açúcar nos anos de 1985, 1995, 2005, 2015 e 2023. Além disso, procedeu-se à pesquisa bibliográfica sobre os impactos ambientais do cultivo da cana-de-açúcar, utilizando bases de dados científicas reconhecidas, como SciELO, Web of Science e Google Scholar, garantindo a relevância e atualidade das informações. Os resultados indicam que a substituição da vegetação savânica por pastagens e a monocultura da cana-de-açúcar geraram impactos ambientais e sociais significativos. O crescimento do setor sucroenergético aumentou a pressão sobre recursos hídricos, solo e biodiversidade. Apesar da geração de empregos, ocorreram mudanças na dinâmica rural e concentração fundiária. O estudo reforça a necessidade de políticas sustentáveis que promovam o equilíbrio entre desenvolvimento econômico e conservação ambiental.

Palavras-chave: Agropecuária; Biodiversidade; Cana-de-açúcar; Geotecnologias; Uso da terra.

ABSTRACT

Although sugarcane cultivation brings economic benefits, such as increased agricultural productivity and job creation, it may also impose environmental and social challenges, including soil degradation, pressure on water resources, biodiversity loss, changes in rural dynamics, and impacts on local economic development. This study aimed, through land use and land cover analysis, to conduct a comprehensive assessment of the environmental and socioeconomic impacts resulting from the development of the sugarcane industry in the Mid-Northern region of Goiás, providing support for the formulation of public policies and management strategies capable of promoting sustainable regional development by balancing economic growth, environmental conservation, and social well-being. To achieve this objective, the QGIS software was used in conjunction with

MapBiomas data to analyze land use and land cover, focusing on sugarcane cultivation in the years 1985, 1995, 2005, 2015, and 2023. In addition, a bibliographic review on the environmental impacts of sugarcane cultivation was conducted using recognized scientific databases, such as SciELO, Web of Science, and Google Scholar, ensuring the relevance and currency of the information. The results indicate that the replacement of savanna vegetation by pasturelands and sugarcane monoculture generated significant environmental and social impacts. The expansion of the sugar-energy sector increased pressure on water resources, soil, and biodiversity. Despite the generation of employment opportunities, changes in rural dynamics and land concentration were also observed. The study highlights the need for sustainable policies capable of promoting a balance between economic development and environmental conservation.

Keywords: Farming; Biodiversity; Sugarcane; Geotechnologies; Land use.

2.1 INTRODUÇÃO

A indústria canavieira é relevante para a economia brasileira, sendo responsável pela produção de açúcar e etanol, produtos essenciais tanto para o mercado interno quanto para exportação. O Brasil se destaca como um dos maiores produtores mundiais de cana-de-açúcar, consolidando-se como referência na oferta de biocombustíveis sustentáveis. No contexto do Médio Norte Goiano, o desenvolvimento dessa indústria tem se intensificado nas últimas décadas, trazendo consigo uma série de impactos ambientais e socioeconômicos (Dompieri; Silva, 2023).

O avanço da cana-de-açúcar impulsionou uma reestruturação significativa no Médio Norte Goiano. Caracterizado por uma economia predominantemente agropecuária, o território vem transformando seu uso da terra e sua dinâmica socioeconômica. Esse fenômeno está inserido em um contexto mais amplo de modernização agrícola e reorganização territorial, impulsionado por incentivos econômicos, avanços tecnológicos e políticas governamentais voltadas para a bioenergia. Embora o setor sucroenergético tenha gerado oportunidades econômicas e contribuído para o desenvolvimento regional, ainda há desafios relacionados com a sustentabilidade ambiental e a equidade social (Machado, 2014).

A monocultura da cana-de-açúcar, associada ao uso intensivo de recursos naturais e agroquímicos, pode resultar em degradação ambiental, afetando a biodiversidade, os recursos hídricos e a qualidade do solo. A conversão de áreas de vegetação nativa e pastagens em extensas lavouras mecanizadas altera os ecossistemas locais, impactando fauna e flora. Além disso, práticas agrícolas convencionais, como o uso excessivo de

fertilizantes sintéticos e pesticidas, e a compactação do solo devido ao tráfego de maquinário pesado, comprometem a resiliência ambiental da região (Bahamón-Pinzón *et al.*, 2024).

No que se refere aos recursos hídricos, a expansão da indústria canavieira intensifica a demanda por água para irrigação e processamento industrial, aumentando a pressão sobre mananciais superficiais e subterrâneos. O crescimento do consumo hídrico, aliado ao escoamento de agroquímicos e resíduos industriais para corpos d'água, pode comprometer tanto a qualidade quanto a disponibilidade desse recurso vital (Wade *et al.*, 2022).

Do ponto de vista socioeconômico, o crescimento da indústria canavieira altera a dinâmica do mercado de trabalho e das comunidades rurais. A mecanização da colheita, impulsionada pela proibição da queima da palha da cana-de-açúcar e pelo avanço tecnológico, tem transformado o perfil e a demanda de mão de obra rural. Esse processo, por mais que tenha contribuído para a melhoria das condições laborais e a mitigação de problemas de saúde ocupacional, resultou em desemprego e migração de trabalhadores para os centros urbanos em busca de novas oportunidades. Observa-se uma reconfiguração socioeconômica na região, impactando o poder de compra das famílias, o comércio local e a oferta de serviços públicos (Machado; Cruz, 2022).

Outro aspecto relevante é a estrutura fundiária e a concentração de terras. O modelo produtivo predominante no setor sucroenergético favorece grandes propriedades e arrendamentos em larga escala, o que pode limitar o acesso de pequenos produtores a áreas agricultáveis e restringir sua participação nos mercados de insumos e produtos agrícolas. Esse cenário reforça a desigualdade no campo e levanta questionamentos sobre inclusão social e diversificação da produção agrícola na região (Cherubin *et al.*, 2021).

Faz-se necessário realizar um diagnóstico abrangente dos impactos decorrentes do desenvolvimento da indústria canavieira no Médio Norte Goiano. Assim, este estudo busca preencher uma lacuna na literatura existente, ao apresentar uma análise integrada dos efeitos ambientais e socioeconômicos da atividade. A abordagem metodológica combina a avaliação de indicadores ambientais e socioeconômicos, com o objetivo de proporcionar uma visão ampla dos impactos da atividade canavieira.

A análise espacial do uso e cobertura da terra auxilia na compreensão das dinâmicas territoriais associadas à expansão dos canaviais. Por meio de ferramentas de geoprocessamento, como o *software* QGIS, e bases de dados reconhecidas, como o MapBiomias (MapBiomias, 2024), é possível identificar padrões de conversão da terra e

avaliar as mudanças na paisagem ao longo do tempo.

Com base nos resultados obtidos, este estudo visa fornecer subsídios para a formulação de políticas públicas e estratégias de gestão que promovam o desenvolvimento sustentável da região. A compatibilização entre crescimento econômico, conservação ambiental e bem-estar social consiste em desafio na gestão do setor sucroenergético. Nesse sentido, recomendações voltadas para o fortalecimento de práticas agrícolas sustentáveis, o uso racional dos recursos naturais, a inclusão social de pequenos produtores e a valorização da mão de obra local podem contribuir para um modelo de desenvolvimento mais equilibrado e resiliente (Cruz; Machado, 2023).

Esta pesquisa teve como objetivo realizar por meio do estudo de uso e cobertura da terra, um diagnóstico abrangente dos impactos ambientais e socioeconômicos decorrentes do desenvolvimento da indústria canavieira no Médio Norte Goiano, oferecendo subsídios para a formulação de políticas públicas e estratégias de gestão que promovam o desenvolvimento sustentável da região, equilibrando crescimento econômico, conservação ambiental e bem-estar social.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

O Médio Norte Goiano é uma das regiões de destaque do estado de Goiás, caracterizada por sua forte vocação agropecuária e crescente modernização do setor agrícola. A região apresenta um mosaico de atividades econômicas, com ênfase na produção de grãos, na pecuária e na expansão da cana-de-açúcar. Possui significativa diversidade ambiental, com a presença de áreas de vegetação nativa do Cerrado, que coexistem com extensas áreas de uso agrícola e pastagens (Machado, 2014).

A região abrange uma área total de 66.145,55 km² e está situada na porção central do estado de Goiás (Figura 1). Faz parte do bioma Cerrado e ocupa posição estratégica entre importantes centros urbanos e corredores logísticos que interligam Goiás a outros estados do Centro-Oeste e Sudeste do país. Os municípios que compõem a região estão inseridos em uma área de transição entre a economia tradicional agropecuária e o avanço da agricultura tecnificada, impulsionada pelo uso de geotecnologias e sistemas de irrigação.

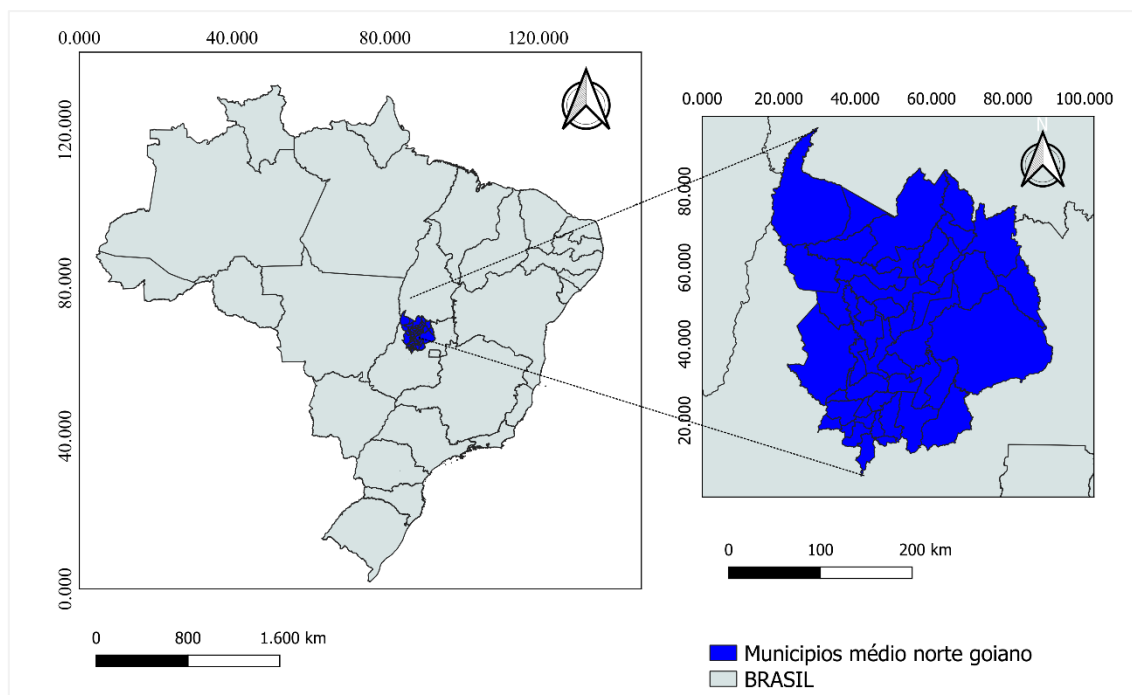


Figura 1. Mapa de localização do Médio Norte Goiano em relação ao Brasil

A proximidade com a capital do estado, Goiânia, e com o Distrito Federal proporciona vantagens logísticas para o escoamento da produção agrícola, favorecendo a integração com mercados consumidores e polos agroindustriais. A região conta com infraestrutura rodoviária bem desenvolvida, facilitando o transporte de *commodities* agrícolas e de insumos essenciais para a produção. Os municípios que compõem o Médio Norte Goiano podem ser observados na Figura 2.

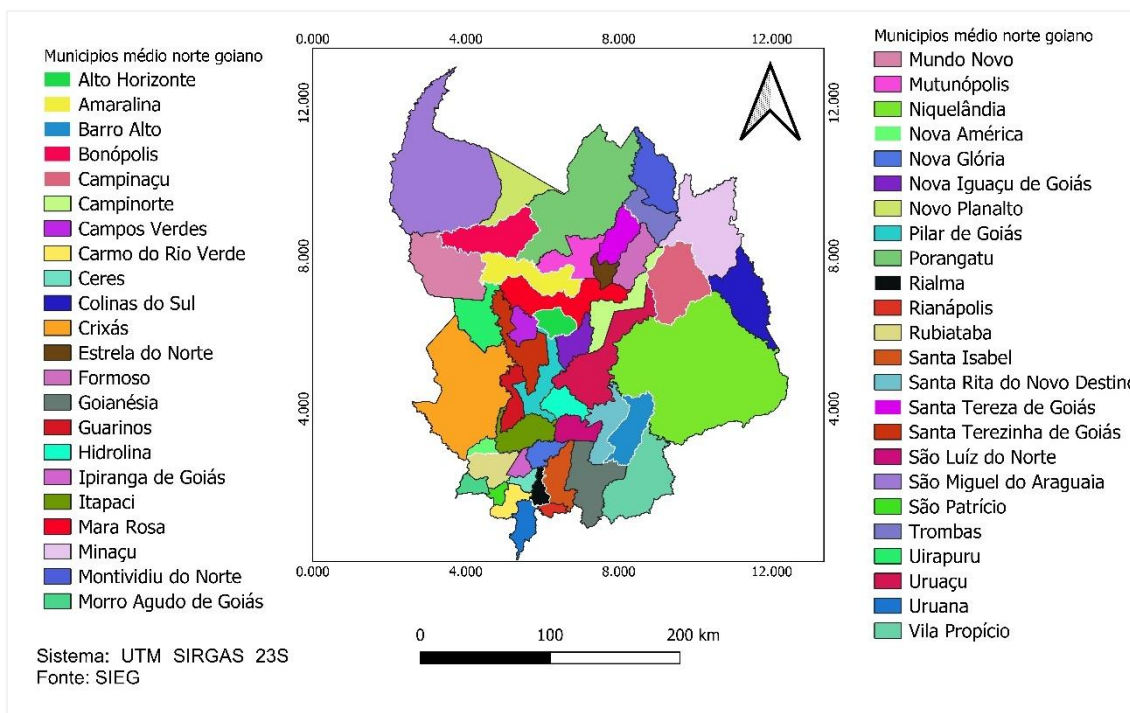
















Figura 2. Mapa dos municípios pertencentes ao Médio Norte Goiano

Para a avaliação da evolução do uso da terra no Médio Norte Goiano, foram utilizados mapas de uso da terra referentes aos anos de 1985, 1995, 2005, 2015 e 2023. O último ano disponibilizado pelo MapBiomas (Coleção 9) foi 2023. Os mapas foram obtidos junto ao projeto MapBiomas, iniciado em 2015, que consiste em uma iniciativa de diversas universidades, organizações não governamentais (ONGs) e empresas privadas. O projeto tem como objetivo desenvolver uma metodologia rápida, confiável e de baixo custo para produzir séries anuais de uso e cobertura da terra em todo o território brasileiro. Atualmente, o MapBiomas disponibiliza mapas de uso da terra cobrindo o período de 1985 a 2023, totalizando 38 anos (MapBiomas, 2024).

Os mapas disponibilizados pelo MapBiomas foram elaborados a partir de imagens de satélite Landsat, com resolução de 30 metros. Eles foram gerados por meio de algoritmos nas linguagens JavaScript e Python, diferenciando 32 tipos de uso e cobertura da terra, dos quais 14 foram identificados no Médio Norte Goiano.

Os mapas dos anos de 1985, 1995, 2005, 2015 e 2023 foram avaliados e comparados entre si com o auxílio do *software* QGIS 3.34.8 (QGIS, 2024). A composição de cores das classes de uso e cobertura da terra, para a confecção dos mapas, foi realizada de acordo com as recomendações do projeto MapBiomas (MapBiomas, 2024), como mostra o Quadro 1.

Quadro 1. Composição de cores das classes de uso e cobertura da terra para confecção dos mapas de acordo com as recomendações do projeto MapBiomias

Cor	Classes de uso e cobertura da terra
	Formação florestal
	Formação savânica
	Silvicultura
	Campo alagado
	Formação campestre
	Pastagem
	Cana
	Mosaico de usos
	Área urbanizada
	Outras áreas não vegetadas
	Afloramento rochoso
	Mineração
	Rio e lago
	Outras culturas agrícolas

Conforme o projeto MapBiomias (2024), as classes de uso e cobertura da terra são definidas da seguinte forma:

- **Formação florestal:** áreas com predominância de espécies arbóreas e dossel contínuo, incluindo Mata Ciliar, Mata de Galeria, Mata Seca, Cerradão e florestas estacionais semidecíduais.
- **Formação savânica:** vegetação com estratos arbóreo, arbustivo e herbáceo bem definidos, abrangendo Cerrado denso, Cerrado típico, Cerrado ralo e Cerrado rupestre.
- **Campo alagado:** vegetação herbácea sujeita ao alagamento sazonal ou à influência fluvial/lacustre, como Campo Úmido e Brejo. Em algumas regiões, ocorre associada a espécies arbóreas de formação savânica (Parque de Cerrado) ou palmeiras (Vereda, Palmeiral).
- **Formação campestre:** áreas com predomínio de vegetação herbácea, incluindo campo sujo, campo limpo e campo rupestre, além de algumas formações savânicas, como Cerrado rupestre.
- **Afloramento rochoso:** feições monolíticas e lajedos expostos, geralmente sem solo, podendo apresentar vegetação rupestre.

- **Pastagem:** inclui áreas de pastagem plantada para agropecuária e pastagens naturais, muitas vezes associadas a formações campestres ou campos alagados.
- **Cana:** áreas cultivadas exclusivamente com cana-de-açúcar.
- **Silvicultura:** plantios comerciais de espécies arbóreas, como pinus, eucalipto e araucária.
- **Mosaico de usos:** áreas agropecuárias em que não se distingue entre pastagem e agricultura, podendo incluir pastagens abandonadas e áreas antropizadas em áreas protegidas e periurbanas (chácaras, sítios, condomínios).
- **Área urbanizada:** regiões densamente edificadas, incluindo vias e infraestrutura.
- **Mineração:** áreas de extração mineral, industrial ou artesanal, com exposição significativa do solo.
- **Outras áreas não vegetadas:** superfícies não permeáveis devido à infraestrutura, expansão urbana ou mineração, além de solos expostos por erosão ou em entressafras agrícolas.
- **Rio e lago:** rios, lagos, represas, reservatórios e outros corpos d'água.
- **Outras culturas agrícolas:** áreas de cultivo agrícola que não incluem a cana-de-açúcar.

Além disso, foi realizada pesquisa bibliográfica sobre os impactos ambientais decorrentes do cultivo da cana-de-açúcar, utilizando bases de dados científicas reconhecidas, como SciELO, Web of Science e Google Scholar, a fim de garantir relevância e atualidade das informações. Foram selecionados artigos, dissertações e teses que abordam os principais efeitos dessa cultura sobre o meio ambiente, incluindo degradação do solo, consumo hídrico e contaminação por agroquímicos. A revisão da literatura permitiu identificar padrões e tendências associadas à expansão da cana-de-açúcar, bem como práticas de manejo sustentável que podem mitigar os impactos negativos.

A metodologia da pesquisa bibliográfica seguiu critérios rigorosos de seleção, priorizando publicações revisadas por pares e estudos de caso aplicáveis à realidade do Médio Norte Goiano. Foram utilizadas palavras-chave específicas, como "impactos ambientais da cana-de-açúcar", "uso da terra e sustentabilidade" e "conservação do solo e água na agroindústria sucroenergética", dentre outras. A análise dos dados permitiu um embasamento teórico sólido sobre os desafios ambientais do setor, além de subsidiar a

discussão dos resultados obtidos no estudo empírico, contribuindo para a formulação de recomendações voltadas para o desenvolvimento sustentável da atividade canieira na região.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise da evolução das classes de uso e cobertura da terra no Médio Norte Goiano, entre os anos de 1985 e 2023, revela profundas mudanças na dinâmica territorial da região, impulsionadas, principalmente, pela expansão agropecuária e pela redução das áreas naturais. O processo de conversão do uso da terra evidencia a transição de uma paisagem predominantemente natural para um cenário marcado pelo avanço da agropecuária, especialmente das pastagens e da cultura da cana-de-açúcar, como pode ser observado nas Figuras 3 a 7.

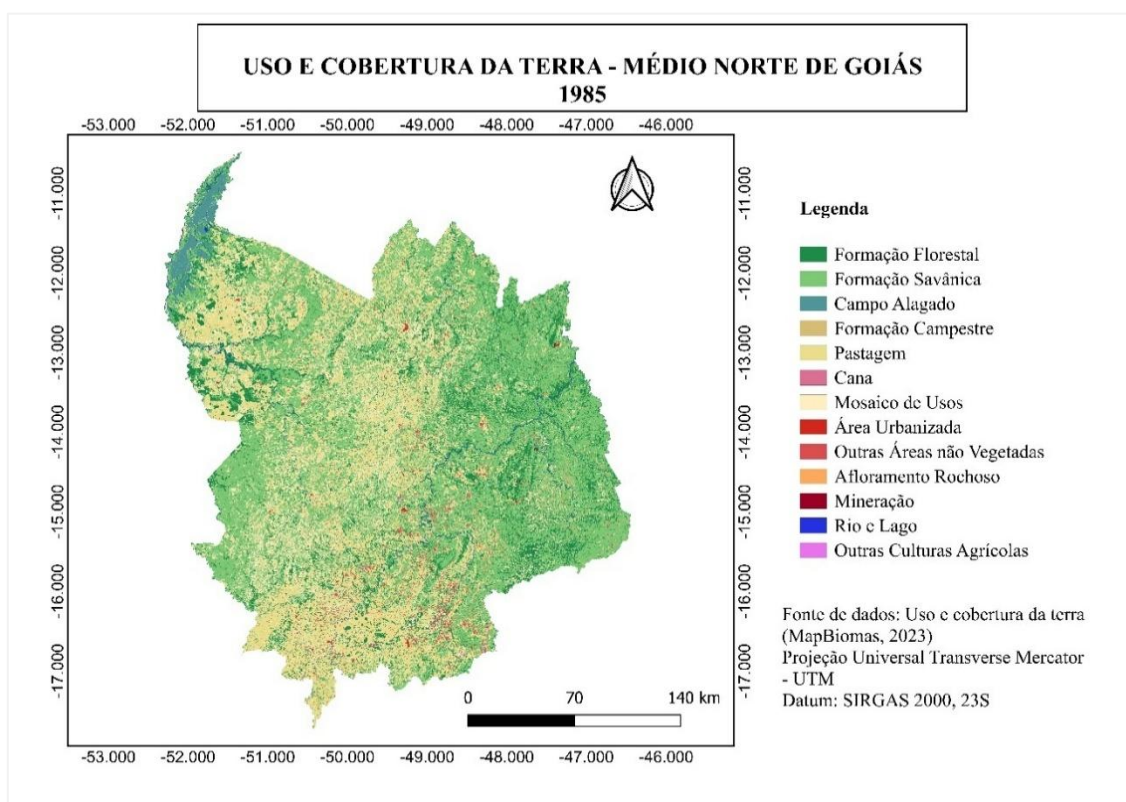


Figura 3. Mapa de uso e cobertura da terra do Médio Norte Goiano no ano de 1985

Fonte: (MapBiomias, 2023).

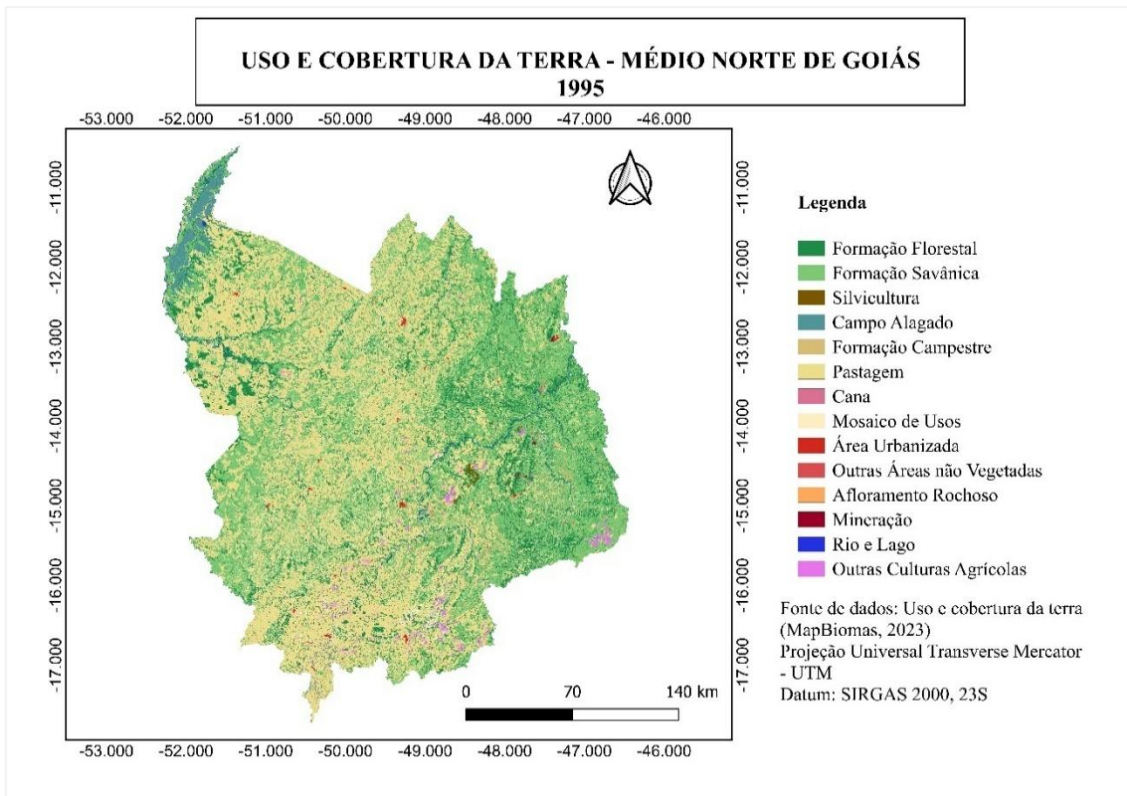


Figura 4. Mapa de uso e cobertura da terra do Médio Norte Goiano no ano de 1995

Fonte: (MapBiomias, 2023).

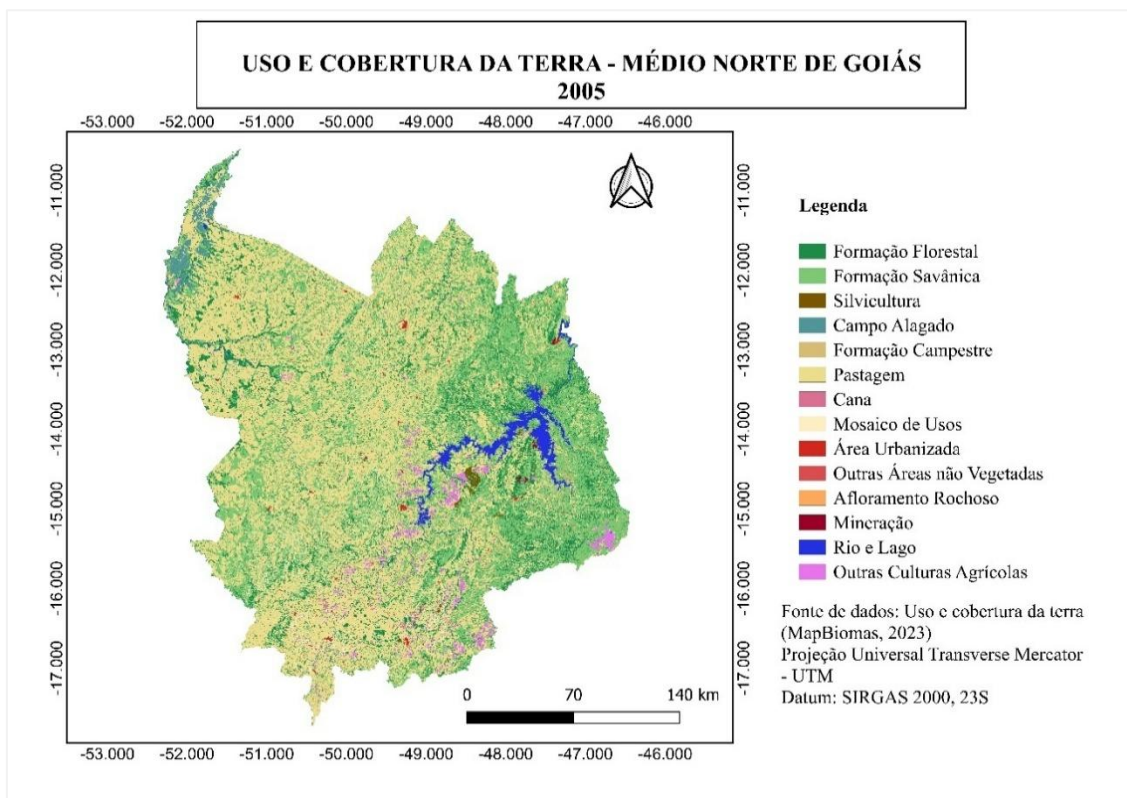


Figura 5. Mapa de uso e cobertura da terra do Médio Norte Goiano no ano de 2005

Fonte: (MapBiomias, 2023).

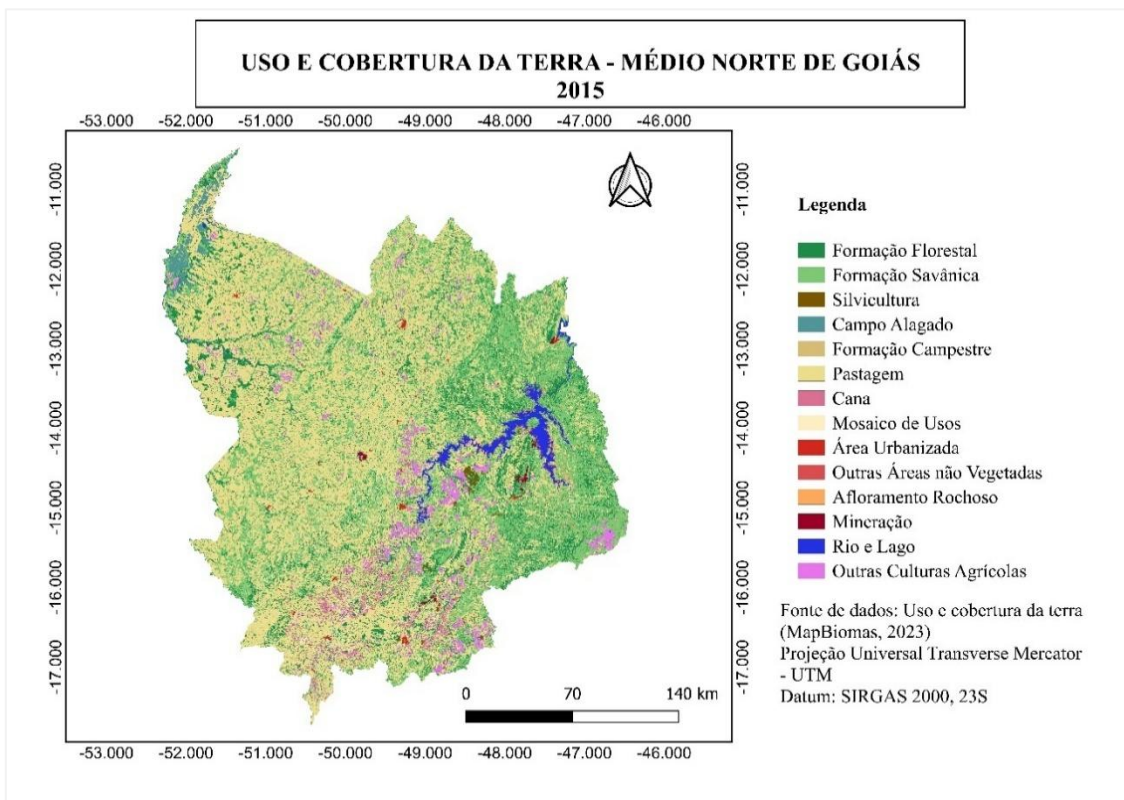


Figura 6. Mapa de uso e cobertura da terra do Médio Norte Goiano no ano de 2015

Fonte: (MapBiomias, 2023).

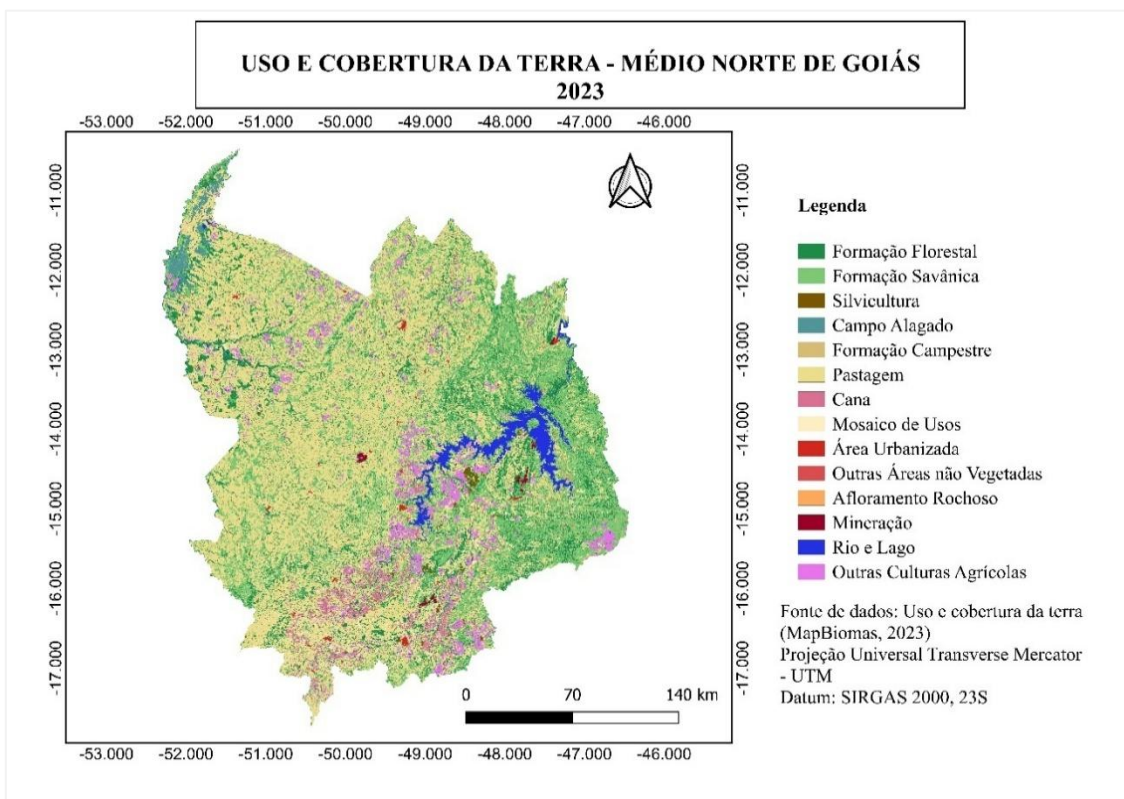


Figura 7. Mapa de uso e cobertura da terra do Médio Norte Goiano no ano de 2023

Fonte: (MapBiomias, 2023).

A classe de pastagem registrou crescimento significativo entre 1985 e 2005, passando de 14.590,37 km² (22,06%) para 29.909,99 km² (45,22%). Esse aumento expressivo reflete a substituição de vegetação nativa por áreas destinadas à pecuária extensiva. No entanto, a partir de 2015, observa-se uma leve redução, com a área de pastagem diminuindo para 29.519,23 km² (44,63%) em 2023. Essa redução pode estar relacionada à intensificação do uso da terra, com a conversão de pastagens em áreas agrícolas e outras atividades econômicas.

A formação savânica, que representava a maior cobertura em 1985 (28.940,38 km² ou 43,75%), apresentou redução contínua ao longo das décadas, atingindo 17.199,60 km² (26,00%) em 2023. Essa diminuição significativa denota a substituição do Cerrado nativo por pastagens e atividades agrícolas, impactando a biodiversidade e os recursos naturais da região (Figuras 3 a 7).

A formação florestal, composta por áreas de mata ciliar e outras vegetações densas, manteve-se relativamente estável ao longo dos anos, variando de 9.803,57 km² (14,82%) em 1985 para 9.008,14 km² (13,62%) em 2023. Embora a redução não tenha sido tão acentuada quanto a da formação savânica, a tendência de diminuição contínua indica a pressão antrópica sobre essas áreas naturais.

A classe mosaico de usos (áreas agrícolas e pastagens em transição) diminuiu consideravelmente, passando de 9.850,82 km² (14,89%) em 1985 para 3.213,29 km² (4,86%) em 2023. Essa redução sugere que parte dessas áreas foi definitivamente convertida para usos específicos, como pastagem e cultivos agrícolas (Figuras 3 a 7).

A cultura da cana-de-açúcar, praticamente inexistente em 1985 (1,17 km²), cresceu significativamente ao longo dos anos, atingindo 1.017,29 km² (1,54%) em 2023. Esse crescimento está diretamente ligado à expansão do setor sucroenergético na região, que impulsionou a conversão de pastagens e vegetação nativa em canaviais.

A silvicultura (plantações comerciais de eucalipto e pinus) surgiu na década de 1990 e apresentou crescimento moderado, passando de 67,46 km² (0,10%) em 1995 para 187,97 km² (0,28%) em 2023. Embora ainda ocupe pequena fração da área total, sua expansão indica diversificação no uso da terra (Figuras 3 a 7).

A área urbanizada apresentou crescimento contínuo ao longo dos anos, passando de 81,41 km² (0,12%) em 1985 para 189,81 km² (0,29%) em 2023, em consonância com a urbanização progressiva e o crescimento populacional da região, acompanhando o desenvolvimento econômico.

A classe de mineração apresentou crescimento considerável, passando de 10,17 km² (0,02%) em 1985 para 108,64 km² (0,16%) em 2023. Esse aumento indica o avanço das atividades extrativas, possivelmente relacionadas com a exploração de minerais estratégicos para a economia regional (Figuras 3 a 7).

As outras áreas não vegetadas, que incluem superfícies impermeáveis e solo exposto, mantiveram percentual relativamente baixo, passando de 959,27 km² (1,45%) em 1985 para 323,86 km² (0,49%) em 2023. Essa redução pode estar associada à revegetação de áreas degradadas ou à conversão dessas áreas para outros usos.

Os corpos d'água (rios e lagos) oscilaram levemente ao longo dos anos, aumentando de 359,68 km² (0,54%) em 1985 para 1.604,81 km² (2,43%) em 2023. Esse crescimento pode estar relacionado com a criação de reservatórios e barragens para abastecimento e irrigação, e com alterações naturais e antrópicas nos corpos d'água da região (Figuras 3 a 7).

O Quadro 2 apresenta a evolução das classes de uso e cobertura da terra nos anos de 1985, 1995, 2005 e 2023, no Médio Norte Goiano. A análise do uso e cobertura da terra no Médio Norte Goiano entre 1985 e 2023 revela um padrão claro de intensificação agropecuária, redução das formações naturais e diversificação das atividades econômicas (Figuras 3 a 7, Quadro 2). Essas mudanças refletem processos estruturais mais amplos, como o avanço da fronteira agrícola, a crescente demanda por alimentos e biocombustíveis, e os impactos da modernização do setor agropecuário na região (Lima, 2021).

A transformação no uso e cobertura da terra na região do Médio Norte Goiano entre os anos de 1985 e 2023 reflete de forma direta o impacto de políticas públicas planejadas para a integração regional e a interiorização da fronteira produtiva. Historicamente marcada pela conversão da vegetação nativa do Cerrado para a consolidação da agropecuária, a dinâmica espacial dessa região passou por uma forte reorganização impulsionada por incentivos governamentais como fundo constitucional de financiamento do Centro-Oeste (FCO), regularização fundiária (programa regulariza campo) e por investimentos em infraestrutura de transporte.

A concessão de incentivos econômicos, fiscais e normativos atuou de maneira decisiva no financiamento da expansão da fronteira agrícola e na introdução de novas tecnologias, viabilizando a conversão de pastagens degradadas em áreas de cultivo mecanizado de grãos e cana-de-açúcar (MapBiomass, 2023; Sano *et al.*, 2019).

Quadro 2. Evolução das classes de uso e cobertura da terra nos anos de 1985, 1995, 2005, 2015 e 2023, no Médio Norte Goiano

Classes	1985	%	1995	%	2005	%	2015	%	2023	%
	km ²									
Pastagem	14.590,37	22,06	25.608,69	38,72	29.909,99	45,22	30.798,89	46,56	29.519,23	44,63
Formação savânica	28.940,38	43,75	24.341,93	36,80	20.563,38	31,09	18.396,78	27,81	17.199,60	26,00
Formação florestal	9.803,57	14,82	9.294,74	14,05	8.819,40	13,33	9.043,06	13,67	9.008,14	13,62
Mosaico de usos	9.850,82	14,89	4.428,37	6,69	2.934,18	4,44	2.290,31	3,46	3.213,29	4,86
Outras culturas agrícolas	40,58	0,06	476,23	0,72	901,98	1,36	1.928,44	2,92	2.772,31	4,19
Rio e lago	359,68	0,54	347,46	0,53	1.329,76	2,01	1.182,17	1,79	1.604,81	2,43
Cana	1,17	0,00	7,54	0,01	148,86	0,23	767,29	1,16	1.017,29	1,54
Campo alagado	1.030,86	1,56	933,19	1,41	717,55	1,08	665,92	1,01	678,44	1,03
Outras áreas não vegetadas	959,27	1,45	162,27	0,25	182,02	0,28	285,13	0,43	323,86	0,49
Formação campestre	436,27	0,66	289,07	0,44	289,75	0,44	303,78	0,46	281,19	0,43
Área urbanizada	81,41	0,12	127,54	0,19	146,66	0,22	172,31	0,26	189,81	0,29
Silvicultura	0,00	0,00	67,46	0,10	122,54	0,19	178,92	0,27	187,97	0,28
Mineração	10,17	0,02	20,12	0,03	38,51	0,06	91,64	0,14	108,64	0,16
Afloramento rochoso	41,00	0,06	40,95	0,06	40,97	0,06	40,91	0,06	40,96	0,06
Total	66.145,55	100,00	66.145,55	100,00	66.145,55	100,00	66.145,55	100,00	66.145,55	100,00

A Figura 8 ilustra a evolução da área cultivada com cana-de-açúcar no Médio Norte Goiano entre os anos de 1985 e 2023, revelando o crescimento expressivo dessa cultura ao longo das décadas. Verifica-se um grande aumento da área ocupada por essa monocultura, refletindo a expansão do setor sucroenergético na região.

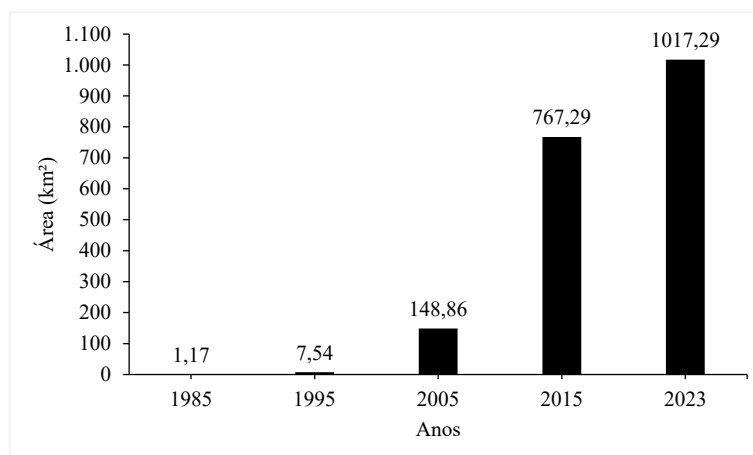


Figura 8. Evolução do cultivo da cana-de-açúcar nos anos de 1985, 1995, 2005 e 2023, no Médio Norte Goiano

Em 1985, a cana-de-açúcar ocupava apenas 1,17 km², um valor praticamente irrelevante no contexto da paisagem agrícola regional. Em 1995, houve um pequeno aumento para 7,54 km², ainda sem representar impacto expressivo. No entanto, a partir de 2005, a área cultivada passou para 148,86 km², indicando intensificação do plantio. Esse crescimento pode estar relacionado com incentivos econômicos e políticas voltadas para a ampliação da produção de etanol como alternativa energética (Figura 8).

Entre 2005 e 2015, observa-se a maior expansão da cultura, com a área aumentando para 767,29 km², representando crescimento superior a 400% em apenas uma década. Esse período coincide com a forte demanda global por biocombustíveis, políticas governamentais de incentivo ao etanol e modernização da produção sucroalcooleira. Em 2023, a área plantada atinge 1.017,29 km², consolidando a cana-de-açúcar como uma das principais atividades agrícolas da região (Figura 8).

Esse crescimento pode ser explicado pelo avanço da mecanização, pelos investimentos na produção de biocombustíveis e pela conversão de áreas anteriormente destinadas a pastagem ou outras culturas. Entretanto, a expansão também levanta preocupações ambientais, dado que o cultivo da cana-de-açúcar exige grande quantidade de água e insumos químicos, podendo contribuir para degradação do solo e redução da biodiversidade (MapBiomass, 2023).

O crescimento expressivo das pastagens entre 1985 e 2005, atingindo pico em 2015, está diretamente ligado à expansão da pecuária, fenômeno comum em grande parte do Cerrado brasileiro (Figuras 3 a 7, Quadro 2). A substituição da vegetação nativa por pastagens, embora tenha impulsionado a economia local, pode gerar impactos ambientais significativos, como degradação do solo, compactação pelo pisoteio do gado e redução da biodiversidade. A leve retração da área de pastagem em 2023 pode indicar processos de intensificação da pecuária, com maior adoção de práticas sustentáveis, como manejo rotacionado e integração lavoura-pecuária (Centeri, 2022).

A diminuição contínua das áreas de formação savânica e florestal ao longo das últimas décadas evidencia a conversão de ecossistemas nativos para uso agropecuário (Figuras 3 a 7, Quadro 2). A perda de 11.740,78 km² de vegetação savânica desde 1985 é preocupante do ponto de vista ambiental, pois essa formação abriga biodiversidade única e contribui para a regulação climática e a manutenção dos ciclos hidrológicos (Rodrigues *et al.*, 2022).

Apesar de menos acentuada, a redução da formação florestal também é perceptível ao longo do período analisado (Figuras 3 a 7, Quadro 2). A relativa estabilidade dessa classe, em relação à formação savânica, pode ser explicada por restrições legais, como proteção de Áreas de Preservação Permanente (APPs) e Reservas Legais, que ajudam a conter o desmatamento (Brasil, 2012). A implantação do reservatório da Usina Hidrelétrica Serra da Mesa, na bacia do alto Tocantins (Figuras 5 a 7), representou um marco de profunda transformação espacial, ecológica e econômica para o Médio Norte Goiano, reconfigurando a organização territorial de municípios como Uruaçu-GO. Esse reservatório, além de alterar o uso da terra, impôs uma nova dinâmica socioeconômica, que gera novos desafios de planejamento, zoneamento e ordenamento ambiental para regular as atividades agrícolas em seu entorno (Andrade, 2003; MapBiomias, 2023).

O aumento expressivo da área destinada à cana-de-açúcar, que passou de praticamente inexistente em 1985 para 1.017,29 km² em 2023, demonstra o avanço do setor sucroenergético no Médio Norte Goiano (Figuras 3 a 7, Quadro 2). Esse crescimento está relacionado com incentivos econômicos e a crescente demanda por etanol como biocombustível renovável. Embora a expansão da cana-de-açúcar possa contribuir para a diversificação econômica, sua monocultura intensiva requer elevado consumo de água e insumos químicos, podendo gerar impactos sobre a qualidade do solo e a disponibilidade hídrica (Singh *et al.*, 2021; Tayyab *et al.*, 2021).

De forma similar, o aumento da área destinada a outras culturas agrícolas, que

passou de 40,58 km² (0,06%) em 1985 para 2.772,31 km² (4,19%) em 2023, indica ampliação da produção de grãos e cultivos diversificados, acompanhando a modernização do setor agrícola regional (Figuras 3 a 7, Quadro 2). A adoção de tecnologias como irrigação, mecanização e fertilização provavelmente contribuiu para esse crescimento, elevando a produtividade agrícola (Liu; Li, 2023).

A área urbanizada apresentou crescimento contínuo ao longo do período analisado, evidenciando o desenvolvimento das cidades e o aumento populacional (Figuras 3 a 7, Quadro 2). Esse fenômeno acompanha a expansão da agropecuária e da agroindústria, que impulsionam a urbanização e a melhoria da infraestrutura local. Todavia, o crescimento urbano também pode gerar desafios, como pressão sobre serviços públicos, ocupação desordenada e maior demanda por recursos naturais (Paes *et al.*, 2023).

A expansão das áreas de mineração consiste em outro indicativo das mudanças econômicas na região (Figuras 3 a 7, Quadro 2). Esse crescimento pode estar associado à extração de minérios utilizados na agricultura e na construção civil, setores estratégicos para o desenvolvimento regional. No entanto, a exploração mineral deve ser monitorada para prevenir impactos ambientais, como contaminação de corpos d'água e degradação do solo (Nortjé; Laker, 2021).

A classe de rios e lagos apresentou crescimento ao longo dos anos, possivelmente indicando a construção de usinas hidrelétricas, reservatórios e barragens para fins de irrigação e abastecimento (Figuras 3 a 7, Quadro 2). No entanto, a intensificação da agricultura e da pecuária pode comprometer a qualidade dos recursos hídricos devido ao escoamento de fertilizantes e pesticidas. Nesse contexto, a gestão sustentável da água torna-se um fator crítico para garantir a continuidade da produção agrícola sem comprometer a disponibilidade desse recurso essencial.

A cana-de-açúcar demanda água para crescimento e processos industriais. Em regiões com precipitação insuficiente, a irrigação consome volumes elevados, o que pode reduzir a disponibilidade hídrica para outros usos e afetar aquíferos (Mishra, 2023).

A intensificação da produção canavieira tem sido associada ao aumento do consumo de recursos hídricos em diversas regiões produtoras, gerando preocupações quanto à sustentabilidade desse modelo agrícola. A irrigação excessiva pode provocar conflitos pelo uso da água e impactos negativos na qualidade dos corpos hídricos, devido ao escoamento de agroquímicos e sedimentos (Akhtar *et al.*, 2021).

A expansão da indústria sucroenergética envolve frequentemente a conversão de

áreas naturais em terras agrícolas, resultando em desmatamento e perda de habitats. Esse processo é particularmente preocupante em biomas como a Mata Atlântica e o Cerrado, que apresentam alta biodiversidade e ecossistemas já ameaçados. A substituição de florestas e vegetações nativas por plantações de cana-de-açúcar pode ocasionar perda de espécies, degradação do solo e alterações nos ciclos hidrológicos (Picoli; Machado, 2021).

A expansão da cana-de-açúcar tem sido uma das principais causas de desmatamento nos últimos anos. A análise combinada de imagens de satélite e dados de campo demonstra que grandes áreas de vegetação nativa foram convertidas em monoculturas de cana, ocasionando impactos significativos na estrutura e funcionamento dos ecossistemas locais (Capoane; Fushimi, 2024).

O cultivo intensivo de cana-de-açúcar requer o uso de diversos agroquímicos, incluindo fertilizantes, herbicidas e pesticidas, com o objetivo de maximizar a produtividade e controlar pragas e doenças. No entanto, o uso indiscriminado desses produtos pode acarretar sérias consequências ambientais, como a contaminação do solo, dos corpos d'água superficiais e subterrâneos, além da degradação da qualidade do ar (Devi; Manjula; Bhavani, 2022).

Os agroquímicos utilizados na produção canavieira podem persistir no ambiente, acumulando-se em níveis tóxicos e afetando a saúde de organismos aquáticos e terrestres, incluindo seres humanos. Por exemplo, a aplicação de herbicidas pode contaminar águas subterrâneas, enquanto pesticidas podem causar a morte de polinizadores e outros insetos benéficos, comprometendo a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos (Ara; Haque, 2021).

A aplicação frequente de produtos químicos altera a composição e a estrutura do solo, diminuindo sua fertilidade e capacidade de retenção de água. Além disso, o manejo inadequado dos resíduos agrícolas, como vinhaça e bagaço, pode resultar na poluição do solo e contaminação de recursos hídricos (Cherubin *et al.*, 2021; Tayyab *et al.*, 2021).

Ressalta-se que a vinhaça, subproduto da produção de etanol, contém altas concentrações de matéria orgânica e nutrientes, podendo causar eutrofização de corpos d'água quando não gerida adequadamente. A aplicação excessiva da vinhaça no solo também pode levar à salinização e contaminação por metais pesados, comprometendo a saúde do solo e a produtividade agrícola em longo prazo (Stephen *et al.*, 2024).

A indústria canavieira é uma importante fonte de empregos no Brasil, especialmente em áreas rurais. A expansão dos canaviais e a construção de usinas de

açúcar e etanol têm gerado um número significativo de empregos diretos e indiretos, contribuindo para a redução do desemprego e a melhoria das condições de vida em várias regiões. Estudos indicam que, para cada emprego direto na indústria canavieira, são criados múltiplos empregos indiretos em setores como transporte, comércio e serviços (Ruths; Shikida; Fracarolli, 2023).

A mecanização da colheita, embora tenha reduzido o número de empregos diretos na lavoura, gerou oportunidades de trabalho em setores como manutenção de máquinas, tecnologia e gestão agrícola. Programas de capacitação e qualificação profissional têm sido implementados para auxiliar os trabalhadores rurais na adaptação às novas demandas do mercado de trabalho. Contudo, a transição para a mecanização também trouxe desafios, como a necessidade de requalificação dos trabalhadores e a gestão dos impactos sociais decorrentes da redução de postos de trabalho tradicionais (Chico *et al.*, 2022).

A expansão da indústria canavieira também influencia os padrões migratórios no Brasil. Em busca de melhores oportunidades de emprego, muitos trabalhadores migram de regiões menos desenvolvidas para áreas com maior concentração de usinas de cana-de-açúcar. Essa migração pode ser sazonal, com deslocamento durante os períodos de colheita, ou permanente, provocando mudanças significativas na demografia local (Lugo-Espinosa *et al.*, 2024).

A migração associada à indústria canavieira apresenta efeitos tanto positivos quanto negativos. Por um lado, proporciona oportunidades de emprego e aumento da renda das famílias migrantes. Por outro, a chegada de grande número de trabalhadores pode pressionar a infraestrutura local, incluindo habitação, saúde e educação, além de gerar potenciais conflitos sociais. Ademais, a migração pode resultar na fragmentação de comunidades tradicionais e na perda de vínculos culturais (Nienkerke; Thorat; Patt, 2023).

A introdução da cana-de-açúcar em áreas rurais transforma a dinâmica socioeconômica dessas regiões. A monocultura dessa cultura pode levar à concentração de terras nas mãos de grandes produtores e empresas, reduzindo a diversidade agrícola e afetando pequenos agricultores. Essa concentração fundiária tende a marginalizar os pequenos produtores e a diminuir a produção de alimentos básicos, comprometendo a segurança alimentar local (Cherubin *et al.*, 2021).

Além dos impactos econômicos, a transformação das paisagens rurais pode afetar a cultura e o modo de vida das comunidades locais. A substituição de culturas diversificadas por monoculturas de cana-de-açúcar diminui a resiliência das comunidades

agrícolas, aumentando sua vulnerabilidade econômica e social. Por outro lado, a presença de grandes usinas pode gerar investimentos em infraestrutura, como estradas, energia elétrica e serviços públicos, beneficiando a população local (Altieri *et al.*, 2025).

A indústria canavieira funciona como um motor de desenvolvimento econômico local, especialmente em regiões com opções econômicas limitadas. A instalação de usinas de açúcar e etanol pode estimular a construção de infraestrutura, aumentar a arrecadação de impostos e promover o crescimento de pequenas e médias empresas na região (Gallego-Bono; Tapia-Baranda, 2022).

Em várias regiões produtoras, a expansão da indústria pode impulsionar significativamente o Produto Interno Bruto (PIB) municipal e estadual. Além disso, a geração de empregos e a circulação de renda podem produzir efeitos multiplicadores na economia local, estimulando o comércio e os serviços (Nawapanan; Kongboon; Sampattagl, 2022).

O desenvolvimento econômico impulsionado pela cana-de-açúcar precisa ser equilibrado com a sustentabilidade ambiental e social. A dependência excessiva de uma única cultura agrícola torna as economias locais vulneráveis a flutuações nos preços internacionais do açúcar e do etanol, bem como a alterações nas políticas governamentais e nos padrões de consumo. A diversificação econômica e a adoção de práticas agrícolas sustentáveis são imprescindíveis para assegurar um desenvolvimento equilibrado e de longo prazo (Jiang *et al.*, 2022).

2.4 CONCLUSÕES

O estudo revela um processo acelerado no Médio Norte Goiano entre 1985 e 2023: expansão da cana-de-açúcar, redução da vegetação nativa e crescimento da urbanização e da infraestrutura regional. A substituição da formação savânica por pastagens e culturas agrícolas, especialmente a cana-de-açúcar, reflete um modelo de desenvolvimento fortemente baseado na conversão de áreas naturais para usos produtivos.

A expansão da monocultura da cana-de-açúcar, consolidada nas últimas décadas, foi impulsionada pela demanda por biocombustíveis e incentivos econômicos. No entanto, essa intensificação impõe desafios ambientais significativos, incluindo degradação do solo, sobrecarga dos recursos hídricos e perda de biodiversidade, evidenciando a necessidade de estratégias de manejo sustentável que mitiguem seus impactos negativos.

O consumo intensivo de água para irrigação e processamento da cana-de-açúcar, a contaminação por agroquímicos e o desmatamento são fatores críticos que demandam políticas de gestão ambiental mais eficazes. No plano social, a indústria canavieira atua como vetor de desenvolvimento regional, gerando empregos diretos e indiretos, mas também provocando mudanças na dinâmica rural, concentração fundiária e migração de trabalhadores, aspectos que exigem atenção às questões de inclusão social e equidade.

Este estudo reforça a necessidade de equilibrar crescimento econômico e sustentabilidade, fomentando a produtividade agrícola em paralelo à recuperação ambiental e à adoção de práticas agrícolas mais eficientes. Estratégias integradas de planejamento territorial, conservação dos recursos naturais e valorização da mão de obra local são essenciais para assegurar um desenvolvimento regional sustentável e resiliente no Médio Norte Goiano.

2.5 REFERÊNCIAS

AKHTAR, N.; SYAKIR ISHAK, M. I.; BHAWANI, S. A.; UMAR, K. Various Natural and Anthropogenic Factors Responsible for Water Quality Degradation: A Review. **Water**, v. 13, n. 19, p. 2660, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/w13192660>

ALTIERI, M. A.; NICHOLLS, C. I.; MONTALBA, R.; VIELI, L.; VAZQUEZ, L. L. Agroecology and the limits to resilience: extending the adaptation capacity of agroecosystems to drought. **Frontiers in Agronomy**, v. 7, n. 1, p. 1534370, 2025. DOI: [10.3389/fagro.2025.1534370](https://doi.org/10.3389/fagro.2025.1534370)

ANDRADE, S. M. **O patrimônio histórico arqueológico de Serra da Mesa: a construção de uma nova paisagem**. 2003. 266 f. Tese (Doutorado em Geografia Humana) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

ARA, Z. G.; HAQUE, A. R. A Comprehensive Review on Synthetic Insecticides: Toxicity to Pollinators, Associated Risk to Food Security, and Management Approaches. **Journal of Biosystems Engineering**, v. 46, n. 1, p. 254-272, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42853-021-00104-y>

BAHAMÓN-PINZÓN, D.; VÉLEZ-TORRES, I.; ESTES, S. L.; LEE, C.; MOORE, A.; BRIDGES, W.; CARRAWAY, E.; BLAZER, H.; ZAPATA, H. M. G.; VANEGAS, D. Confined within a sugarcane monoculture: A participatory assessment of water pollution and potential health risks in the community of El Tiple, Colombia. **Science of The Total Environment**, v. 946, p. 174072, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.174072>

BRASIL. Lei n.º 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis n.ºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de

1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 28 maio 2012. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm. Acesso em: 12 jan. 2025.

CAPOANE, V.; FUSHIMI, M. Devastation of the cerrado of mato grosso do sul and the advance of arenization in the pardo river watershed. **Discover Environment**, v. 2, n. 1, p. 111, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s44274-024-00150-1>

CENTERI, C. Effects of Grazing on Water Erosion, Compaction and Infiltration on Grasslands. **Hydrology**, v. 9, n. 1, p. 34, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/hydrology9020034>

CHERUBIN, M. R.; CARVALHO, J. L. N.; CERRI, C. E. P.; NOGUEIRA, L. A. H.; SOUZA, G. M.; CANTARELLA, H. Land Use and Management Effects on Sustainable Sugarcane-Derived Bioenergy. **Land**, v. 10, n. 1, p. 72, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/land10010072>

CHICO, D.; PAHLOW, M.; WILLAARTS, B. A.; SINISGALLI, P.; GARRIDO, A. An Integrated Approach to Assess the Water Efficiency of Introducing Best Management Practices: An Application to Sugarcane Mechanisation in Brazil. **Water**, v. 14, n. 1, p. 1072, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/w14071072>

CRUZ, T. V.; MACHADO, R. L. Measuring climate change's impact on different sugarcane varieties production in the South of Goiás. **Scientific Reports**, v. 13, n. 1, p. 11637, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-36582-7>

DEVI, P. I.; MANJULA, M.; BHAVANI, R. V. Agrochemicals, Environment, and Human Health. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 47, n. 1, p. 399-421, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-120920-111015>

DOMPIERI, M. H. G.; SILVA, M. A. S. da. **Análise do cenário sucroenergético no Brasil**. Campinas, SP: Embrapa, 2023.

GALLEGO-BONO, J. R.; TAPIA-BARANDA, M. Industrial ecology and sustainable change: inertia and transformation in Mexican agro-industrial sugarcane clusters. **European Planning Studies**, v. 30, n. 7, p. 1271-1291, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1080/09654313.2020.1869186>

JIANG, G.; ALVARADO, R.; MURSHED, M.; TILLAGUANGO, B.; TOLEDO, E.; MÉNDEZ, P.; ISIK, C. Effect of Agricultural Employment and Export Diversification Index on Environmental Pollution: Building the Agenda towards Sustainability. **Sustainability**, v. 14, n. 1, p. 677, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14020677>

LIMA, M. G. B. Corporate Power in the Bioeconomy Transition: The Policies and Politics of Conservative Ecological Modernization in Brazil. **Sustainability**, v. 13, n. 1, p. 6952, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13126952>

LIU, X.; LI, X. The Influence of Agricultural Production Mechanization on Grain Production Capacity and Efficiency. **Processes**, v. 11, n. 1, p. 487, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr11020487>

LUGO-ESPINOSA, G.; ACEVEDO-ORTIZ, M. A.; AQUINO-BOLAÑOS, T.; ORTIZ-HERNÁNDEZ, Y. D.; ORTIZ-HERNÁNDEZ, F. E.; PÉREZ-PACHECO, R.; LÓPEZ-CRUZ, J. Y. Cultural Heritage, Migration, and Land Use Transformation in San José Chiltepec, Oaxaca. **Land**, v. 13, n. 1, p. 1658, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/land13101658>

MACHADO, R. L.; CRUZ, T. V. An Empirical Approach Analyzing the Socioeconomic Sustainability of the International Sugarcane Trade. **Sustainability**, v. 14, n. 4, p. 2198, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14042198>

MACHADO, V. L. **Modernização agrícola no médio norte goiano: a feira como estratégias de sobrevivência do pequeno produtor rural**. 2014. 206 f. Tese (Doutorado em Educação) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.

MAPBIOMAS. **Uso e cobertura da terra**. 2024. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/#>. Acesso em: 12 jan. 2025.

MISHRA, R. K. Fresh Water availability and Its Global challenge. **British Journal of Multidisciplinary and Advanced Studies**, v. 4, n. 3, p. 1-78, 2023. DOI: <https://doi.org/10.37745/bjmas.2022.0208>

NAWAPANAN, E.; KONGBOON, R.; SAMPATTAGUL, S. Green GDP Indicator with Application to Life Cycle of Sugar Industry in Thailand. **Sustainability**, v. 14, n. 1, p. 918, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14020918>

NIENKERKE, I. M.; THORAT, A.; PATT, A. From distress migration to selective migration: Transformative effects of agricultural development on seasonal migration. **World Development Perspectives**, v. 29, n. 1, p. 100483, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wdp.2022.100483>

NORTJÉ, G. P.; LAKER, M. C. Factors That Determine the Sorption of Mineral Elements in Soils and Their Impact on Soil and Water Pollution. **Minerals**, v. 11, n. 1, p. 821, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/min11080821>

PAES, V. D. C.; PESSOA, C. H. M.; PAGLIUSI, R. P.; BARBOSA, C. E.; ARGÔLO, M.; LIMA, Y. O.; SALAZAR, H.; LYRA, A.; SOUZA, J. M. Analyzing the Challenges for Future Smart and Sustainable Cities. **Sustainability**, v. 15, n. 1, p. 7996, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/su15107996>

PICOLI, M. C. A.; MACHADO, P. G. Land use change: the barrier for sugarcane Sustainability. **Biofuels, Bioproducts & Biorefining**, v. 15, n. 1, p. 1591-1603, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1002/bbb.2270>

QGIS. **Qgis 3.34.8**. 2024. Disponível em: <https://qgis.org/project/overview/>. Acesso em: 09 jan. 2025.

RODRIGUES, A. A.; MACEDO, M. N.; SILVÉRIO, D. V.; MARACAHIPES, L.; COE, M. T.; BRANDO, P. M.; SHIMBO, J. Z.; RAJÃO, R.; SOARES-FILHO, B.; BUSTAMANT, M. M. C. Cerrado deforestation threatens regional climate and water availability for agriculture and ecosystems. **Global Change Biology**, v. 28, n. 1, p. 6807-6822, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.16386>

RUTHS, J. C.; SHIKIDA, P. F. A.; FRACAROLLI, I. F. L. Rural work in the sugarcane sector and its influences on health: scoping review. **Revista Brasileira de Medicina do Trabalho**, v. 21, n. 1, p. e2023779, 2023. DOI: <https://doi.org/10.47626/1679-4435-2023-779>

SANO, E. E.; RODRIGUES, A. A.; MARTINS, E. S.; BETTIOL, G. M.; BUSTAMANTE, M. M. C.; BEZERRA, A. S.; COUTO JÚNIOR, A. F.; VASCONCELOS, V.; SCHÜLER, J.; BOLFE, E. L. Cerrado ecoregions: A spatial framework to assess and prioritize Brazilian savana environmental diversity for conservation. **Journal of Environmental Management**, v. 32, p. 818-828, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.11.108>

SINGH, S. R.; YADAV, P.; SINGH, D.; SHUKLA, S. K.; TRIPATHI, M. K.; BAHADUR, L.; MISHRA, A.; KUMAR, S. Intercropping in Sugarcane Improves Functional Diversity, Soil Quality and Crop Productivity. **Sugar Tech**, v. 23, n. 1, p. 794-810, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12355-021-00955-x>

STEPHEN, G. S.; SHITINDI, M. J.; BURA, M. D.; KAHANGWA, C. A.; NASSARY, E. K. Harnessing the potential of sugarcane-based liquid byproducts - molasses and spentwash (vinasse) for enhanced soil health and environmental quality. A systematic review. **Frontiers in Agronomy**, v. 6, n. 1, p. 1358076, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3389/fagro.2024.1358076>

TAYYAB, M.; YANG, Z.; ZHANG, C.; ISLAM, W.; LIN, W.; ZHANG, H. Sugarcane monoculture drives microbial community composition, activity and abundance of agricultural-related microorganisms. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, n. 1, p. 48080-48096, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14033-y>

WADE, C. M.; BAKER, J. S.; VAN HOUTVEN, G.; CAI, Y.; LORD, B.; CASTELLANOS, E.; LEIVA, B.; FUENTES, G.; ALFARO, G.; KONDASH, A.; HENRY, C. L.; SHAW, B.; REDMON, J. H. Opportunities and spatial hotspots for irrigation expansion in Guatemala to support development goals in the food-energy-water nexus. **Agricultural Water Management**, v. 267, p. 107608, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107608>.

3 ARTIGO II

Viabilidade econômica da irrigação de cana-de-açúcar no Norte de Goiás

RESUMO:

A análise da viabilidade econômica da irrigação de cana-de-açúcar no Norte Goiano, diante da atual conjuntura agrícola e econômica brasileira, é cada vez mais relevante para viabilizar e difundir a exploração da cultura irrigada na região. Este estudo teve como objetivo avaliar a viabilidade econômica da cana-de-açúcar irrigada no primeiro e segundo ano de cultivo (cana-planta e cana-soca) no Norte de Goiás. A análise foi realizada junto à usina de Uruaçu, no município de Uruaçu – GO. Os dados necessários foram obtidos diretamente da usina. A área utilizada para o plantio da cana-de-açúcar irrigada, totalizando 100 ha, pertence à usina de Uruaçu. A irrigação foi realizada por meio de um pivô central, abrangendo a totalidade da área. A organização dos custos seguiu a metodologia de custo operacional ajustada, considerando o Custo Operacional Efetivo (COE). Os indicadores econômicos avaliados incluíram Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), *Payback* e relação Benefício/Custo (B/C). Para a análise de viabilidade econômica, foram considerados dois cortes da cultivar de cana-de-açúcar CTC4 (cana-planta e cana-soca), possibilitando a obtenção das produtividades de colmo e dos açúcares totais recuperáveis (ATR). Os resultados indicam que a irrigação da cana-de-açúcar, tanto no primeiro quanto no segundo ano de cultivo, apresenta viabilidade econômica, uma vez que todos os indicadores econômicos avaliados foram positivos.

Palavras-chave: *Saccharum officinarum*; Lucratividade; Custo operacional; Rendimento.

ABSTRACT:

The analysis of the economic feasibility of irrigated sugarcane cultivation in Northern Goiás has become increasingly relevant within the current Brazilian agricultural and economic context, particularly as a means of enabling and expanding irrigated crop production in the region. This study aimed to evaluate the economic feasibility of irrigated sugarcane during the first and second years of cultivation (plant cane and ratoon cane) in the northern region of Goiás. The analysis was conducted at the Uruaçu mill, located in the municipality of Uruaçu, Goiás State. The necessary data were obtained directly from the mill. The area used for irrigated sugarcane cultivation comprised 100 hectares owned by the Uruaçu mill. Irrigation was carried out using a central pivot system, covering the entire area. The cost structure followed the adjusted operational cost methodology, considering the Effective Operational Cost (COE). The economic indicators evaluated included Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), Payback Period, and Benefit-Cost Ratio (B/C). For the economic feasibility analysis, two harvest cycles of the CTC4 sugarcane variety (plant cane and ratoon cane) were considered, allowing the determination of stalk productivity and total recoverable sugars (TRS). The results indicate that sugarcane irrigation, both in the first and second years of cultivation, is economically viable, as all evaluated economic indicators presented positive outcomes.

Keywords: *Saccharum officinarum*; Profitability; Operational cost; Yield.

3.1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar ocupa posição de destaque entre as culturas cultivadas no mundo, com importância social, econômica e ambiental, fornecendo matéria-prima à indústria canavieira para a produção de álcool, açúcar, cachaça e biodiesel, além de ser utilizada na alimentação animal. Atua também como fonte de energia por meio do bagaço e da palha para a geração de eletricidade (Nogueira, 2016; Souza; Bernardo; Carvalho, 1999). Um dos fatores que mais afeta a produtividade e o rendimento agroindustrial da cana-de-açúcar é o déficit hídrico, causado pela irregularidade das chuvas, comum em certas regiões de Goiás, destacando-se a região Norte (Lopes Sobrinho *et al.*, 2019).

A irrigação é um dos fatores mais influentes na qualidade industrial, na produtividade e no custo de produção da cana-de-açúcar. O uso dessa técnica agrícola nos canaviais requer investimentos significativos e atenção criteriosa, uma vez que o agricultor deve aplicá-la de forma a evitar desperdícios de água, permitindo associar ganhos de produtividade a uma maior economia de água e energia elétrica. Por esse motivo, a irrigação tem se tornado uma técnica cada vez mais utilizada no Brasil e no mundo (Fernandes, 2003; Teodoro *et al.*, 2013).

Apesar de a irrigação ser considerada uma ferramenta importante para que os agricultores enfrentem variações climáticas, como El Niño, La Niña e aquecimento global, trata-se de uma técnica de custo elevado que, se mal gerida, pode reduzir significativamente a rentabilidade do produtor, podendo inviabilizar seu uso. Isso revela a importância da otimização dos recursos investidos (Alves Júnior *et al.*, 2018; Pereira *et al.*, 2015).

A eficiência econômica, voltada à otimização dos recursos aplicados, não costuma ser considerada no manejo tradicional de irrigação em sistemas já implantados, que visa apenas maximizar a produtividade. A irrigação com o objetivo de maximizar o lucro constitui um problema mais complexo e desafiador; ainda assim, a viabilidade econômica deve ser analisada em função da produtividade física e econômica do recurso hídrico, principalmente em regiões com escassez de chuvas, como o Norte de Goiás (Figueiredo *et al.*, 2008; Martins *et al.*, 2016).

Torna-se cada vez mais relevante analisar a viabilidade econômica da irrigação da cana-de-açúcar no Norte Goiano, diante da atual conjuntura agrícola e econômica brasileira. Isso porque, compreender a eficiência econômica do incremento da

produtividade em relação à irrigação é fundamental para viabilizar e difundir a exploração da cultura irrigada na região (Frizzone, 1993). A necessidade de melhorias econômicas, relacionada à competição pelo uso da água e aos impactos socioambientais da irrigação, deve motivar a transformação do paradigma de manejo. Busca-se priorizar a eficiência econômica, não apenas suprir a demanda hídrica das plantas (Castro Júnior *et al.*, 2015; Frizzone, 2004).

A hipótese deste estudo é que a utilização da irrigação na cultura da cana-de-açúcar, tanto em cana-planta quanto em cana-soca, apresenta viabilidade econômica para ser introduzida nas lavouras canavieiras da região Norte de Goiás. O objetivo é avaliar a viabilidade econômica da cana-de-açúcar irrigada no primeiro e segundo ano de cultivo (cana-planta e cana-soca) nessa região.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

Realizou-se a análise de viabilidade econômica junto à usina de Uruaçu – GO. As coordenadas geográficas do local são 14°31'29"S e 49°08'27"W, com altitude média de 520 m. Segundo a classificação de Köppen e Geiger (1928), o clima do local é do tipo Aw – clima tropical, caracterizado por menor índice de chuvas no inverno em comparação ao verão, apresentando variação sazonal extrema na precipitação mensal, que varia de uma média de 265 mm no mês mais chuvoso (janeiro) a 2 mm no mês menos chuvoso (julho). A precipitação pluvial anual média chega a 1.638 mm, distribuída de forma irregular ao longo do ano. A temperatura máxima média diária é de 35 °C, enquanto a mínima média diária é de 17 °C.

A área utilizada para o plantio da cana-de-açúcar irrigada compreende 100 ha, pertencentes à usina de Uruaçu. O preparo do solo foi feito pelo sistema convencional, por meio de aração e gradagem, seguido da abertura dos sulcos de plantio. O plantio foi mecanizado, conforme procedimentos comerciais, respeitando o número de gemas por metro recomendado para a cultivar de cana-de-açúcar CTC4. A irrigação foi realizada por pivô central, cobrindo a totalidade da área de 100 ha (Tabela 1).

Tabela 1. Condições em que foi realizada a avaliação de custos do cultivo de cana-de-açúcar

Regime hídrico	Ciclos	Plantio	Quantidade de água	Produtividade de colmo
Irrigado	Cana-Planta	Maio	500 mm	120 t ha ⁻¹
Irrigado	Cana-Soca	-	500 mm	100 t ha ⁻¹

Os dados necessários foram obtidos diretamente da usina de Uruaçu e da tabela de estimativa de custo de produção da cultura de cana-de-açúcar, divulgada periodicamente pela Federação da Agricultura e Pecuária de Goiás – FAEG (2024).

A organização dos custos seguiu a metodologia de custo operacional ajustada, em que o Custo Operacional Efetivo (COE) é formado pela soma de todas as despesas com operações mecanizadas, mão de obra e insumos utilizados durante a implantação e a etapa produtiva da cana-de-açúcar (Martin *et al.*, 1998; Matsunaga *et al.*, 1976; Rodrigues *et al.*, 2018). O Custo Operacional Total (COT) corresponde ao somatório do COE e dos demais custos operacionais (Rambo *et al.*, 2015).

Os parâmetros financeiros foram estimados para avaliar a viabilidade dos investimentos em irrigação. A Taxa Mínima de Atratividade (TMA) considerada foi de 4% para cultivos irrigados (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social [BNDES], 2014). A receita bruta (RB) foi estimada pela equação (1):

$$RB = P \times PPM \quad (1)$$

Em que:

RB – Receita bruta (R\$ ha⁻¹);

P – Produção da cana-de-açúcar (t ha⁻¹);

PPM – Preço do produto no mercado (R\$ t⁻¹).

Os indicadores Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR) são amplamente utilizados nas análises econômico-financeiras. O VPL, no período $t = 0$, corresponde ao somatório de todos os fluxos de caixa do projeto, descontados ao período inicial a uma determinada TMA, conforme a equação (2) (Ross; Westerfield; Jaffe, 2007):

$$VPL = -C_0 + \sum_{i=0}^T \frac{C_i}{(1+r)^i} \quad (2)$$

Em que:

C_0 – Fluxo de caixa inicial;

C_i – Fluxo de caixa no período i .

r – Taxa de desconto.

Quando o VPL apresenta valor superior a zero, o investimento inicial é coberto e a remuneração mínima exigida é atingida, gerando excedentes de caixa (Oliveira *et al.*, 2020).

A TIR foi determinada igualando a equação do VPL a zero e calculando as raízes da equação polinomial, conforme equação (3) (Ross; Westerfield; Jaffe, 2007):

$$VPL = -C_0 + \sum_{i=0}^T \frac{C_i}{(1+r)^i} = 0 \quad (3)$$

Em que:

$i > K$ – projeto economicamente realizável.

O investimento é considerado viável quando o valor da TIR é superior à TMA e é rejeitado quando inferior (Coelho *et al.*, 2016).

O Período de Recuperação do Capital (*Payback* descontado) baseou-se na determinação do valor de T , calculado pela equação (4) (Vergara *et al.*, 2017):

$$I = \sum_{t=1}^T \frac{FC_t}{(1+K)^t} \quad (4)$$

Em que:

I – Investimento inicial;

FC_t – Fluxo de caixa no período t ;

K – Custo do capital.

A relação Benefício/Custo (B/C) foi calculada conforme equação (5) (Rasoto *et al.*, 2012):

$$\frac{B}{C} = \frac{\sum_{k=0}^n B_k(1+j)^{-k}}{\sum_{k=0}^n C_k(1+j)^{-k}} \quad (5)$$

Em que:

B – Benefício (R\$);

C – Custo (R\$);

j – Taxa de juro anual;

k – Vida útil (anos).

O investimento é aceito quando o B/C é superior a 1; quanto maior o B/C, maior a lucratividade (Oliveira *et al.*, 2020).

Para a análise de viabilidade econômica, foram considerados dois cortes da cultivar de cana-de-açúcar CTC4 (cana-planta e cana-soca), de modo a obter as produtividades de colmo e açúcares totais recuperáveis (ATR) em cultivo irrigado, representando o alto nível tecnológico adotado na região. O preço considerado do ATR foi de R\$ 0,7783 kg⁻¹, e o preço recebido pela tonelada foi de R\$ 160,44 t⁻¹.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta os custos com preparo de solo e plantio da cana-de-açúcar no primeiro ano de cultivo (cana-planta). Os custos com insumos, plantio mecanizado, serviços e maquinário foram, de aproximadamente R\$ 1.161,10, R\$ 4.306,62 e R\$ 4.181,39 por hectare, respectivamente. Em termos percentuais, os custos com insumos, plantio mecanizado e maquinário representaram 12,03%, 44,63% e 43,33% do total relativo ao preparo de solo e plantio da cana-de-açúcar no primeiro ano de cultivo.

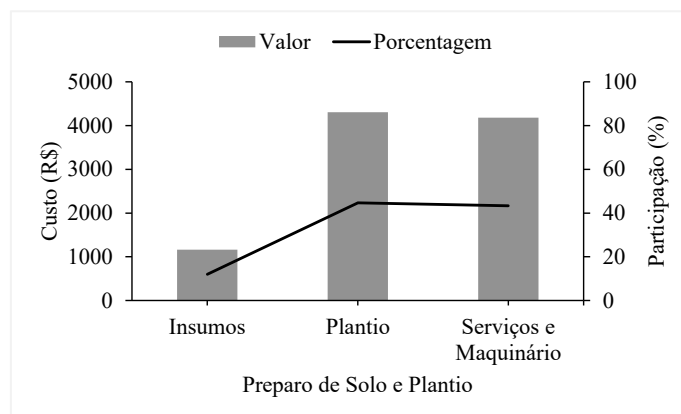


Figura 1. Custos com o preparo de solo e o plantio da cana-de-açúcar (cana-planta)

As operações agrícolas, em sua maioria, podem ser mecanizadas, do preparo do solo até a colheita. Quando bem dimensionadas e planejadas, proporcionam retorno financeiro significativo ao produtor (Duarte Júnior *et al.*, 2008; Silva *et al.*, 2021).

A Figura 2 apresenta os custos com os tratos culturais da cana-de-açúcar no primeiro (cana-planta) e segundo ano de cultivo (cana-soca). No primeiro ano, os custos com serviços e maquinários, mão de obra, defensivos, fertilizantes e corretivos foram de R\$ 271,37, R\$ 125,33, R\$ 839,95 e R\$ 763,33 por hectare, respectivamente. Em termos percentuais, esses custos corresponderam a 13,57%, 6,27%, 42,00% e 38,17% do total dos tratos culturais no primeiro ano de cultivo.

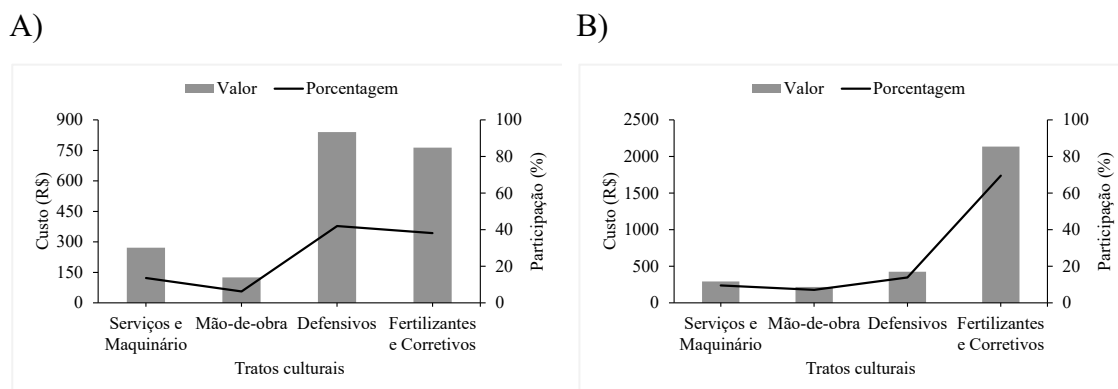


Figura 2. Custos com os tratos culturais da cana-de-açúcar em relação ao corte de cana-planta (A) e cana-soca (B)

Quando conduzidos adequadamente, estudos de viabilidade econômica fornecem indicadores consistentes para a tomada de decisões na implantação de cultivos como o da cana-de-açúcar, permitindo que os produtores tenham acesso a resultados monetários confiáveis. Esses estudos também destacam que a maior parcela dos custos com tratos

culturais geralmente está associada a defensivos, fertilizantes e corretivos (Carvalho *et al.*, 2020; Casaroto Filho, 2009).

No segundo ano de cultivo (cana-soca), os custos com serviços e maquinários, mão de obra, defensivos, fertilizantes e corretivos foram de R\$ 291,37, R\$ 218,60, R\$ 426,35 e R\$ 2.136,33 por hectare, respectivamente. Em termos percentuais, essas despesas representaram 9,48%, 7,11%, 13,88% e 69,53% dos custos com tratos culturais no segundo ano de cultivo.

No primeiro ano de cultivo, os tratos culturais que mais influenciaram os custos foram os relativos a defensivos, fertilizantes e corretivos. No segundo ano, por sua vez, os custos com tratos culturais se concentraram, principalmente, no uso de fertilizantes e corretivos.

Diante de um cenário em que os preços dos insumos tendem a aumentar mais rapidamente do que os preços dos produtos, reforça-se a necessidade de os produtores utilizarem esses insumos de forma eficiente, minimizando os custos variáveis por unidade produzida (Gonçales Filho *et al.*, 2020; Paulino *et al.*, 1994).

A Figura 3 apresenta os custos com a colheita da cana-de-açúcar no primeiro (cana-planta) e segundo ano de cultivo (cana-soca). No primeiro ano, os custos com corte mecanizado, transbordo e transporte da cana picada foram de R\$ 2.366,67, R\$ 876,00 e R\$ 1.143,50 por hectare, respectivamente. Em termos percentuais, esses custos representaram 53,96%, 19,97% e 26,07 do total relativo à colheita da cana-de-açúcar no primeiro ano de cultivo

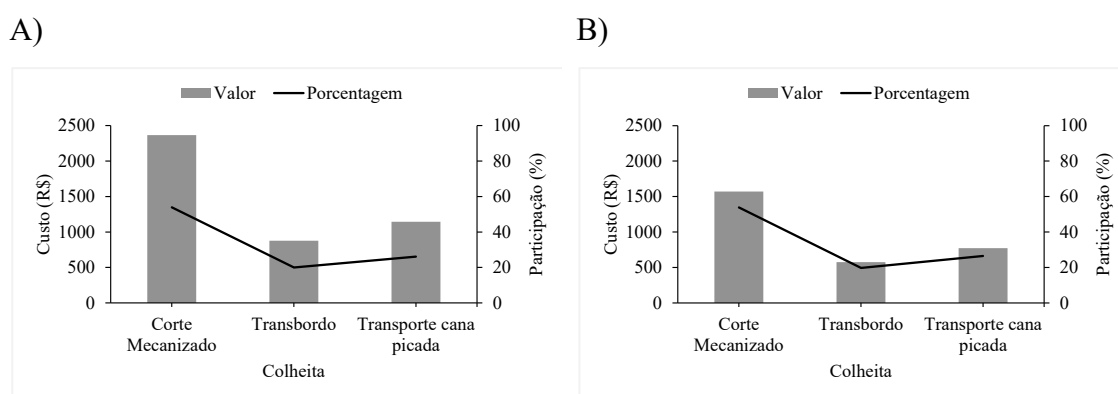


Figura 3. Custos com a colheita da cana-de-açúcar em relação ao corte: cana-planta (A) e cana-soca (B)

Os custos com corte mecanizado variaram de R\$ 1.300,00 a R\$ 2.500,00, tanto em cana-planta quanto em cana-soca, com valores maiores no primeiro ano de cultivo. A

mecanização da colheita é justificada também por argumentos ambientais, direcionando o setor para uma estrutura operacional que busca integrar viabilidade econômica, social e ambiental (Batista; Mendonça, 2019; Sousa, 2015).

No segundo ano de cultivo (cana-soca), os custos com corte mecanizado, transbordo e transporte da cana picada foram de R\$ 1.570,33, R\$ 575,00 e R\$ 771,00 por hectare, respectivamente. Em termos percentuais, esses valores corresponderam a 53,85%, 19,72% e 26,44% dos custos de colheita. Em termos percentuais, os custos entre cana-planta e cana-soca são semelhantes; entretanto, em valores absolutos, os custos em cana-planta foram, em média, 33,53% maiores do que os verificados em cana-soca.

A Figura 4 apresenta os custos com despesas administrativas para o cultivo da cana-de-açúcar no primeiro e segundo ano. No primeiro ano de cultivo, os custos com taxas, mão de obra e outras despesas foram de R\$ 313,54, R\$ 151,40 e R\$ 234,08 por hectare, respectivamente, correspondendo a 44,85%, 21,66% e 33,49% do total de despesas administrativas da cana-de-açúcar no primeiro ano de cultivo.

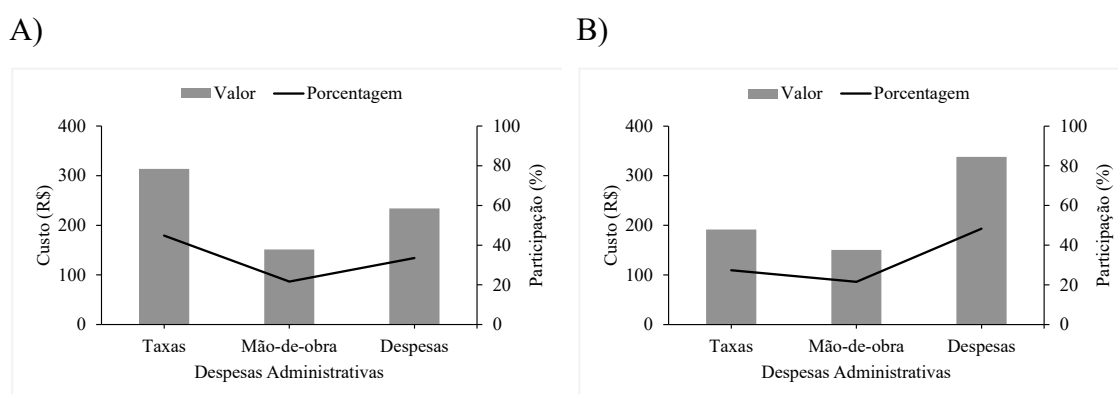


Figura 4. Custos com despesas administrativas do cultivo da cana-de-açúcar em relação ao corte: (A) cana-planta e (B) cana-soca

Considerando a viabilidade econômica, é fundamental conhecer e compreender a origem e a composição dos custos durante a produção da cana-de-açúcar, incluindo aqueles relacionados às despesas administrativas (Garcia *et al.*, 2021).

No segundo ano de cultivo (cana-soca), os custos com taxas, mão de obra e outras despesas foram de R\$ 191,49, R\$ 150,40 e R\$ 337,82 por hectare, respectivamente. Esses valores correspondem a 27,39%, 21,52% e 48,33% dos custos totais com despesas administrativas no segundo ano de cultivo.

A Figura 5 apresenta o custo total com tratamentos culturais da cana-de-açúcar no primeiro (cana-planta) e segundo ano de cultivo (cana-soca). O custo total com tratamentos

culturais foi de aproximadamente R\$ 2.000,00 por hectare em cana-planta e R\$ 3.072,66 por hectare em cana-soca. Em termos percentuais, o custo total com tratos culturais representa 39,43% do total em cana-planta e 60,57% em cana-soca.

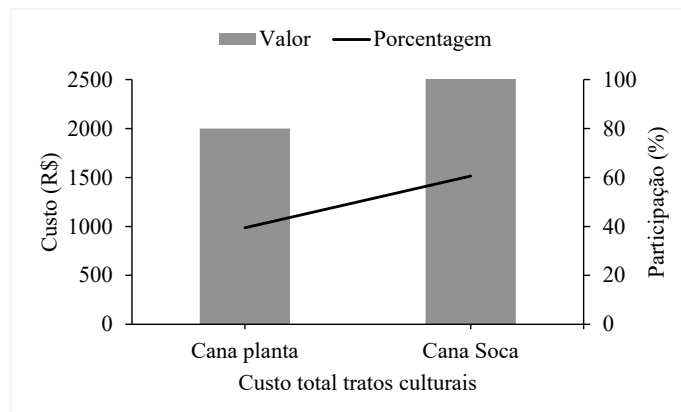


Figura 5. Custo total com tratos culturais em função do corte da cana-de-açúcar (cana-planta e cana-soca)

A variação dos custos com tratos culturais em cana-soca e com transporte geralmente não interfere muito na sensibilidade da receita líquida da irrigação (Frizzone *et al.*, 2001; Girardi, 2019).

A Figura 6 apresenta o custo total com a colheita da cana-de-açúcar no primeiro e segundo ano de cultivo. O custo total com a colheita foi de R\$ 4.386,17 por hectare em cana-planta e R\$ 2.916,33 por hectare em cana-soca. Em termos percentuais, os custos da colheita representam 60,06% do total em cana-planta e 39,94% em cana-soca.

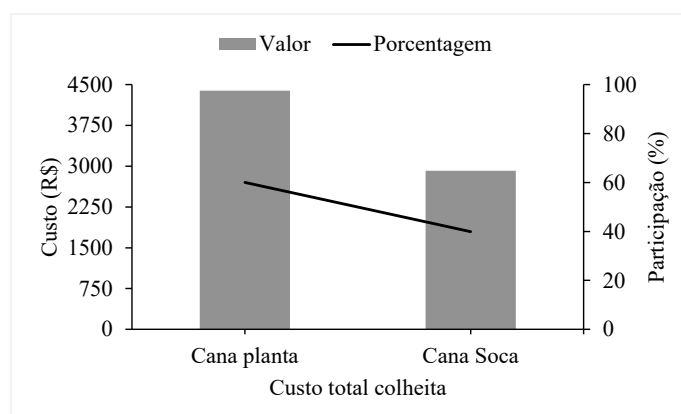


Figura 6. Custo total com a colheita em função do corte da cana-de-açúcar (cana-planta e cana-soca)

Nos últimos anos, os custos com a colheita da cana-de-açúcar em cultivo de

segundo ano têm se mantido próximos a R\$ 3.000,00 por hectare, com participação correspondente a 40% (Cunha, 2021).

A Figura 7 apresenta o custo total relativo à produção de cana-de-açúcar no primeiro e segundo ano de cultivo. No primeiro ano, os custos com preparo de solo e plantio, tratos culturais, colheita e despesas administrativas foram de aproximadamente R\$ 9.649,11, R\$ 2.000,00, R\$ 4.386,17 e R\$ 699,02 por hectare, respectivamente. Esses custos corresponderam a uma participação de 57,66%, 11,95%, 26,21% e 4,18% do total para o cultivo de cana-de-açúcar (cana-planta).

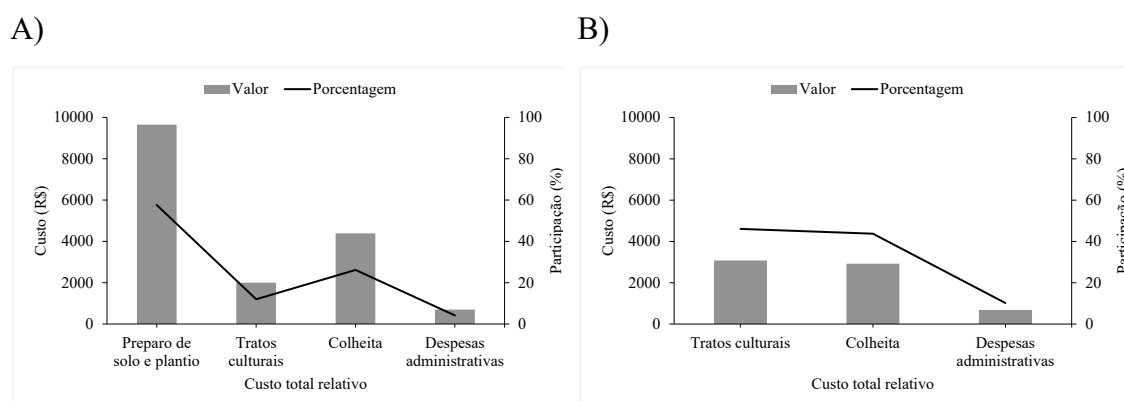


Figura 7. Custo total relativo do cultivo da cana-de-açúcar em relação ao corte: (A) cana-planta e (B) cana-soca

O produtor, em seu planejamento, deve analisar os pontos fortes e fracos da cana-de-açúcar em cada ciclo e manter controle sobre o custo total relativo. O custo de produção é parte essencial para a gestão do empreendimento rural (Andrade; Ferrari; Fracaro, 2017).

No segundo ano de cultivo (cana-soca), os custos com tratos culturais, colheita e despesas administrativas da cana-de-açúcar foram de R\$ 3.072,66, R\$ 2.916,33 e R\$ 679,71 por hectare, respectivamente. Esses custos correspondem a 46,08%, 43,73% e 10,19% do total de produção da cana-de-açúcar em cana-soca.

A Figura 8 apresenta o custo operacional efetivo para a produção de cana-de-açúcar no primeiro (cana-planta) e segundo ano de cultivo (cana-soca). O custo operacional efetivo foi de aproximadamente R\$ 16.734,28 por hectare em cana-planta e R\$ 6.668,70 por hectare em cana-soca. A participação desses custos é maior no primeiro ano (71,50%) do que no segundo ano de cultivo (28,50%).

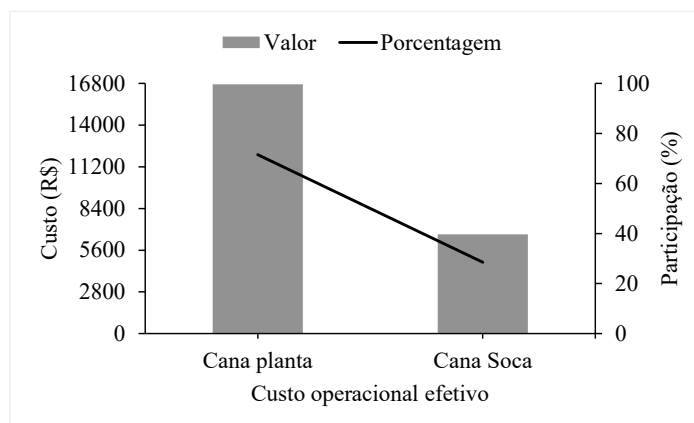


Figura 8. Custo operacional efetivo em função do corte da cana-de-açúcar (cana-planta e cana-soca)

A análise econômica permite avaliar racionalmente ações e consequências no planejamento agrícola, com base em critérios preestabelecidos, e determinar o sucesso econômico da atividade a partir das decisões tomadas com base nos custos efetivos (Banchi *et al.*, 2019; Rezende *et al.*, 1999).

A Figura 9 apresenta o custo operacional da irrigação para a produção de cana-de-açúcar irrigada no primeiro (cana-planta) e segundo ano de cultivo (cana-soca). O custo operacional da irrigação foi de R\$ 5.869,11 por hectare em cana-planta e R\$ 985,91 por hectare em cana-soca. A participação nos custos é mais expressiva no primeiro ano de cultivo (85,62%), devido aos custos com a montagem e instalação do sistema de irrigação, enquanto no segundo ano (14,38%) as despesas são menores, relacionadas principalmente à energia e à manutenção do sistema.

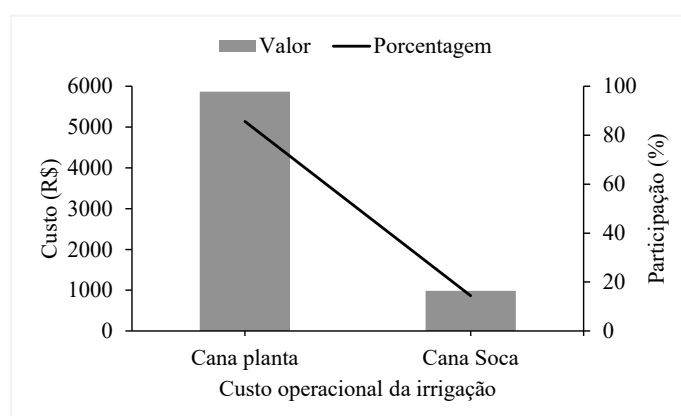


Figura 9. Custo operacional da irrigação da cana-de-açúcar em relação ao corte: (A) cana-planta e (B) cana-soca

A irrigação pode minimizar os riscos econômicos da atividade sucroalcooleira, especialmente em safras sujeitas a instabilidade climática, quando a restrição hídrica,

promovida pela redução no volume de chuvas, pode comprometer o rendimento e a produtividade dos canaviais (Santos *et al.*, 2016).

A Figura 10 apresenta a participação percentual dos custos de produção da cana-de-açúcar irrigada no primeiro ano de cultivo (cana-planta). Os maiores custos estão relacionados a serviços e maquinário (relacionados ao plantio), ao plantio em si e à irrigação, correspondendo a 18,50%, 19,05% e 25,97% dos custos totais, respectivamente, totalizando 63,52% de todos os custos para a produção da cana-de-açúcar irrigada (cana-planta).

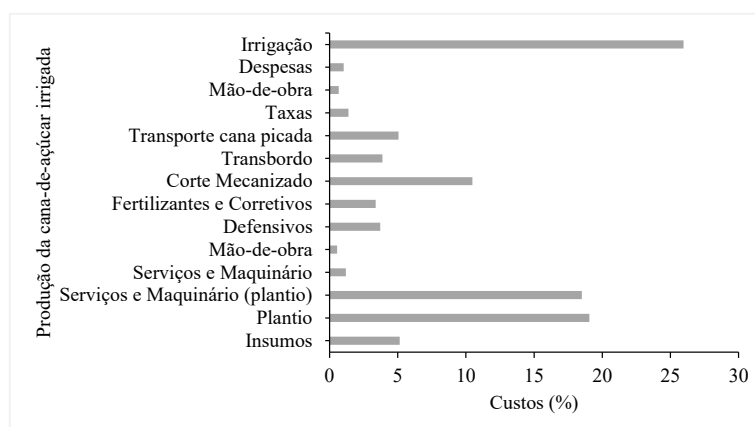


Figura 10. Participação percentual dos custos de produção da cana-de-açúcar irrigada para o primeiro ano de cultivo (cana-planta)

Para a análise de investimentos e a tomada de decisões financeiras de forma segura e ágil, é preciso avaliar detalhadamente os recursos a serem aplicados em irrigação, uma vez que sua instalação na área de cultivo exerce elevado impacto sobre a lucratividade da cultura (Pereira, 2017; Rebellato, 2004).

A Figura 11 apresenta a participação percentual dos custos de produção da cana-de-açúcar irrigada no segundo ano de cultivo (cana-soca). Os custos mais relevantes nesse período estão relacionados à irrigação, corte mecanizado, fertilizantes e corretivos, correspondendo a aproximadamente 12,88%, 20,51% e 27,91% dos custos totais, respectivamente, totalizando 61,30% de todos os custos para a produção da cana-de-açúcar irrigada (cana-soca).

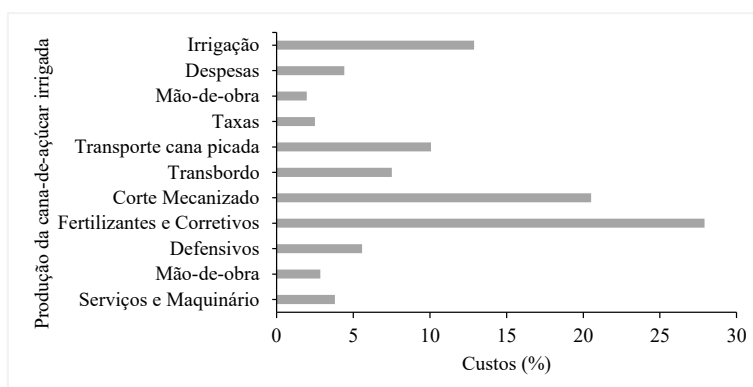


Figura 11. Participação percentual dos custos de produção da cana-de-açúcar irrigada para o segundo ano de cultivo (cana-soca)

Para o levantamento e o gerenciamento agrícola eficaz, é indispensável analisar a eficiência de cada procedimento operacional, desde o início do cultivo até o produto final, independentemente da escala ou magnitude da operação (Souza; Fernandes, 2020).

A Figura 12 apresenta o custo operacional total (Custo Operacional Efetivo mais Custo Operacional da Irrigação) para a produção de cana-de-açúcar irrigada no primeiro (cana-planta) e segundo ano de cultivo (cana-soca).

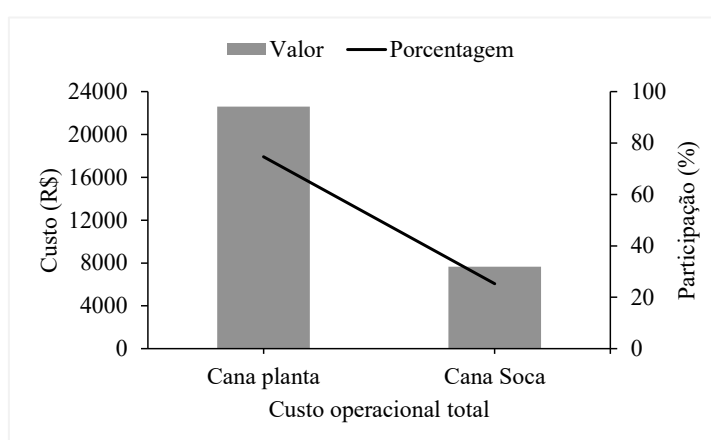


Figura 12. Custo operacional total da cana-de-açúcar irrigada em relação ao corte: (A) cana-planta e (B) cana-soca

O custo operacional total foi de R\$ 22.603,39 por hectare em cana-planta e R\$ 7.654,61 por hectare em cana-soca. A participação do custo operacional total na produção da cana-de-açúcar irrigada correspondeu a aproximadamente 74,70% no primeiro ano e 25,30% no segundo ano de cultivo.

Grande parte dos custos da cana-de-açúcar irrigada em cana-planta está associada à irrigação, representando uma parcela significativa dos custos totais (Cunha; Pasqualetto, 2020). O levantamento do custo operacional total fornece projeções de curto prazo

relevantes para decisões de investimento no setor canavieiro, permitindo avaliar e relacionar o comportamento dos preços e dos custos de produção (Oliveira *et al.*, 2022).

A Figura 13 apresenta a rentabilidade do cultivo da cana-de-açúcar irrigada no primeiro (cana-planta) e segundo ano de cultivo (cana-soca). A rentabilidade obtida foi de R\$ 3.608,09 por hectare em cana-planta (19,86%) e R\$ 14.556,87 por hectare em cana-soca (80,14%), demonstrando maior retorno econômico no segundo ano de cultivo.

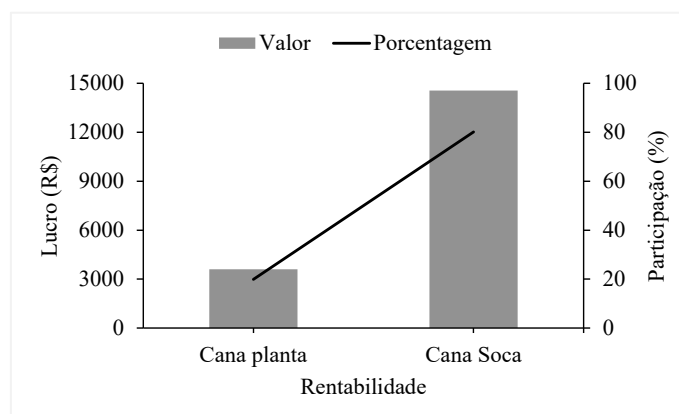


Figura 13. Rentabilidade em função do corte da cana-de-açúcar irrigada (cana-planta e cana-soca)

A irrigação constitui um investimento viável na agricultura, apresentando retorno relativamente rápido e proporcionando boa renda, configurando-se como uma forma eficaz e segura de investimento no meio rural (Dal'sotto, 2013; Verma; Solanki, 2020).

A relação B/C apresentou valor superior a 1,0, indicando que a cana-de-açúcar irrigada na região Norte de Goiás é economicamente viável, apresentando uma relação Benefício/Custo de R\$ 1,80 (Tabela 2). O período de retorno do capital investido (*payback*) foi estimado em três anos, considerando uma taxa de juros de 4%, resultando em uma lucratividade de R\$ 2.693,85 ha⁻¹ ano⁻¹ para o cultivo da cana-de-açúcar irrigada na região Norte de Goiás.

Tabela 2. Indicadores econômicos da cultura da cana-de-açúcar irrigada

Indicadores econômicos ¹				
TMA	TIR	<i>Payback</i>	VPL	B/C
%	%	ano	R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹	R\$
4	58,23	3	2693,85	1,80

¹Taxa Mínima de Atratividade (TMA), Taxa Interna de Retorno (TIR), *Payback*, Valor Presente Líquido (VPL), relação Benefício/Custo (B/C).

Quando o VPL apresenta valor positivo, o projeto pode ser considerado viável,

pois indica que o retorno do investimento excede o valor do capital inicial aplicado, levando em conta o custo de investimento do produto (Oliveira *et al.*, 2022; Rezende; Oliveira, 2001).

A Taxa Interna de Retorno (TIR) apresentou valor significativamente superior a 4%, referência utilizada pelo BNDES para projetos irrigados, demonstrando a elevada viabilidade econômica da irrigação na cana-de-açúcar na região Norte de Goiás.

Um dos fatores que mais impacta a competitividade agrícola são as altas cargas tributárias, que podem desestabilizar a capacidade produtiva e competitiva dos produtores rurais brasileiros (Momm, 2020).

A irrigação da cana-de-açúcar na região Norte de Goiás apresenta elevado VPL e lucratividade relevante. Provavelmente, essa lucratividade esteja associada aos incrementos na produtividade de colmos e na qualidade industrial da cana-de-açúcar decorrentes da adoção da irrigação, que favorece o crescimento e o desenvolvimento da cultura de forma significativa.

3.4 CONCLUSÕES

Os custos com a produção da cana-de-açúcar irrigada no cultivo de primeiro ano (cana-planta), no Norte de Goiás, são mais elevados com serviços e maquinário relacionados ao plantio, com o plantio em si e com a irrigação, representando 63,52% de todos os custos totais. No segundo ano de cultivo (cana-soca), os custos concentram-se principalmente em irrigação, corte mecanizado, fertilizantes e corretivos, correspondendo a 61,30% de todos os custos.

O VPL apresentou valor positivo (R\$ 2.693,85 ha⁻¹ ano⁻¹), indicando que se trata de um investimento viável, com boas perspectivas de lucro e valorização do capital aplicado. A TIR foi superior à taxa de desconto (58,23%), a relação B/C apresentou valor maior que um (1,80) e o tempo de retorno do capital investido (*Payback*) foi estimado em três anos.

Dessa forma, A irrigação da cana-de-açúcar no primeiro e segundo ano de cultivo (cana-planta e cana-soca), na região Norte de Goiás, demonstra viabilidade econômica.

3.5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Evangélica de Goiás – UniEVANGÉLICA

e à Usina de Uruaçu – GO pelo apoio à pesquisa.

3.6 REFERÊNCIAS

ALVES JÚNIOR, J.; SALES, D. L. A.; PEREIRA, R. M.; RODRIGUEZ, W. D. M.; CASAROLI, D.; EVANGELISTA, A. W. P. Viabilidade econômica da irrigação por pivô central nas culturas de soja, milho e tomate. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, Recife, v. 22, p. 1-6, 2018. DOI: <https://doi.org/10.12661/pap.2017.011>

ANDRADE, R. J.; FERRARI, J. V.; FRACARO, A. A.; CARVALHO, M. C. Viabilidade econômica da produção de cana-de-açúcar na Região de Jales. *In*: SIMPÓSIO SUL-MATO-GROSSENSE DE ADMINISTRAÇÃO, 1., 2017, Campo Grande. **Anais [...]**. Campo Grande, MS: UFMS, 2017. p. 1-11.

BANCHI, Â. D.; GARCIA, A. P.; GRESPAN, A.; ALBIERO, D.; FAVARIN, L. G. A.; GALVÃO, C. B. Operating cost of sugarcane harvester in function of agricultural productivity and harvester age. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 23, n. 7, p. 552-557, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n7p552-557>

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (BNDES). **Programa de incentivo à irrigação e a armazenagem – Moderinfra**. 2014. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/apoio/moderinfra.html>. Acesso em: 11 jul. 2024.

BATISTA, C. R.; MENDONÇA, Í. N. Avaliação da mecanização sobre o mercado de trabalho na lavoura da cana-de-açúcar. **Revista de Economia Regional, Urbana e do Trabalho**, v. 8, n. 2, p. 50-86, 2019. DOI: <https://doi.org/10.21680/2316-5235.2019v8n2ID20380>

CARVALHO, D. J.; MORETTI, R. R.; COLODETTE, J. L.; BIZZO, W. A. Assessment of the self-sustained energy Generation of an integrated first and second Generation ethanol production from sugarcane through the characterization of the hydrolysis process residues. **Energy Conversion and Management**, v. 203, p. 1-9., 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.112267>

CASAROTTO FILHO, N. **Elaboração de projetos empresariais: análise estratégica, estudo de viabilidade e plano de negócios**. São Paulo: Atlas, 2009.

CASTRO JÚNIOR, W. L.; OLIVEIRA, R. A.; SILVEIRA, S. F. R.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. Viabilidade econômica de tecnologias de manejo da irrigação na produção do feijão-caupi, na região dos Cocais-MA. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, SP, v. 35, n. 3, p. 406-418, maio/jun. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n3p406-418/2015>

COELHO, R. M.; LEITE, A. M. P.; LEONEL, M. S.; MATUDA, J. J.; FREITAS, L. C. Avaliação econômica do uso da madeira de eucalipto para diferentes finalidades, na região do alto Jequitinhonha, MG. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 46, n. 2, p. 155-164, 2016. DOI: <https://doi.org/10.5380/rf.v46i2.38600>

CUNHA, G. N. **Expansão e impactos da cana-de-açúcar na região Norte de Goiás**. 2021. 117 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Planejamento Territorial) – Escola de Gestão e Negócios, Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2021.

CUNHA, G. N.; PASQUALETTO, A. Financial impact of irrigation and nitrogen: topdressing in rural enterprises of sugarcane in Uruaçu, Brazil. **International Journal of Business Administration**, v. 11, n. 4, p. 21-29, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5430/ijba.v11n4p21>

DAL’SOTTO, T. C. **Estudo de viabilidade econômica para implantação de um sistema de cultivo hidropônico em uma propriedade rural no oeste do Paraná**. 2013. 64 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2013.

DUARTE JÚNIOR, J. B.; GARCIA, R. F.; COELHO, F. C.; AMIM, R. T. Desempenho de trator-implemento na cana-de-açúcar em sistemas de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 12, n. 6, p. 653-658, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662008000600013>

FEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DE GOIÁS (FAEG). **Estimativa de custo: produção cana-de-açúcar**. 2024. Disponível em: <https://sistemafaeg.com.br/ifag/dados-e-analises/cana-de-acucar-2>. Acesso em: 10 jun. 2024.

FERNANDES, A. C. **Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar**. 2. ed. Piracicaba, SP: STAB, 2003.

FIGUEIREDO, M. G.; FRIZZONE, J. A.; PITELLI, M. M.; REZENDE, R. Lâmina ótima de irrigação do feijoeiro, com restrição de água, em função do nível de aversão ao risco do produtor. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 30, n. 1, p. 81-87, mar. 2008. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v30i1.1135>

FRIZZONE, J. A. **Funções de resposta das culturas à irrigação**. Piracicaba, SP: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ/USP), 1993.

FRIZZONE, J. A. Otimização do uso da água na agricultura irrigada: perspectivas e desafios. **Engenharia Rural**, Piracicaba, SP, v. 15, p. 37-56, 2004.

FRIZZONE, J. A.; MATIOLI, C. S.; REZENDE, R.; GONÇALVES, A. C. A. Viabilidade econômica da irrigação suplementar da cana-de-açúcar, *Saccharum spp.*, para a região Norte do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, PR, v. 23, n. 5, p. 1131-1137, 2001. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v23i0.2569>

GARCIA, E. L.; SILVA, R. C.; DENADAI, M. S. Viabilidade econômica da cultura do milho para silagem em uma propriedade de gado leiteiro. **Energia na Agricultura**, Botucatu, SP, v. 36, n. 2, p. 304-314, abr./jun., 2021. DOI: <https://doi.org/10.17224/EnergAgric.2021v36n2p304-314>

GIRARDI, E. P. Agronegócio sucroenergético e desenvolvimento no Brasil. **Revista Franco-Brasileira de Geografia**, Confins, MG, v. 2, n. 40, p. 1-10, 2019. DOI: <https://doi.org/10.4000/confins.19517>

GONÇALES FILHO, M.; DELBONI, C.; SILVA, R. G.; CAMPOS, F. C. Viabilidade econômica da limpeza a seco da cana-de-açúcar. **Brazilian Journal of Production Engineering**, v. 6, n. 4, p. 25-40, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufes.br/bjpe/article/view/30340>. Acesso em: 22 jun. 2024.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes, 1928.

LOPES SOBRINHO, O. P.; SILVA, G. S.; PEREIRA, Á. I. S.; SOUSA, A. B.; CASTRO JÚNIOR, W. L.; SANTOS, L. N. S. A cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) e o manejo da irrigação. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente – RAMA**, v. 12, n. 4, p. 1605-1625, 2019. DOI: <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2019v12n4p1605-1625>

MARTIN, N. B.; SERRA, R.; OLIVEIRA, M. D. M.; ÂNGELO, J. A.; OKAWA, H. Sistema de custos agropecuários – CUSTAGRI. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 28, n. 1, p. 7-28, 1998.

MARTINS, J. D.; PETRY, M. T.; RODRIGUES, G. C.; CARLESSO, R. Viabilidade econômica da irrigação deficitária em milho irrigado por gotejamento. **Irriga**, Botucatu, SP, v. 1, n. 1, p. 150-165, 2016. DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2016v1n1p150-165>

MATSUNAGA, M.; BEMELMANS, P. F.; TOLEDO, P. E. N.; DULLEY, R. D.; OKAWA, H.; PEDROSO, I. A. Metodologia de custos de produção utilizada pelo IEA. **Agricultura em São Paulo**, São Paulo, v. 23, n. 1, p. 123-139, 1976.

MOMM, M. A. L. O planejamento dos encargos sociais sobre a folha de pagamento à luz da legislação previdenciária, trabalhista e tributária. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE DIREITO EMPRESARIAL E CIDADANIA, 9., 2020, Curitiba. **Anais [...]**. Curitiba: Percurso, 2020. p. 339-343.

NOGUEIRA, H. M. C. M. **Viabilidade do cultivo da cana-de-açúcar irrigada para a produção de etanol**. 2016. 139 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.

OLIVEIRA, A. A. F.; QUEIROZ, R. G.; GIMENES, R. M. T. Análise da viabilidade econômico para investimento em armazenamento de grãos. **Revista de Contabilidade Gestão Contemporânea – RCGC**, Niterói, RJ, v. 3, n. 1, p. 20-34, 2020. Disponível em: <https://periodicos.uff.br/rcgc/article/view/45807>. Acesso em: 29 jun. 2024.

OLIVEIRA, S. C.; AMORIM, F. R.; BARBOSA, C. C.; ANDRADE, A. G.; SOLFA, F. D. G. Effect of production costs on the price per ton of sugarcane: the case of Brazil. **International Journal of Social Science Studies**, v. 10, n. 6, p. 15-27, 2022.

PAULINO, H. B.; TARSITANO, M. A. A.; HERNANDEZ, F. B. T.; BUZETTI, S. Viabilidade econômica da cultura do melão (*Cucumis melo* L.) na região de Ilha Solteira – SP. **Scientia Agricola**, Piracicaba, SP, v. 51, n. 3, p. 519-523, 1994. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-90161994000300025>

PEREIRA, N. A. Variáveis de custos de produção da cana-de-açúcar e suas diferenças entre as regiões produtoras. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 10, p. 757-774, 2017.

PEREIRA, R. M.; ALVES JÚNIOR, J.; CASAROLI D.; SALES, D. L.; RODRIGUEZ,

W. D. M.; SOUZA, J. M. F. Viabilidade econômica da irrigação de cana-de-açúcar no cerrado brasileiro. **Irriga**, Botucatu, SP, v. 1, n. 2, p. 149-157, 2015. DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2015v1n2p149>

RAMBO, J. R.; TARSITANO, M. A. A.; KRAUSE, W.; LAFORGA, G.; SILVA, C. Análise financeira e custo de produção de banana-maçã: um estudo de caso em Tangará da Serra, Estado do Mato Grosso. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 45, n. 5, p. 29-39, 2015.

RASOTO, A.; GNOATTO, A. A.; OLIVEIRA, A. G.; ROSA, C. F.; ISHIKAWA, G.; CARVALHO, H. A.; LIMA, I. A.; LIMA, J. D.; TRENTIN, M. G.; RASOTO, V. I. **Gestão Financeira: enfoque em inovação**. Curitiba: Aymar, 2012.

REBELATTO, D. A. N. **Projeto de investimento**. Barueri, SP: Manole, 2004.

REZENDE, J. L. P.; OLIVEIRA, A. D. **Análise econômica e social de projetos florestais**. Viçosa, MG: UFV, 2001.

REZENDE, R.; CARDOSO, C. O.; GONÇALVES, A. C. A.; PERES, F. C.; FRIZZONE, J. A.; FOLEGATTI, M. V. Viabilidade econômica da irrigação complementar na cultura de citros na região noroeste do Estado do Paraná. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, PR, v. 21, n. 3, p. 591-598, 1999. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v21i0.4292>

RODRIGUES, C. C.; RIBEIRO, F. W.; SILVA, A. C.; ARAÚJO, M. S. Análise econômico-financeira da implantação do cultivo de milho verde. **Agrarian Academy**, Goiânia, v. 5, n. 9, p. 19-29, 2018. DOI: [10.18677/Agrarian_Academy_2018a3](https://doi.org/10.18677/Agrarian_Academy_2018a3)

ROSS, S. A.; WESTERFIELD, R. W.; JAFFE, J. F. **Administração financeira: corporate finance**. São Paulo: Atlas, 2007.

SANTOS, L. C.; LEAL, D. P. V.; JOSÉ, J. V.; COELHO, R. D.; BARROS, T. H. S. Aplicação do modelo CSM-Canegro em estudo de viabilidade econômica da cana-de-açúcar irrigada por pivô central. **Irriga**, Botucatu, SP, v. 1, n. 1, p. 13-22, 2016. DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2016v1n1p13-22>

SILVA, D. L. G.; BATISTI, D. L. S.; FERREIRA, M. J. G.; MERLINI, F. B.; CAMARGO, R. B.; BARROS, B. C. B. Cana-de-açúcar: aspectos econômicos, sociais, ambientais, subprodutos e sustentabilidade. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 7, p. 1-17, 2021. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i7.14163>

SOUSA, A. P. Análise socioeconômica das tecnologias de colheita da cana de açúcar: um estudo do município de Rubiataba-GO. **Revista de Economia da UEG**, Anápolis, GO, v. 11, n. 1, p. 125-140, jan./ago. 2015. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.5540043>

SOUZA, E. F.; BERNARDO, S.; CARVALHO, J. Á. Função de produção da cana-de-açúcar em relação à água para três variedades em Campos dos Goytacazes. **Engenharia Agrícola**, v. 19, n. 1, p. 12-28, 1999.

SOUZA, L. H.; FERNANDES, V. L. Capacidade operacional e eficiência de campo da produção de silagem de milho cultivado em pivô central: estudo de caso. **Caderno de Ciências Agrárias**, Montes Claros, MG, v. 12, p. 1-5, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/1981-3163-2020-0001>

<https://doi.org/10.35699/2447-6218.2020.15999>

TEODORO, I.; DANTAS NETO, J.; SOUZA, J. L.; LYRA, G. B.; BRITO, K. S.; SÁ, L. A.; SANTOS, M. A. L.; SARMENTO, P. L. V. S. Isoquantas de produtividade da cana-de-açúcar em função de níveis de irrigação e adubação nitrogenada. **Irriga**, Botucatu, SP, v. 18, n. 3, p. 387-401, 2013. DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2013v18n3p387>

VERGARA, W. R. H.; OLIVEIRA, J. P. C.; BARBOSA, F. A.; YAMANARI, J. S. Análise de viabilidade econômico-financeira para aquisição de uma unidade de armazenagem de soja e milho. **Revista Gestão da Produção, Operações e Sistemas - GEPROS**, Bauru, SP, v. 12, n. 1, p. 41-61, 2017. DOI: <https://doi.org/10.15675/gepros.v12i1.1598>

VERMA, L. K.; SOLANKI, A. Cost and Returns Analysis of Sugarcane Production in Baghpat district of Western Uttar Pradesh, India. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 9, n. 1, p. 733-739, 2020. DOI: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.901.080>

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A expansão da agroindústria canavieira no Médio Norte Goiano apresenta efeitos positivos sobre a renda, gerando empregos diretos e indiretos, especialmente nas regiões próximas às usinas. A formação savânica, que correspondia à maior cobertura em 1985 (28.940,38 km² ou 43,75%), apresentou redução contínua ao longo das décadas, atingindo 17.199,60 km² (26,00%) em 2023. Essa redução expressiva evidencia a substituição do Cerrado nativo por pastagens e atividades agrícolas, com impactos na biodiversidade e nos recursos naturais da região.

Entre 1985 e 2023, o Médio Norte Goiano passou por intensa expansão agropecuária, redução da vegetação nativa e crescimento da urbanização. A conversão de áreas naturais em culturas agrícolas, especialmente a cana-de-açúcar, evidencia um modelo de desenvolvimento fortemente baseado na transformação de áreas naturais em usos produtivos, gerando impactos ambientais como degradação do solo, pressão sobre recursos hídricos e perda de biodiversidade, o que indica a necessidade de práticas de manejo sustentável. O uso intensivo de água para irrigação e processamento da cana-de-açúcar, bem como o desmatamento, são fatores que demandam políticas de gestão ambiental adequadas.

A irrigação da cana-de-açúcar, tanto no primeiro quanto no segundo ano de cultivo (cana-planta e cana-soca) no Médio Norte Goiano, demonstrou viabilidade econômica. O VPL foi superior a zero (R\$ 2.693,85 ha⁻¹ ano⁻¹), indicando um investimento executável com boas perspectivas de lucro e valorização do capital aplicado. A TIR atingiu 58,23%, superior à taxa de desconto adotada, a relação B/C foi maior que um (1,80), e o tempo de retorno do capital investido (*Payback*) foi de três anos.

O avanço sucroenergético sustentável exige uma governança territorial e hídrica integrada. Toda nova expansão da cana-de-açúcar no Médio Norte Goiano deve ocorrer estritamente sobre pastagens já degradadas, aliviando a pressão sobre os remanescentes de vegetação nativa. A gestão hídrica precisa ser sistêmica, com monitoramento contínuo de rios e dos níveis dos lençóis freáticos, viabilizando a suspensão cautelar da captação hídrica em períodos de seca extrema. É fundamental que as usinas usem circuitos fechados para reaproveitar a água industrial e minimizar a demanda sobre os corpos hídricos locais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AFFÉRRI, A.; TRENTO, E.; PINTO, R. **Como fazer um plano diretor de irrigação de canaviais**. Projeto Cana Pede Água, 2014. Disponível em: www.canapedeagua.com.br/index.php?option=com.docman&Itemid=17. Acesso em: 12 jan. 2025.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Levantamento da cana-de-açúcar irrigada na região Centro-Sul do Brasil**. Brasília, 2017.
- AMORIM, F. R. **A competitividade dos sistemas de preparo do solo e plantio de cana-de-açúcar**: uma análise dos sistemas utilizados por fornecedores e usinas no estado de São Paulo. 2019. 164 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2019.
- BATISTA, N. E. F. S.; GARRO, F. L. T.; SILVA, W. V. Indicadores de saúde ambiental e o processamento agroindustrial da cana-de-açúcar no Estado de Goiás, GO Brasil. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 12, n. 30, p. 371-392, 2025. DOI: 10.21438/rbgas(2025)123025
- BÜHLER, H. F.; HACON, S. S.; OLIVEIRA, B. F. A.; IGNOTTI, E.; TEIXEIRA, K. R.; RAMOS, A. R. S. Os impactos socioambientais e na saúde decorrente da cadeia produtiva do Etanol no centro-oeste do Brasil. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 9, n. 3, p. 10865-10884, mar., 2023. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv9n3-131>
- CASTRO, S. S.; ABDALA, K.; SILVA, A. A.; BORGES, V. M. S. A expansão da cana-de-açúcar no cerrado e no estado de Goiás: elementos para uma análise espacial do processo. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, v. 30, n. 1, p. 171-191, jan./jun. 2010. DOI: <https://doi.org/10.5216/bgg.v30i1.11203>
- CHARLES, R.; OLIVEIRA, R. C.; TORRES, G. A. L.; GRECO, R. Analysis of the environmental characteristics and impacts of agricultural production in the Western Department of the Republic of Haiti. **Geografares**, v. 37, n. 2, p. 1-20, 2023.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar. Safra 2026/27. **Primeiro Levantamento**, Brasília, DF, v. 14, n. 1, p. 1-51, 2026.
- CORTEZ, J. W.; MISSIO, C.; BARRETO, A. K. G.; SILVA, M. D.; REIS, G. N. Quality of sugarcane mechanized planting. **Journal of the Brazilian Association of Agricultural**, v. 36, n. 6, p. 1136-1144, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n6p1136-1144/2016>
- KAMAL, R.; ZAIED, T. A. A.; ALI, Y. A. Economic Impact of Drip Irrigation system on Sugarcane in Egypt. **Journal of the Austrian Society of Agricultural Economics (JASAE)**, v. 19, n. 9, p. 1925-1935, 2023.
- MAZZI, J. V. C.; SANTOS, J. A.; MAISTRO, M. C. M. Inteligência Artificial na Otimização da Produção de Cana Paulista. **Revista de Gestão e Secretariado –GeSec**, v. 16, n. 7, p. 1-18, 2025. DOI: <https://doi.org/10.7769/gesec.v16i7.5106>

MESQUITA, F. C. Evolução do aprendizado na expansão da cana-de-açúcar para Goiás: o papel dos centros de pesquisa. **Campo-Território: Revista de Geografia Agrária**, Uberlândia, v. 11, n. 22, p. 393-414, abr. 2016. DOI: 10.14393/RCT112216

PATINO, M. T. O.; AMORIM, F. R.; ANDRADE, A. G.; ALAM, M. J.; SOLFA, F. D. G. Costs of Agronomic Practices: Profitability at Different Scales of Sugarcane Production in Brazil. **International Journal of Business Administration**, v. 13, n. 5, p. 31-43, 2022. DOI: <https://doi.org/10.5430/ijba.v13n5p32>

PEREIRA, N. A.; TAVARES, M. Eficiência das principais regiões produtoras de cana-de-açúcar por meio da Análise Envoltória de Dados (DEA). **Custos e Agronegócio**, v. 13, n. Edição Especial, p. 37-70, 2017.

QUINTAM, C. P. R.; ASSUNÇÃO, G. M. Perspectivas e desafios do agronegócio brasileiro frente ao mercado internacional. **Recima21 - Revista Científica Multidisciplinar**, v. 4, n. 7, p. 1-21, 2023. DOI: <https://doi.org/10.47820/recima21.v4i7.3641>

ROCHA, L. A.; KHAN, A. S.; LIMA, P. V. P. S.; SOUSA, E. P. A importância da política de inovação no desenvolvimento da agricultura brasileira. **Estudos Sociedade e Agricultura**, v. 22, n. 1, p. 224-246, 2014.

RODRIGUES, A. D. P.; BELON, J. G. D. O. Desafios da rentabilidade. **Agroanalysis**, v. 38, n. 5, p. 31-32, 2018.

SANTOS, D. F. L.; MENDES, C. C.; FARINELLI, J. B. M.; FARINELLI, R. Viabilidade econômica e financeira na produção de cana-de-açúcar em pequenas propriedades rurais. **Custos e @gronegócio Online**, v. 12, n. 4, p. 222-254, 2016.

SANTOS, D. F. L.; SOUZA, C. A. F.; FARINELLI, J. B. M.; SILVA, B. L.; HORITA, K. Análise econômica da produção de cana-de-açúcar em diferentes pacotes tecnológicos. **Revista Estudo & Debate**, Lajeado, RS, v. 25, n. 2, p. 262-283, 2018. DOI: <https://doi.org/10.22410/issn.1983-036X.v25i2a2018.1816>

SANTOS, D. L. J. S.; FEHR, L. C. F. A.; SOUZA, L. M. G.; TAVARES, M.; SANTOS, G. C. Análise comparativa dos custos de produção da cana-de-açúcar entre as principais cidades produtoras do Brasil. **Custos e @gronegócio Online**, v. 17, n. 3, p. 135-159, 2021.

SANTOS, H. F. Fatores de expansão do setor sucroenergético no Brasil no início do século XXI. **Geografares**, v. 3, n. 36, p. 1-15, jan./jun., 2023. DOI: <https://doi.org/10.47456/geo.v3i36.41023>

SILVA, A. A.; MIZIARA, F. Avanço do setor sucroalcooleiro e expansão da fronteira agrícola em Goiás. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 3, p. 399-407, jul./set. 2011. DOI: <https://doi.org/10.5216/pat.v41i3.11054>

SOUSA, I. F.; BORGES, J. R. P. **Impactos socioambientais da produção canavieira sob a ótica de pequenos produtores assentados**. Uniara, 2010. Disponível em: https://www.uniara.com.br/legado/nupedor/nupedor_2010/00%20textos/sessao_3A/03A-07.pdf. Acesso em: 25 jan. 2025.

TEIXEIRA, R. A.; COUTO, M. S. D. S. Análise dos impactos socioeconômicos e ambientais da expansão da cana-de-açúcar na bacia do Rio Meia Ponte, Goiás. **Revista Terceiro Incluído**, v. 3, n. 1, p. 128-143, 2013. DOI: <https://doi.org/10.5216/teri.v3i1.27336>

WISSMANN, M. A.; SHIKIDA, P. F. A. Impactos econômicos, ambientais e sociais da agroindústria canavieira no Brasil. **Revista Desenvolvimento, Fronteiras e Cidadania**, Ponta Porã, MS, v. 1, n. 1, p. 134-160, 2017.

YARA BRASIL. **Quem são os maiores produtores de cana-de-açúcar?** 2023. Disponível em: <https://www.yarabrasil.com.br/conteudo-agronomico/blog/producao-mundial-de-cana-de-acucar/>. Acesso em: 23 jan. 2025.

ZAMBIANCO, W. M.; REBELATTO, D. A. do N. Análise da eficiência econômica das regiões canavieiras do Estado de São Paulo utilizando Análise Envoltória de Dados (DEA) e Índice Malmquist. **Custos e @gronegocio Online**, v. 15, n. 2, p. 376-404, abr./jun. 2019.