

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO - CAMPUS CERES
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM IRRIGAÇÃO NO CERRADO

DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DA COBERTURA E USO
DA TERRA NO CENTRO-OESTE BRASILEIRO (1985–2023):
PRESSÕES CLIMÁTICAS E ANTRÓPICAS, IMPACTOS
HÍDRICOS E IMPLICAÇÕES PARA A CONSERVAÇÃO

Autor: Mateus Rodrigues Ferreira

Orientador: Prof. Dr. Jhon Lennon Bezerra da Silva

Coorientador: Prof. Dr. Antonio Evami Cavalcante Sousa

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO - CAMPUS CERES
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM IRRIGAÇÃO NO CERRADO

DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DA COBERTURA E USO
DA TERRA NO CENTRO-OESTE BRASILEIRO (1985–2023):
PRESSÕES CLIMÁTICAS E ANTRÓPICAS, IMPACTOS
HÍDRICOS E IMPLICAÇÕES PARA A CONSERVAÇÃO

Autor: Mateus Rodrigues Ferreira

Orientador: Prof. Dr. Jhon Lennon Bezerra da Silva

Coorientador: Prof. Dr. Antonio Evami Cavalcante Sousa

Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM IRRIGAÇÃO NO CERRADO, ao Programa de Pós-Graduação em Irrigação no Cerrado do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Ceres – Área de Concentração: Irrigação.

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema Integrado de Bibliotecas do IF Goiano - SIBi**

M425r rodrigues ferreira, mateus
DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DA COBERTURA E USO
DA TERRA NO CENTRO-OESTE BRASILEIRO (1985–2023):
PRESSÕES CLIMÁTICAS E ANTRÓPICAS, IMPACTOS
HÍDRICOS E IMPLICAÇÕES PARA A CONSERVAÇÃO /
mateus rodrigues ferreira. Ceres 2026.

96f. il.

Orientador: Prof. Dr. Jhon Lennon Bezerra da Silva.

Coorientador: Prof. Dr. Antonio Evami Cavalcante Sousa.

Monografia (Mestre) - Instituto Federal Goiano, curso de
0333064 - Mestrado Profissional em Irrigação no Cerrado -
Ceres (Campus Ceres).

1. Centro-Oeste brasileiro. 2. Recursos hídricos. 3.
Sensoriamento remoto. 4. Tendências temporais. 5. Uso e
cobertura da terra. I. Título.

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO

PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS

NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

Tese (doutorado)
☒ Dissertação (mestrado)
Monografia (especialização)
TCC (graduação)

Artigo científico
Capítulo de livro
Livro
Trabalho apresentado em evento

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Mateus Rodrigues Ferreira

Matrícula:

2024103330640002

Título do trabalho:

DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DA COBERTURA E USO DA TERRA NO CENTRO-OESTE BRASILEIRO (1985–2023):
PRESSÕES CLIMÁTICAS E ANTRÓPICAS, IMPACTOS HÍDRICOS E IMPLICAÇÕES PARA A CONSERVAÇÃO

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: ☒ Não ☐ Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 24 / 03 / 2026

O documento está sujeito a registro de patente? ☐ Sim ☒ Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? ☐ Sim ☒ Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

ceres
Local

16 / 03 / 2026
Data

Mateus Rodrigues Ferreira

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Jhon Lennon Bezerra da Silva

Assinatura do(a) orientador(a)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 19/2025 - CCMIC-CE/GPPI/CMPCE/IFGOIANO

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Aos 24 dias do mês de setembro do ano de dois mil e vinte cinco, realizou-se a Defesa de Dissertação do acadêmico **Mateus Rodrigues Ferreira** do Curso de Mestrado Profissional em Irrigação no Cerrado, número de defesa 077, matrícula 2024103330640002, RG [REDACTED] CPF [REDACTED], cuja dissertação intitula-se **'Dinâmica espaço-temporal da cobertura e uso da terra no Centro-Oeste brasileiro (1985–2023): pressões climáticas e antrópicas, impactos hídricos e implicações para a conservação'**. A defesa iniciou-se às **9:00** horas, finalizando-se às **11** horas e **15** minutos, onde a banca examinadora considerou o trabalho **APROVADO**, estando apto para fins de conclusão da Dissertação, devendo o acadêmico apresentar no prazo de sessenta (60) dias a versão final corrigida conforme considerações da banca, em formato digital (PDF), acompanhado do termo de autorização para publicação eletrônica (devidamente assinado pelo autor), para posterior inserção no Sistema de Gerenciamento do Acervo e acesso ao usuário via internet. Os integrantes da banca examinadora assinam a presente ata.

Prof. Dr. Jhon Lennon Bezerra da Silva

Presidente da banca

IF Goiano - Campus Ceres

Prof. Dr. Henrique Fonseca Elias de Oliveira

Avaliador Interno

IF Goiano - Campus Ceres

Prof. Dr. Marcos Vinícius da Silva

Avaliador Externo

Universidade Federal do Maranhão - Campus Chapadinha

Documento assinado eletronicamente por:

- **Jhon Lennon Bezerra da Silva**, PROF ENS BAS TEC TECNOLOGICO - VISITANTE, em 24/09/2025 11:19:47.
- **Henrique Fonseca Elias de Oliveira**, GERENTE - CD0004 - GPPI/CMPCE, em 24/09/2025 11:28:27.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 25/08/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 735920

Código de Autenticação: 28f49656d3



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Ceres

Rodovia GO-154, Km 03, SN, Zona Rural, CERES / GO, CEP 76300-000

(62) 3307-7100

A Deus, pela força, sabedoria e a vida.
Aos meus pais, pela base e o amor. Aos
meus professores, pelo conhecimento e
dedicação. Aos meus amigos, pela
companhia e momentos compartilhados.
A todos, minha eterna gratidão.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Nem parece realidade, mas este momento finalmente chegou. Olhar para trás e perceber que a jornada se completa traz a certeza de que ninguém caminha sozinho; esta conquista é o reflexo da parceria e do apoio de muitas mãos e corações.

Primeiramente, agradeço a Deus, por ter sido minha fonte de força, sabedoria e tranquilidade nos momentos de incerteza, revelando caminhos quando as alternativas pareciam escassas. Aos meus pais, Messias e Marinez, dedico este trabalho com imensa gratidão. Obrigado por cada sacrifício, pela torcida infinita de minha irmã Mônica e por acreditarem no meu potencial, muitas vezes, mais do que eu mesmo. Esta vitória é, genuinamente, nossa.

No âmbito acadêmico, expresso meu profundo agradecimento ao meu orientador, Jhon Lennon. Sua paciência, orientações assertivas e dedicação foram fundamentais para que esta pesquisa saísse do papel; você foi um verdadeiro mestre. Ao professor Antonio Evami, estendo meu obrigado pela parceria na coorientação e pelo apoio constante, cuja ajuda foi vital nesta caminhada. Agradeço também aos demais professores e servidores do Instituto Federal Goiano – Campus Ceres, por quem guardo profundo respeito e admiração pelos ensinamentos compartilhados ao longo do curso.

Aos colegas e amigos que estiveram presentes com palavras de incentivo, meu carinho especial. Em particular, aos meus parceiros de pós-graduação, Valdivino Aparecido, Carlos Santos e Mauro Lemes: nossas conversas, estudos e até os momentos de desespero compartilhado entre “um café, um energético, um queijo” e outro foram o combustível necessário para prosseguir. Tamo junto, futuros mestres!

A viabilização técnica desta pesquisa deve-se, em grande parte, ao suporte das plataformas de dados de acesso aberto, como o MapBiomas, o Google Earth Engine e o Projeto R para computação estatística, cujas ferramentas e bancos de dados foram essenciais. Da mesma forma, agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Irrigação do Cerrado (PPGIC) e ao Laboratório de Tecnologias de Irrigação (Lab.TI) pelo apoio tecnológico de ponta.

O desenvolvimento deste estudo contou com o imprescindível apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG), aos quais manifesto meu reconhecimento. Agradeço, ainda, aos membros da banca examinadora pelas relevantes considerações, que foram cruciais para moldar e elevar o impacto desta dissertação.

Por fim, agradeço ao Instituto Federal Goiano – Campus Ceres pela presteza, estrutura e acolhimento. Esta instituição foi minha casa e proporcionou o ambiente fértil necessário para que eu chegasse até aqui com êxito.

*“Não há assunto tão velho que não possa
ser dito algo de novo sobre ele”.*

Fiódor Dostoiévski

BIOGRAFIA

Mateus Rodrigues Ferreira é natural de Goiás. Possui graduação em Engenharia de Produção (2018) pela Faculdade Anhanguera e em Matemática (2021) pela Uninter. Especialista em Gestão da Qualidade (Uniderp, 2019), possui também especializações em Gestão e Tecnologia (2021) e em Metodologia do Ensino de Matemática e Física (2022).

Com sólida experiência no setor produtivo, atuou entre 2014 e 2020 em funções de gestão de produção na indústria moveleira, auditoria interna em centros de distribuição e consultoria administrativa e financeira. No campo da educação, atua desde 2019 como docente nos níveis de Ensino Médio, Técnico e Superior, com passagens por instituições como a Rede Estadual de Goiás, Rede COTEC/ITEGO, Instituto Mix e programas como Pronatec e Novos Caminhos, lecionando em eixos de Matemática, Administração, Edificações e Informática.

Em 2024 ingressou no Programa de Pós-Graduação em Irrigação no Cerrado do Instituto Federal Goiano – Campus Ceres, realizando sua defesa em setembro de 2025. Sua linha de pesquisa concentra-se na dinâmica espaço-temporal da cobertura e uso da terra no Centro-Oeste brasileiro, analisando pressões climáticas e antrópicas e seus impactos hídricos para a conservação ambiental (1985-2023).

RESUMO

MATEUS RODRIGUES FERREIRA. Instituto Federal Goiano – Campus Ceres – GO, setembro de 2025. **Dinâmica espaço-temporal da cobertura e uso da terra no centro-oeste brasileiro (1985–2023):** pressões climáticas e antrópicas, impactos hídricos e implicações para a conservação. Orientador: Prof. Dr. Jhon Lennon Bezerra da Silva. Coorientador: Prof. Dr. Antonio Evami Cavalcante Sousa.

A presente pesquisa aborda a dinâmica espaço-temporal da cobertura e uso da terra (LULC) no Centro-Oeste brasileiro, abrangendo os estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás, no período de 1985 a 2023. A pesquisa teve como objetivo identificar padrões de conversão entre classes de uso, avaliar tendências temporais e explorar as implicações dessas mudanças sobre os recursos hídricos e a sustentabilidade regional. Para tanto, foram utilizadas séries históricas *Landsat* harmonizadas com o produto MapBiomas (Coleção 9), processadas em ambiente *Google Earth Engine*, e aplicados testes estatísticos de tendência (*Mann–Kendall e Sen's Slope*) com desagregação estadual. Os resultados evidenciaram a conversão acelerada de formações naturais em atividades agropecuárias, silviculturais e agrícolas, resultando em expressiva redução das áreas de floresta e recursos hídricos. O Mato Grosso apresentou forte expansão agrícola e de pastagem, enquanto o Mato Grosso do Sul registrou elevada perda florestal associada ao avanço da silvicultura. Já Goiás apresentou aumento expressivo da agricultura, com oscilações nas áreas hídricas vinculadas tanto a reservatórios quanto à variabilidade climática. A análise estatística revelou tendências significativas, com coeficientes de “Sen” indicando taxas anuais negativas para florestas e recursos hídricos e positivas para pastagem e agricultura, muitas vezes com níveis de significância de 99% ($p < 0,01$). Apesar das limitações inerentes ao uso de produtos de sensoriamento remoto e ao caráter estatístico das análises, os achados reforçam a urgência de políticas de conservação e gestão hídrica, sobretudo em função da intensificação das pressões antrópicas e

climáticas. Em termos aplicados, os resultados podem subsidiar o ordenamento territorial, a definição de metas de restauração e a formulação de instrumentos de gestão hídrica diferenciados por estado. A pesquisa também aponta a necessidade de integração entre séries históricas de satélite, modelagem hidrológica processual e validação em campo para fortalecer a base científica das recomendações futuras.

Palavras-chave: Centro-Oeste brasileiro. Recursos hídricos. Sensoriamento remoto. Tendências temporais. Uso e cobertura da terra.

ABSTRACT

MATEUS RODRIGUES FERREIRA. Goiano Federal Institute, Ceres Campus, Goiás State (GO), Brazil. September 2025. **Spatiotemporal dynamics of land use and land cover in the Brazilian Midwest (1985–2023):** climatic and anthropogenic pressures, hydrological impacts, and implications for conservation. Advisor: Prof. Dr. Jhon Lennon Bezerra da Silva. Co-advisor: Prof. Dr. Antonio Evami Cavalcante Sousa.

This study addresses the spatiotemporal dynamics of land use and land cover (LULC) in the Brazilian Midwest, encompassing the states of Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, and Goiás from 1985 to 2023. The main objectives were to identify conversion patterns among land use classes, assess temporal trends, and explore the implications of these changes, regarding water resources and regional sustainability. Historical Landsat series harmonized with the MapBiomas dataset (Collection 9) were processed in the Google Earth Engine environment with statistical trend tests (Mann–Kendall and Sen’s Slope) applied at the state level. The results showed accelerated conversion of natural formations into agricultural, silvicultural, and livestock activities, resulting in a significant reduction of forest areas and water resources. Mato Grosso State exhibited strong expansion of agricultural and pastureland, while Mato Grosso do Sul State recorded substantial forest loss associated with silvicultural growth. Goiás State presented an expressive increase in agriculture oscillating in water areas associated with both reservoirs and climatic variability. Statistical analyses showed significant trends with Sen’s slope coefficients indicating negative annual rates for forests and water resources, and positive rates for pasture and agriculture, often at a 99% confidence level ($p < 0.01$). Despite the inherent limitations in the use of remote sensing products and the statistical nature of the analyses, the findings underscore the urgency of conservation and water management policies, especially in light of intensified anthropogenic and climatic pressures. In practical terms, the results may support land-use planning, the definition of restoration targets, and the

formulation of water management instruments tailored to each state. This study also highlights the need to integrate historical satellite series, process-based hydrological modeling, and field validation to strengthen the scientific foundation of future recommendations.

Keywords: Brazilian Midwest. Land use and land cover. Remote sensing. Temporal trends. Water resource.

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 - Localização espacial da Região Centro-Oeste do Brasil, destacando mais especificamente os estados do Mato Grosso, Goiás e Mato Grosso do Sul.	12
Figura 2 - Distribuição da tendência temporal para a classe Floresta na região Centro-Oeste do Brasil, entre 1985-2023.....	25
Figura 3 - Distribuição da tendência temporal para a classe Vegetação Arbustiva na região Centro-Oeste do Brasil, entre 1985-2023.	26
Figura 4 - Convergência de dados da cobertura e uso da terra para o Centro-Oeste (Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul) usando o método de Sen 's Slope, entre 1985 e 2023.	26
Figura 5 - Distribuição da tendência temporal para a classe Corpos Hídricos na região Centro-Oeste do Brasil, entre 1985-2023.	27
Figura 6 - Distribuição da tendência temporal para a classe Pastagem na região Centro-Oeste do Brasil, entre (1985-2023).	28
Figura 7 - Distribuição da tendência temporal para a classe Agricultura (A), com destaque para as culturas da Soja (B) e Cana (C) na região Centro-Oeste do Brasil, entre 1985-2023.	30
Figura 8 - Distribuição da tendência temporal para a classe geral de Lavoura Temporária (A), dinâmica de ocupação territorial para classe outras lavouras temporárias (B), na região Centro-Oeste do Brasil, entre 1985-2023).	31
Figura 9 - Distribuição da tendência temporal para a classe geral de Lavoura Perene na região Centro-Oeste do Brasil, entre 1985-2023.	31
Figura 10 - Distribuição da tendência temporal para as classes de Silvicultura (A) e Área não vegetada (B) na região Centro-Oeste do Brasil, entre 1985-2023.	32

Figura 11 - Dinâmica espaço-temporal da cobertura e uso da terra do estado do Mato Grosso, com base na Coleção 9 do Map Biomas, entre 1985 e 2023..	34
Figura 12 - Convergência dos dados da cobertura e uso da terra para o estado do Mato Grosso usando o método de Sen's Slope, entre 1985 e 2023	35
Figura 13 - Distribuição da tendência temporal para a classe Floresta (A) e Dinâmica de ocupação territorial para a subclasse floresta alagável (B), no estado do Mato Grosso, entre 1985-2023.	36
Figura 14 - Distribuição da tendência temporal para a classe Vegetação Arbustiva no estado do Mato Grosso, entre 1985-2023.	36
Figura 15 - Distribuição da tendência temporal para as classes Mosaico de Usos (A) e Corpos Hídricos (B) no estado do Mato Grosso, entre 1985-2023.	37
Figura 16 - Distribuição da tendência temporal para a classe Agricultura (A), com destaque para as culturas da Soja (B), Cana (C) e Dinâmica de ocupação territorial de outras lavouras temporárias (D) no estado do Mato Grosso, entre 1985-2023.	38
Figura 17 - Distribuição da tendência temporal para a classe Silvicultura (A) e Área não vegetada (B) no estado do Mato Grosso, entre 1985-2023.	40
Figura 18 - Dinâmica espaço-temporal da cobertura e uso da terra do estado de Goiás, com base na Coleção 9 do Map Biomas, entre 1985 e 2023.	41
Figura 19 - Convergência dos dados da cobertura e uso da terra para o estado de Goiás usando o método de Sen 's Slope, entre 1985 e 2023..	42
Figura 20 – Adaptado - Gráfico Climatológico comparativo de Goiás (1961-2020): precipitação acumulada (mm) pela estação (Goiás 83374) - INMET (instituto nacional de meteorologia).	43
Figura 21 - Distribuição da tendência temporal para a classe Corpos Hídricos no estado de Goiás, entre 1985-2023.	44
Figura 22 - Distribuição da tendência temporal para a classe Agropecuária (A) e Pastagem (B) no estado de Goiás, entre 1985-2023.	45
Figura 23 - Distribuição da tendência temporal para a classe Agricultura (A), com destaque para as culturas da Soja (B), Cana (C) e outras lavouras temporárias com a Dinâmica de ocupação territorial (D) no estado de Goiás, entre 1985-2023.	47

Figura 24 - Distribuição da tendência temporal para a classe Lavoura Perene (A), Silvicultura (B) e Mosaico de Usos (C) no estado de Goiás, entre 1985-2023.	48
Figura 25 - Distribuição da tendência temporal para a classe Floresta (A) e Dinâmica de ocupação territorial Classe Floresta e suas subclasses F. Florestal e F. Savânica (B) no estado de Goiás, entre 1985-2023.....	49
Figura 26 - (A) Distribuição da tendência temporal para a classe Vegetação Arbustiva e (B) Dinâmica de ocupação territorial das subclasses (classe vegetação arbustiva e herbáceas) e suas subdivisões, ambas no estado de Goiás entre 1985-2023.	50
Figura 27 - Dinâmica espaço-temporal da cobertura e uso da terra do estado do Mato Grosso do Sul, com base na Coleção 9 do Map Biomas, entre 1985 e 2023.	51
Figura 28 - Convergência dos dados da cobertura e uso da terra para o estado do Mato Grosso do Sul usando o método de Sen's Slope, entre 1985 e 2023	53
Figura 29 - Distribuição da tendência temporal para a classe Floresta (A) e Dinâmica de ocupação territorial das subclasses Formação Florestal e Formação Savânica (B) no estado do Mato Grosso do Sul, entre 1985-2023.....	54
Figura 30 - Distribuição da tendência temporal para a classe Agropecuária no estado do Mato Grosso do Sul, entre 1985-2023.	55
Figura 31 - Distribuição da tendência temporal para a classe Agricultura (A), Lavoura Temporária (B), Soja (C) e Cana de açúcar (D) no estado do Mato Grosso do Sul, entre 1985-2023.	57
Figura 32 - Distribuição da tendência temporal para a classe Mosaico de Usos, no estado do Mato Grosso do Sul, entre 1985-2023.....	58
Figura 33 - Distribuição da tendência temporal para a classe Pastagem (A) e Silvicultura (B), no estado do Mato Grosso do Sul, entre 1985-2023.....	60
Figura 34 - Distribuição da tendência temporal para a classe Corpos Hídricos no estado do Mato Grosso do Sul, entre 1985-2023.....	61
Figura 35 - Distribuição da tendência temporal para a classe Vegetação Arbustiva (A) e Dinâmica de ocupação territorial das subclasses (C.A, F.C e A.R) da Classe Vegetação Arbustiva e Herbácea (B) no estado do Mato Grosso do Sul, entre 1985-2023.	62

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1 - Níveis de mapeamento das classes da cobertura e uso da terra com base na oleção 9.....	13
Tabela 2 - Bandas multiespectrais dos sensores TM, ETM+ e OLI/TIRS utilizadas no processo base da classificação LULC	17
Tabela 3 - Índices espectrais e variáveis preditoras utilizadas no processo base da classificação LULC	17
Tabela 4 - Análise de tendência temporal pelos testes de Mann-Kendell e Sen's Slope aplicados para a região Centro-Oeste do Brasil (Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul) de 1985 até 2023.....	24
Tabela 5 - Análise de tendência temporal pelos testes de Mann-Kendell e Sen's Slope, aplicados para o estado do Mato Grosso entre 1985 e 2023.	32
Tabela 6 - Análise de tendência temporal pelos testes de Mann-Kendell e Sen 's Slope , aplicados para o estado de Goiás, entre 1985 e 2023.....	42
Tabela 7 - Análise de tendência temporal pelos testes de Mann-Kendell e Sens' Slope , aplicados para o estado de Mato Grosso do Sul, entre 1985 e 2023.	52

SUMÁRIO

	Página
1	INTRODUÇÃO 1
2	MATERIAL E MÉTODOS 12
2.1	Caracterização da área de estudo..... 12
2.2	Mapeamento e Classificação da LULC 13
2.2.1	Etapas do processamento das classes 6
2.2.2	Validação da classificação LULC..... 8
2.2.3	Métricas de informações e redutores estatísticos..... 9
2.2.4	Teste de Mann-Kendall e Sen's slope na LULC..... 11
2.3	Processamentod digital em nuvem: <i>Google Earth Engine</i>..... 21
2.4	Análises estatísticas 15
2.5	LULC: monitoramento e o impacto das ações antrópicas 4
2.5.1	Ações antrópicas e os recursos hídricos..... 18
2.5.1.1	<i>Políticas públicas e a segurança hídrica</i> 20
2.5.2	Vulnerabilidade climática e choques socioeconômicos..... 21
2.6	Centro-Oeste (1985-2023) 22
2.7	Mato Grosso (1985-2023) 32
2.8	GOIÁS (1985-2023) 40
2.9	Mato Grosso do Sul (1985-2023) 50
3	CONSIDERAÇÕES FINAIS 63
3.1	Delimitações e condicionantes da pesquisa 66
	REFERÊNCIAS 68

1 INTRODUÇÃO

A dinâmica envolvendo reorganização e transformações da cobertura e uso da terra constitui um determinante central da sustentabilidade ambiental, compreensão de fatores climáticos e da segurança hídrica em diversas escalas, desde o nível local (municipal e estadual) até o global (país, continente), onde a magnitude e a natureza desses impactos variam conforme a finalidade do estudo. Em âmbito global, a literatura salientou que riscos climáticos tendem a acumular-se e interagir, ampliando impactos sobre recursos hídricos, produção de alimentos e infraestrutura, o que exige políticas integradas de mitigação, adaptação e ordenamento territorial (Mendes, P. *et al.*, 2022). Inserida nesse quadro teórico, a presente pesquisa investiga a dinâmica espaço-temporal da cobertura e uso da terra no Centro-Oeste brasileiro (1985–2023), focalizando as pressões antrópicas e climáticas, suas implicações hidrológicas e as consequências para conservação e gestão territorial.

Ao trabalhar com séries longas (1985-2023), é igualmente imprescindível reconhecer a heterogeneidade temporal dos vetores de mudança: fases distintas de expansão, consolidação tecnológica e reorganização produtiva podem se sobrepor regionalmente e gerar sinais diversos nas séries hidrológicas. Para separar, na medida do possível, os efeitos do clima daqueles diretamente induzidos pela alteração da cobertura do solo, recorreu-se à combinação de análises estatísticas de tendência (por exemplo analisar os resultados de *Mann–Kendall*, *P-value*, *TAU* e *Sen's slope*) com modelagem espacial de transição e testes de sensibilidade que condicionem os resultados a cenários climáticos observados e a séries instrumentais locais. Essa mesclagem metodológica reduz o risco de atribuições simplistas e permite identificar sub-regiões onde existe coerência temporal e espacial entre perda/ganho de vegetação, redução/expansão de corpos d'água e variações nas vazões de base ou em extremos (Barcelos; Costa, L; Jikimura, 2023; Stríkis *et al.*, 2024).

O Centro-Oeste configura-se como fronteira agrícola de elevada relevância

nacional e, simultaneamente, área de elevada sensibilidade ambiental. Estudos regionais mostram que a expansão mecanizada da agricultura e a intensificação de usos (soja, milho, algodão, além de silvicultura comercial) promoveram conversões substanciais de vegetação nativa e reorganizaram a matriz de pastagens, com repercussões diretas sobre processos hidrológicos e serviços ecossistêmicos (Cruz, J. *et al.*, 2023; Espíndola *et al.*, 2021). Essas dinâmicas são condicionadas por fatores socioeconômicos (preço da terra, infraestrutura logística, arranjos produtivos) e por características edafoclimáticas locais, o que demanda análises que combinem evidência espacial, temporal e institucional.

Paralelamente, evidências paleoclimáticas e séries instrumentais têm indicado aumento da variabilidade hidrológica e episódios extremos mais frequentes no Cerrado e entorno, o que potencializa vulnerabilidades já existentes decorrentes de mudanças de uso do solo. Reconstruções baseadas em espeleotemas apontam para intensificação recente de secas em escala sem precedentes nas últimas décadas no Centro-Oeste, evidenciando a interação entre aquecimento global e perturbações antrópicas (Stríkis *et al.*, 2024). Em nível regional, análises multianuais (1985–2023) sinalizam dinâmicas altamente voláteis das áreas de recursos hídricos, com tendências negativas espacialmente relevantes que exigem investigação integrada de causas (clima versus mudança de cobertura) e de respostas institucionais (outorgas, enquadramentos ambientais) (Barcelos; Costa, L; Jikimura, 2023; Sumbulero *et al.*, 2025).

Além dos impactos biofísicos, a literatura recente chama atenção para as dimensões socioculturais das transformações na paisagem, segundo os autores Tarolli *et al.* (2025) reforçam que as alterações induzidas pelo clima e pelo uso do solo podem erodir práticas culturais e paisagens alimentares tradicionais — evidência ilustrada por estudos de sistemas agrícolas tradicionais (ex.: terraços, deltas) — e defendem que avaliações de mudança da paisagem integrem indicadores socioculturais e estratégias baseadas em conhecimento local para soluções baseadas na natureza. Essa perspectiva reforça a necessidade de uma abordagem multidimensional na análise de LULC: além de caracterizar padrões espaciais e tendências, é imprescindível considerar consequências para modos de vida, identidade cultural e governança dos recursos.

Metodologicamente, avanços em sensoriamento remoto e modelagem espacial permitem abordar as exigências acima. Fluxos de trabalho replicáveis em Google Earth Engine (GEE), séries temporais Landsat (MSS/TM/ETM+/OLI) harmonizadas e produtos de referência (p.ex. *MapBiomas*) possibilitam mapear décadas de transformação com consistência e comparabilidade. Índices espectrais (NDVI, NDWI/MNDWI, NDBI),

medidas térmicas (LST), classificadores robustos (Random Forest, SVM) e modelos de transição (Markov, CA-ANN/CA-Markov) têm sido aplicados com sucesso para quantificar conversões de cobertura, detectar corpos d'água e prever cenários futuros, desde que acompanhados de validação rigorosa (matriz de confusão, Overall Accuracy, Kappa) e análise de incerteza (Farhan *et al.*, 2024; Naeem *et al.*, 2025; Silva, Marcos *et al.*, 2022; Singh; Saritha; Pande, 2024). Estudos de caso demonstram também a utilidade de combinar índices ópticos e térmicos para associar mudanças de cobertura a alterações de microclima e a vulnerabilidades hidrológicas.

Do ponto de vista socioambiental, a interpretação dos resultados precisa ultrapassar a mera quantificação de hectares convertidos e incorporar dimensões de vulnerabilidade e governança. Mudanças na paisagem afetam provisão de água, regulação de cheias, sequestro de carbono e, sobretudo, meios de subsistência e práticas culturais associadas ao uso tradicional da terra; daí a importância de articular dados espaciais com informações socioeconômicas, regimes de outorga e práticas locais de manejo (Tarolli *et al.*, 2025). Esse olhar integrado facilita a identificação de zonas prioritárias para intervenções com base em natureza como, por exemplo, corredores de conservação, áreas de recarga hídrica e medidas de incremento da infiltração e orientam alternativas de ordenamento que conciliam produção e resiliência.

Em termos de aplicabilidade, os resultados esperados deste estudo podem fornecer subsídios operacionais para a gestão de recursos hídricos e o planejamento territorial: desde o aprimoramento de critérios para concessões de uso da água até a definição de metas de restauração e conservação estaduais diferenciadas. Entretanto, é preciso explicitar que recomendações de política devem ser formuladas com prudência, levando em conta as margens de erro dos mapas da cobertura da terra e a variabilidade interanual natural do sistema climático. Comunicar essas incertezas de maneira transparente é parte integrante do processo científico e aumenta a utilidade dos resultados e os apontamentos da pesquisa. Diante do quadro descrito, o presente trabalho propõe uma investigação que integra mapeamento multitemporal (*Landsat/GEE/Map Biomas*), testes de tendência desagregados por estado, validação local rigorosa e modelagem de transição para explorar interações entre pressões antrópicas e variabilidade climática no Centro-Oeste (1985–2023). O intuito é oferecer não apenas diagnósticos espaciais de mudança, mas também uma avaliação crítica das relações entre os diferentes usos da terra e indicadores hidrológicos, de forma a orientar estratégias de conservação e gestão territorial que sejam tecnicamente embasadas e sensíveis às especificidades estaduais.

1.1 LULC: monitoramento e o impacto das ações antrópicas

O uso de tecnologias de monitoramento remoto para quantificar ações antrópicas e seus impactos cresce à medida que a tecnologia se expande e sua confiabilidade é comprovada em pesquisas em inúmeras regiões do mundo. O Sensoriamento Remoto (SR) e as geotecnologias constituem ferramentas indispensáveis para o monitoramento e gestão ambiental, especialmente em contextos de vulnerabilidade climática e pressão antrópica. Em uma perspectiva de grande escala, o SR orbital, como as séries Landsat e os produtos *MapBiomas*, permite a quantificação precisa da dinâmica de Uso e Cobertura da Terra (LULC) (Campos *et al.*, 2026; Silva, John *et al.*, 2025), essencial para avaliar a eficácia de políticas públicas de sustentabilidade agrícola e a transformação positiva de pastagens degradadas (Campos *et al.*, 2026). As geotecnologias são cruciais no diagnóstico e mitigação de processos de degradação, incluindo a identificação de áreas de alto potencial de desertificação (Cruz Neto *et al.*, 2025) e a análise de séries temporais de sedimento suspenso em rios para monitorar a erosão (Montanher; Pereira Filho; Novo, 2025). Em escala de gestão e planejamento de recursos, o SR, combinado com a Análise de Decisão Multicritério (MCDM), auxilia na identificação de Zonas de Potencial de Água Subterrânea (Swarnim; Sonker; Singh (2026)) e na locação de infraestruturas hídricas como Barragens Subterrâneas no semiárido (Sousa, J. *et al.*, 2025). Adicionalmente, tecnologias de alta resolução, como VANTs (Veículos Aéreos Não Tripulados), aprimoram a agricultura de precisão, permitindo o monitoramento detalhado de técnicas de conservação do solo e a detecção de estresse fisiológico em culturas através da Fluorescência de Clorofila Induzida pelo Sol (SIF) (Choi *et al.*, 2026; Sousa, L. *et al.*, 2025).

Em um contexto mais detalhado na Índia foi realizada uma pesquisa que concatenou técnicas geoespaciais (SIG e Sensoriamento Remoto), no qual realizou a ponderação de Fatores (Atribuir pesos de importância a diferentes critérios de entrada, como geologia, precipitação, geomorfologia e uso da terra, que influenciam a disponibilidade de água subterrânea). Esta pesquisa foi realizada por Swarnim, Sonker e Singh (2026) que demonstrou a eficácia da combinação de métodos MCDM (*Multi-Criteria Decision-Making*), como o Processo Analítico Hierárquico (AHP) e o Fator de Múltipla Influência (MIF), com técnicas de Sensoriamento Remoto e SIG. Esta abordagem robusta foi aplicada com sucesso nos distritos de *Prayagraj* e *Kaushambi*, na

Índia, integrando variáveis críticas como geologia, precipitação e uso do solo. O principal resultado é a geração de mapas GWPZ (Zonas de Potencial de Água Subterrânea) com retorno de alta confiabilidade, validados por análises da Curva ROC (*Receiver Operating Characteristics*) e AUC (*Area Under the Curve*) que fornecem subsídios cruciais para a formulação de políticas governamentais de manejo e elevação do nível freático, especialmente em contextos de intensa atividade agrícola e urbanização.

A detecção de alterações fisiológicas em plantas através da Fluorescência de Clorofila Induzida pelo Sol (SIF) é viável mesmo com sensores de resolução espectral média (MS), que oferecem maior flexibilidade de custo e operacionalidade para o monitoramento da Cobertura e Uso da Terra (LULC) em sistemas agrícolas. O estudo de Choi *et al.* (2026), realizado majoritariamente na Coreia do Sul, demonstrou que o Spectral Fitting Method (SFM) foi o único a capturar de forma confiável e estatisticamente significativa a eficiência quântica de SIF (Φ_F) em condições de estresse abiótico (DCMU) e biótico (doença da mancha parda do arroz) a partir de imagens de MS. A eficácia do SFM em minimizar o ruído inerente a essas imagens, válida esta abordagem de sensoriamento remoto para rastrear de forma robusta e em larga escala as mudanças fisiológicas induzidas por estresse, configurando um avanço crucial para o diagnóstico em tempo real e a gestão da saúde das culturas.

A dinâmica de cobertura da terra no Brasil, impulsionada por pressões antrópicas (expansão agrícola) e climáticas (variabilidade de precipitação), exerce um papel fundamental na alteração dos recursos hídricos, conforme evidenciado nos artigos analisados e os dados encontrados nessa pesquisa que trabalha em específico a região centro-oeste (Mato Grosso, Goiás e Mato Grosso do Sul). Embora os estudos não se concentrem exclusivamente no Centro-Oeste, as conclusões sobre a interconexão entre cobertura da terra e hidrologia são diretamente aplicáveis à região, que abrange o Cerrado e importantes bacias hidrográficas.

A pesquisa feita por Cruz Neto *et al.* (2025) que foca na validação do modelo *RisDes Index* (utilizando o cálculo de reflectâncias das bandas visíveis) para o monitoramento da desertificação em uma região semiárida, utilizando dados de sensoriamento remoto e técnicas de *machine learning*. Este modelo de acordo com a pesquisa demonstrou ser uma ferramenta eficaz e de baixa demanda computacional para o monitoramento da desertificação. Sua eficácia foi comprovada no Sertão Central do Brasil, abrangendo o Núcleo de Desertificação de Cabrobó, onde alcançou 100% de acurácia na identificação de áreas desertificadas, superando o desempenho de modelos

Multilayer Perceptron e igualando o *Random Forest* para essa classe específica. O modelo se notabiliza por utilizar a integração das bandas visíveis e variáveis micrometeorológicas, permitindo a detecção de dinâmicas de degradação focadas na interface solo-vegetação-atmosfera, o que é mais adequado para o contexto semiárido do que os índices de vegetação tradicionais. Em suma, o *RisDes Index* oferece um balanço estratégico, fornecendo detecção confiável da degradação com um mínimo de insumos de dados (Cruz Neto *et al.*, 2025).

De acordo com John Silva *et al.* (2025), na sua pesquisa sobre o mapeamento espaço-temporal das áreas florestais no Nordeste do Brasil identificou uma tendência de perda significativa de vegetação nativa e alteração do Balanço de Energia. Em suma na pesquisa é evidenciado a degradação ambiental e a perda de áreas florestais que contribuem diretamente para a redução da capacidade de produção e retenção de água pelas bacias hidrográficas e a mudança de cobertura da terra altera parâmetros biofísicos como o albedo (refletividade da superfície), que é um componente fundamental do balanço de energia da superfície. Essas alterações influenciam as condições climáticas e ambientais, afetando processos como a evapotranspiração e a fotossíntese, o que, em última instância, impacta o ciclo hidrológico regional.

Ainda no semiárido brasileiro outra pesquisa destaca o uso de “Veículos Aéreos Não Tripulado” (VANT) como um instrumento de sensoriamento remoto de baixo custo e alta precisão, essencial para o monitoramento detalhado da cobertura terrestre em sistemas agrícolas de conservação. O estudo de L. Sousa *et al.* (2025), realizado no semiárido brasileiro, validou o uso de VANTs e o cálculo do NDVI para avaliar a eficácia de técnicas conservacionistas, como cordões em nível e cobertura morta, no cultivo consorciado de palma forrageira irrigada com água de reuso. A capacidade da ferramenta de alta resolução de quantificar a cobertura vegetal e mapear o manejo do solo oferece uma contribuição significativa ao fornecer dados objetivos e em tempo real para a gestão sustentável dos recursos hídricos e do solo, sendo um modelo de cobertura da terra adaptativo e produtivo para regiões áridas.

Uma vertente diferente sobre o uso do sensoriamento e monitoramento pode ser encontrada em outra pesquisa que determinou a eficácia das políticas de incentivo à agricultura sustentável pode ser quantificada através do sensoriamento remoto, que atua como ferramenta essencial para monitorar o uso e cobertura da terra (LULC). O estudo de Campos *et al.* (2026), focado no Programa ABC (*LCA - Low Carbon Agriculture*) em Minas Gerais, Brasil, utilizou o sensoriamento remoto para classificar o vigor das

pastagens e demonstrou que o crédito foi estatisticamente relevante na recuperação de áreas degradadas. Entre 2013 e 2020, o recurso contribuiu para uma redução de 41% das pastagens de degradação intermediária e um aumento de 13,4% das pastagens não degradadas. A pesquisa concluiu que o crédito rural direcionado funciona como um mecanismo-chave para impulsionar a transição da cobertura e uso da terra para sistemas agrícolas mais resilientes.

1.1.1 Ações antrópicas e os recursos hídricos

O Sensoriamento Remoto (SR) e as geotecnologias estabelecem-se como ferramentas cruciais para a análise e gestão integrada dos recursos hídricos, permitindo quantificar tanto os impactos negativos quanto as melhorias induzidas pelas ações antrópicas.

Em bacias hidrográficas sob intensa atividade agrícola, o sensoriamento remoto orbital (série Landsat) revelou-se um método robusto para quantificar as dinâmicas da Concentração de Sedimentos Suspensos (SSC) e avaliar a influência da cobertura da terra em larga escala. No Sul do Brasil, o monitoramento demonstrou que a redução dominante de SSC nos rios está fortemente correlacionada à ação antrópica positiva de adoção em massa de Práticas de Agricultura de Conservação (CA/NT), evidenciando que a gestão do solo é um fator mitigador primário da erosão fluvial. O efeito das barragens também contribuiu para a redução da SSC (Montanher; Pereira Filho; Novo, 2025).

A urgência na gestão dos recursos hídricos é amplificada em regiões de escassez, exigindo que a ação antrópica se volte para estratégias resilientes. No semiárido brasileiro, a localização de soluções como as Barragens Subterrâneas (UDs) é determinada por geotecnologias e SIG, as quais mapeiam zonas ideais com base em critérios como baixa declividade e geologia favorável (Sousa, J. *et al.*, 2025).

A vulnerabilidade dos sistemas hídricos superficiais também impulsiona a busca por soluções emergenciais. Em momentos de crise, como a severa estiagem de 2021, o Serviço Geológico do Brasil – CPRM - enfatizou o papel estratégico das águas subterrâneas como reforço essencial ao abastecimento público. Em resposta à estiagem de 2021, a ação antrópica manifesta-se na exploração técnica emergencial de mananciais subterrâneos, corrigindo a dependência excessiva de águas superficiais e mitigando os impactos sociais da crise (Diniz *et al.* 2021).

Além disso, a gestão integrada exige o diagnóstico preventivo de áreas críticas. A delimitação de APPs Urbanas por meio de geotecnologias é crucial para a segurança hídrica, como evidenciado em Itumbiara, Goiás, onde a expansão urbana ameaça a conservação de nascentes e rios (Alves, O; Pasqualetto, 2025).

A pressão sobre os recursos hídricos é intensificada por eventos climáticos e pela demanda do setor agrícola. Eventos como o veranico (estiagem) ameaçam diretamente o balanço hídrico das culturas, elevando drasticamente a demanda hídrica da soja em regiões críticas como o Centro-Oeste brasileiro (Caetano *et al.*, 2023). Essa instabilidade climática reforça a necessidade de modernização da ação antrópica na agricultura. A otimização do uso de recursos hídricos é impulsionada pela Agricultura Inteligente (*Smart Farming*), que integra o sensoriamento remoto para realizar a irrigação de precisão, elevando a eficiência e a produtividade enquanto se promove a gestão otimizada da água (Agapito, 2024).

O desafio climático transcende as áreas agrícolas. As mudanças climáticas representam uma ameaça sistêmica à resiliência das regiões costeiras e marinhas do Brasil, exigindo uma ação antrópica de adaptação e políticas de gestão integradas (Miranda *et al.*, 2024). Dessa forma, a integração do sensoriamento remoto, que monitora desde a erosão do solo até o estresse das culturas e as mudanças climáticas, é o pilar técnico para direcionar a ação antrópica em prol da segurança e sustentabilidade dos recursos hídricos em todo o território nacional.

1.1.2 Políticas públicas e a segurança hídrica

A tradução da gestão hídrica eficiente em benefício social e ambiental depende diretamente de políticas públicas bem estruturadas, que utilizem o diagnóstico técnico fornecido pelas geotecnologias para direcionar investimentos e ações regulatórias. Reconhecida pela ONU como um direito fundamental, a água exige que a governança transcenda o nível federal, sendo o município uma esfera crucial, pois é onde as crises hídricas se manifestam de forma mais aguda e onde a integração da gestão de recursos hídricos com políticas de uso e ocupação do solo, meio ambiente e saneamento básico deve ser efetivada (Nicollier; Kiperstok; Bernardes, 2023; Soares; Signor, 2021).

A persistência de doenças de veiculação hídrica no Brasil é um forte indicador de que a ineficiência ou a lacuna nas políticas de saneamento e de proteção dos mananciais ainda é um desafio crítico, cujos impactos podem ser agravados por alterações

climáticas (Correia *et al.*, 2021). Paralelamente, o avanço na garantia da qualidade da água distribuída e da cobertura de abastecimento (Araujo *et al.*, 2022) exige políticas contínuas e regionalizadas, complementadas pela regulação do aproveitamento econômico das águas minerais para garantir o uso racional dos recursos subterrâneos (Assirati, 2022).

No ambiente urbano, o manejo inadequado das águas pluviais impacta a resiliência. A transição para a drenagem e o manejo sustentável de águas pluviais urbanas é uma política pública essencial, cuja adoção plena no Brasil enfrenta obstáculos (Mendes, A.; Santos, G., 2022). O fomento a práticas de manejo sustentável é fundamental, complementando a delimitação e a função das Áreas de Preservação Permanente (APPs) urbanas (Alves, O; Pasqualetto, 2025).

A gestão hídrica moderna utiliza instrumentos econômicos para promover a conservação. O Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), por exemplo, é uma ferramenta de política pública que busca gerar valor econômico a partir da proteção de ecossistemas, oferecendo incentivos a "provedores" de serviços ambientais, sendo um mecanismo crucial na gestão regional de recursos hídricos, como investigado na Região Centro-Oeste (Melges; Figueiredo; Benini, 2021).

Além disso, a crescente escassez em algumas regiões impulsiona a adoção de fontes alternativas de abastecimento, um movimento que se manifesta, inclusive, na esfera privada, com condomínios residenciais buscando soluções autônomas no Nordeste, um reflexo da necessidade de responsabilidade socioambiental frente à economia da água (Silva, Jhon *et al.*, 2025). Em regiões vulneráveis como o Semiárido brasileiro, as políticas públicas (como as direcionadas à agricultura familiar) são vitais para transformar desafios naturais em oportunidades de convivência sustentável e promover a segurança hídrica e alimentar dos cidadãos através do acesso à água para consumo e cultivo (Barboza; Lima, J., 2025).

Por fim, a articulação das políticas de desenvolvimento regional deve considerar a capacidade de suporte dos recursos hídricos locais (Silva, Josiane; Lima, J. 2021). A convergência entre o diagnóstico técnico (geotecnologias), a inovação (Agricultura Inteligente) e a governança (Políticas Públicas) é, portanto, o caminho para garantir a segurança hídrica em um contexto de intensa ação antrópica e ameaças climáticas.

1.1.3 Vulnerabilidade climática e choques socioeconômicos

Miranda *et al.* (2024) afirmam que a intensificação de extremos hidrológicos, como secas e inundações, ameaça diretamente a segurança hídrica em diversas regiões brasileiras. W. Alves, Cabral e Nascimento (2023) reiteram estudos realizados na região Centro-Oeste demonstram que a variabilidade pluviométrica em Goiás e no Distrito Federal é fortemente influenciada por fenômenos de escala global, como o El Niño Oscilação Sul (ENOS) e a Oscilação Decenal do Pacífico (ODP). A ocorrência desses eventos extremos, caracterizados por excessos ou déficits hídricos, desencadeia um "efeito cascata" que amplia a vulnerabilidade socioeconômica regional. Dessa forma, a compreensão das fases quentes e frias desses fenômenos oceânico-atmosféricos é essencial para o planejamento de estratégias que visem mitigar os choques socioeconômicos decorrentes da variabilidade climática.

Bezerra (2023) e outros estudos mostram que esses eventos produzem impactos opostos e sistêmicos no território nacional, com severas consequências para a produção agropecuária, causando instabilidade e exigindo que as políticas públicas sejam adaptadas para lidar com os impactos regionais específicos. Fabbri (2024) reforça que a urgência dessa adaptação é justificada pelas lições aprendidas com o El Niño, demandando uma reorientação do planejamento hidrológico e agrícola no país. Por exemplo, Caetano *et al.* (2023) demonstram que eventos como o veranico (estiagem) ameaçam o balanço hídrico das culturas, elevando drasticamente a demanda hídrica da soja em regiões críticas como o Centro-Oeste brasileiro. Além disso, Guido (2025) relaciona a recorrência de secas e inundações com a intensificação de queimadas induzidas pelos efeitos do El Niño e La Niña em regiões críticas como o Quadrilátero Ferrífero.

Melges, Figueiredo e Benini (2021) defendem que a implementação de modelos de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) na região Centro-Oeste exige uma reformulação de seu marco conceitual, deslocando a lógica da mera propriedade privada para a valorização do serviço ambiental como fruto do trabalho. Os autores destacam que a eficiência desses projetos é frequentemente limitada pela ausência de monitoramento rigoroso e por arranjos institucionais que falham em capturar a complexidade da gestão de recursos hídricos. Essa limitação teórica e prática reverbera diretamente na dinâmica territorial da região, uma vez que a incapacidade de precificar e proteger efetivamente os serviços ecossistêmicos agrava a exposição dos produtores e comunidades locais aos extremos climáticos. Assirati (2022) argumenta que a emergência sanitária da COVID-19 atuou como um elemento desestabilizador das agendas ambientais, corroborando a percepção de que a crise econômica derivada da pandemia fragilizou os planejamentos

estatais. Esse cenário exigiu uma readequação emergencial das políticas públicas, evidenciando que a governança hídrica e climática não pode ser dissociada das flutuações socioeconômicas e sanitárias (Assirati, 2022).

Correia *et al.* (2021) ressaltam que a falta de segurança hídrica e a ineficiência no saneamento, agravadas por alterações climáticas, aumentam a incidência de doenças de veiculação hídrica, gerando graves choques à saúde pública. A persistência da injustiça ambiental evidencia a necessidade de que o planejamento e a execução das políticas de combate à degradação e de acesso à água considerem a distribuição desigual dos benefícios e ônus. Por fim, Nicollier, Kiperstok e Bernardes (2023) afirmam que a governança que integra o planejamento de riscos climáticos com a dimensão social e territorial é crucial para a segurança hídrica e a justiça ambiental.

2.1 Caracterização da área de estudo

A área principal de estudo é a Região Centro-Oeste do Brasil, analisando especificamente os estados do Mato Grosso, Goiás e Mato Grosso do Sul. O Centro-Oeste está localizado entre as coordenadas geográficas 47°24' S e 62°42' S de latitude sul e entre 08°24' W e 23°42' W de longitude oeste (Fig. 1b). O Mato Grosso localiza-se entre as coordenadas 49°20' S e 61°35' S de latitude sul e entre 07°50' W e 16°20' W de longitude oeste (Fig. 1c). Goiás está localizado nas coordenadas 46°40' S a 52°55' S de latitude sul e de 12°55' W e 19°10' W de longitude oeste (Fig. 1d) e o Mato Grosso do Sul localiza-se entre 50°50' S e 59°10' S de latitude sul e entre 17°5' W e 23°20' W de longitude oeste (Fig. 1e).

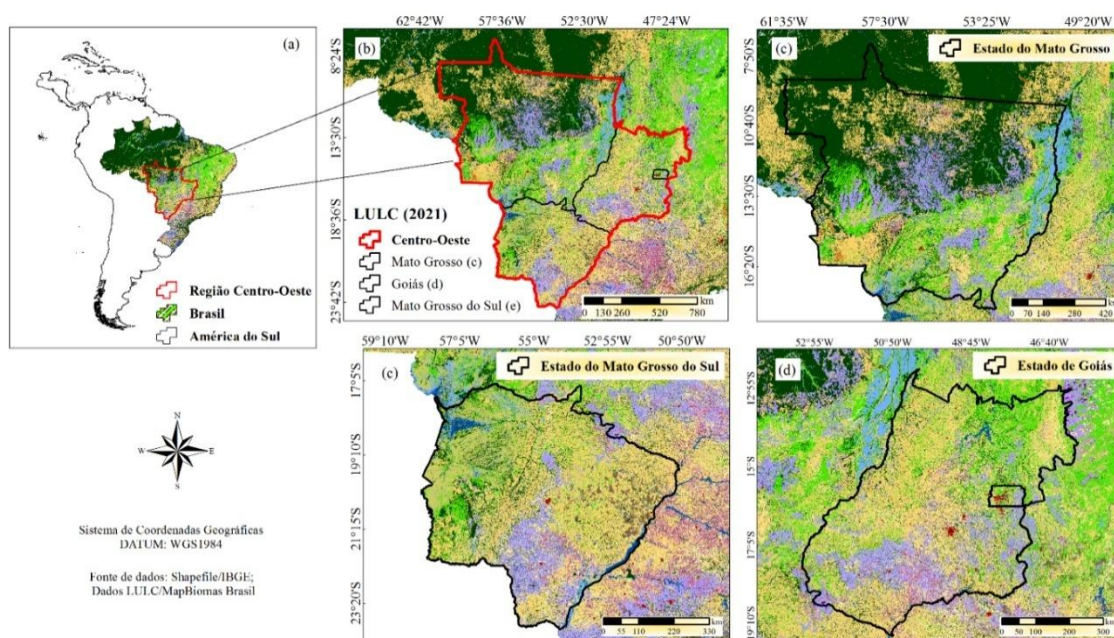


Figura 1 - Localização espacial da Região Centro-Oeste do Brasil, destacando mais especificamente os estados do Mato Grosso, Goiás e Mato Grosso do Sul

Fonte: Arquivo Pessoal (2025).

A Região Centro-Oeste possui a predominância de um clima tropical com verão seco (As) conforme a classificação climática de *Köppen*, principalmente o estado de Goiás. O Mato Grosso se divide entre os respectivos climas de inverno e verão secos (Aw e As). Já o Mato Grosso do Sul também destaca predominantemente um clima tropical com inverno e verão secos (Aw e As), bem como sem estação seca (Af) e, ainda, apresenta um clima de zona subtropical úmida, com verão quente (Cfa). A precipitação pluviométrica média anual para o Centro-Oeste gira em torno de 1.000 mm a 3.100 mm, com os maiores regimes de chuva no Mato Grosso, principalmente as regiões norte e nordeste do Estado. A temperatura média do Centro-Oeste pode variar de 20 °C a >26 °C, sendo que o Mato Grosso também apresenta as maiores temperaturas (Alvares *et al.*, 2013).

2.2 Mapeamento e classificação da LULC

2.2.1 Etapas do processamento das classes

O processo de mapeamento espaço-temporal foi realizado a partir de conjuntos de dados geoespaciais do Projeto *MapBiomass* e seu acervo digital. O produto utilizado faz referência à Coleção 9, com 29 classes mapeadas à superfície em escala de tempo anual de 1985 a 2023 (totalizando 39 anos), para toda a Região Centro-Oeste do Brasil. A Tabela 1 apresenta a divisão do mapeamento geral das classes de cobertura, destacando as classes majoritárias bem como as suas subclasses englobadas.

Tabela 1 - Níveis de mapeamento das classes da cobertura e uso da terra com base na Coleção 9

Classe majoritária	Subclasses
Floresta	Formação Florestal; Formação Savânica; Mangue; Floresta Alagável; Restinga Arbórea
Vegetação Herbácea e Arbustiva	Campo Alagado e Área Pantanosa; Formação Campestre; Apicum; Afloramento Rochoso; Restinga Herbácea
Agropecuária	Pastagem; Agricultura (Lavoura Temporária: Soja, Cana, Arroz, Algodão e Outras Lavouras Temporárias; Lavoura Perene: Café, Citrus, Dendê e Outras Lavouras Perenes); Silvicultura e Mosaico de Usos
Área não vegetada	Praia, Duna e Areal; Área Urbanizada; Mineração e Outras não vegetadas
Corpo D'água	Rio, Lago e Oceano; e, Aquicultura

Fonte: Adaptado do *MapBiomass Project* (2025).

O mapeamento é baseado em uma série de dados multitemporal do satélite *Landsat*, com imagens orbitais dos satélites *Landsat-5*, *sensor Thematic Mapper* (TM), com dados de 1985 a 2010, com a exceção dos anos de 2001 e 2002 devido a problemas

de falhas; *Landsat-7*, sensor *Enhanced Thematic Mapper* (ETM+), nos anos de 2001 e 2002, e em 2011 e 2012; *Landsat-8*, sensores *Operational Land Imager* (OLI) e *Thermal Infrared Sensor* (TIRS), no período de 2013 a 2023. Foram utilizados os dados do produto de reflectância da superfície (SR), pertencentes à Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço (*National Aeronautics and Space Administration* – NASA) e ao Serviço Geológico dos Estados Unidos (*United States Geological Survey* – USGS).

Na primeira etapa para o processo de classificação da LULC, foram gerados mosaicos anuais contendo mais de uma centena de camadas de informação, baseados nas bandas multiespectrais de imagens disponíveis nos satélites *Landsat*, que visou extrair o padrão de comportamento no espaço e no tempo em cada pixel. Destaca-se que os mosaicos são fontes de parâmetros para a classificação temática utilizando algoritmos, visando a melhor detecção de classes majoritárias como floresta, natural não florestal, agricultura, área não vegetada e água.

Na segunda etapa do processo de classificação foi definido o espaço de características, de acordo com os atributos característicos de cada uma das bandas multiespectrais dos sensores TM, ETM+ e OLI/TIRS. Com isso, foi utilizado um modelo baseado em aprendizado de máquina para treinamento de amostras em cada ano e para cada região específica. O algoritmo de classificação automática aplicado foi o *random forest* (Breiman, 2001). Baseado no conjunto de dados treinado conforme os anos fornecidos da série temporal utilizada (1985-2023), foram extraídas amostras anuais de treinamento para cada um dos biomas que envolvem a Região do Centro-Oeste (Cerrado, Amazônia, Pantanal e Mata Atlântica). Os dados de saída do algoritmo de processamento foram um mapa espacial com a classificação para cada ano. Destaca-se que algumas subclasses foram detectadas a partir de um classificador de rede neural convolucional (CNN) - U-Net, como aquicultura, apicum, mineração, irrigação, arroz e citrus.

Na terceira etapa aplicaram-se filtros espaço-temporais na classificação LULC, necessários para a remoção de ruído e para a estabilização temporal. A aplicação do filtro espacial busca aumentar a consistência espacial da LULC, a qual possui eficiência em suprimir pixels isolados e pixels de borda. Destaca-se que também a estratégia de mosaico multitemporal foi utilizada para preencher lacunas em dados de pixels ausentes, são problemas comuns principalmente no *Landsat-7* ETM+. Com isso, o preenchimento de lacunas foi implementado no início do processo de pós-classificação, atribuindo um rótulo a qualquer pixel com valor ausente com base na classificação anterior ou subsequente, conforme os processos metodológicos da USGS. Nesse contexto, ressalta-

se que a abordagem multitemporal do *MapBiomass* reduziu significativamente a dependência de uma única imagem do *Landsat-7*. O filtro temporal também foi aplicado para reduzir mudanças inconsistentes nos padrões da cobertura da terra e, além disso, visando corrigir erros em função da excessiva cobertura de nuvens.

Na quarta etapa, foi integrada cada uma das classes da cobertura da terra num só mapa anual, representando a área de estudo, região Centro-Oeste, bem como foi representado cada ano da análise espaço-temporal (1985-2023). Foram utilizadas regras de prevalência, customizadas e de vizinhança considerando as particularidades de cada um dos biomas e suas classes, devido à preocupação com a possível sobreposição de classes. Como o processo de integração pode gerar outras consequências de ruídos, novamente foi aplicada a filtragem espacial visando limpar as bordas e pixels soltos. Contudo, foram aplicadas mais de 100 regras de filtro espacial e temporal para cada pixel e em cada classe, promovendo a análise e validação ano a ano da Coleção 9 (1985-2023).

Na quinta etapa, os processos do mapeamento da cobertura terrestre foram submetidos às estatísticas zonais a partir das suas classes num total de 29, que foram mapeadas em diferentes unidades espaciais como biomas, estados e municípios. O presente estudo apresenta dados de métricas calculadas nos níveis regional e estadual.

Na sexta etapa, a classificação foi avaliada por meio de estatística de análise de acurácia bem como uma avaliação de erros e validação com pontos amostrais independentes. Para isso, foram utilizados dados de referência que compreendem a extensão territorial dos biomas Cerrado, com um total de 21.290 amostras espaciais coletadas; Amazônia, totalizando 25.258 amostras; Mata Atlântica, com 14.497 amostras; e Pantanal, com um total de 2.008 amostras espacialmente independentes.

2.2.2 Validação da classificação LULC

Em relação às amostras espaciais, foi empregada uma estratégia de amostragem estratificada considerando os níveis da junção de cartas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2023), em escala de 1:250.000, e as classes de declividade da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa, 1979). Para obtenção dos pontos de validação baseou-se nas práticas propostas por Olofsson *et al.* (2014), Stehman (2014) e Stehman e Fody (2019). Destaca-se que o tamanho amostral total estabelecido foi considerado com uma margem de erro máxima de 5%, com nível de confiança

estatístico de 95%. Assim, as amostras de referência foram rotuladas conforme a classificação de cobertura da terra e determinadas por meio de interpretações visuais utilizando a plataforma de Inspeção Visual Temporal (*Temporal Visual Inspection* – TVI) do Laboratório de Sensoriamento Remoto e SIG da Universidade Federal de Goiás (LAPIG/UFG). Nesse aspecto, foram extraídos dados do Landsat, como as composições RGB, para a coleta de amostras de treinamento e avaliação da acurácia por interpretação visual; também foram extraídos dados a partir do produto MODIS-NDVI, bem como por meio de imagens de alta resolução do Google Earth (MapBiomass Project, 2025).

Toda a qualidade do mapeamento espaço-temporal a partir dos dados de referência foi avaliada por métricas estatísticas de acurácia geral, discordância de alocação e de quantidade, como a matriz de erro populacional para estimativas da acurácia global, medida percentual da quantidade de amostras classificadas corretamente (Mapbiomas Project, 2025). As métricas foram avaliadas para cada ano, baseando-se em tabulação cruzada das contagens amostrais para as classes mapeadas e de referência, incluindo critérios de acurácia e taxa de erros de omissão e inclusão para cada classe (Ferreira Jr. *et al.*, 2025; Pontius Jr.; Millones, 2011; Stehman, 2014; Stehman; Fody, 2019). Outros detalhes relacionados às especificidades metodológicas da avaliação geral da precisão e exatidão do mapeamento da cobertura e uso da terra podem ser acessados no Documento Base Teórico do Algoritmo (*Algorithm Theoretical Basis Document* – ATBD) (MapBiomass Project, 2025).

2.2.3 Métricas de informações e redutores estatísticos

O mosaico anual contendo mais de 100 métricas de informações foi o dado de entrada característico para o real processo de classificação da LULC. A Tabela 2 destaca a princípio as características de dados base dos satélites/sensores, como as bandas multiespectrais, que foram submetidas a processos de análise estatística. Foram empregadas análises de redutores estatísticos como mínimo; mediana anual; mediana do período seco; mediana do período chuvoso e desvio padrão, sendo ambas as métricas aplicadas para cada pixel do mosaico anual. Destacando que a série de satélites *Landsat* possui uma resolução espacial de 30 m e resolução temporal de 16 dias.

Tabela 2 - Bandas multiespectrais dos sensores TM, ETM+ e OLI/TIRS utilizadas no processo base da classificação LULC

Satélite	Banda multiespectral	Descrição da banda	Comprimento de onda (µm)	Redutores estatísticos aplicados por banda
Landsat-5 TM e sat-7 ETM+	B1 (Blue)	Azul	0,45–0,52	Mínimo; Mediana anual; Mediana do período seco; Mediana do período chuvoso; Desvio padrão
	B2 (Green)	Verde	0,52–0,60	
	B3 (Red)	Vermelho	0,63–0,69	
	B4 (Near infrared – NIR)	Infravermelho próximo	0,76–0,90	
	B5 (Shortwave infrared 1–SWIR1)	Infravermelho de ondas curtas 1	1,55–1,75	
	B6 (Thermal infrared)	Infravermelho termal	10,40–12,50	
	B7 (Shortwave infrared 2–SWIR2)	Infravermelho de onda curta 2	2,08–2,35	
Landsat-8 OLI/TIRS	B2 (Blue)	Azul	0,45–0,51	Mínimo; Mediana anual; Mediana do período seco; Mediana do período chuvoso; Desvio padrão
	B3 (Green)	Verde	0,53–0,59	
	B4 (Red)	Vermelho	0,64–0,67	
	B5 (Near infrared – NIR)	Infravermelho próximo	0,85–0,88	
	B6 (Shortwave infrared 2–SWIR1)	Infravermelho de onda curta 1	1,57–1,65	
	B7 (Shortwave infrared 2–SWIR2)	Infravermelho de ondas curtas 2	2,11–2,29	
	B10 (Thermal infrared)	Infravermelho termal	10,60–11,19	

Fonte: Adaptado da USGS/NASA (2025).

Na Tabela 3 destacam-se os processos específicos da determinação de uma série de índices espectrais de vegetação, estimados em função das bandas dos satélites/sensores (Tabela 2) apresentada anteriormente. Também se destaca a determinação de outros índices e frações de variáveis preditoras que fizeram parte dos dados de entrada para classificar a cobertura da terra para toda a região do Centro-Oeste.

Tabela 3 – Índices espectrais e variáveis preditoras utilizadas no processo base da classificação LULC

(continua)

Índice espectrais	Equação do índice	Fonte	Redutores estatísticos aplicados por banda
Índice de Absorção de Celulose (Cellulose Absorption Index – CAI)	$CAI = SWIR2 / SWIR1$	Nagler <i>et al.</i> (2003)	Amplitude; Máximo; Mínimo; Mediana anual; Mediana do período seco; Mediana do período chuvoso; Desvio padrão
Índice de Vegetação Melhorado 2 (Enhanced Vegetation Index 2 – EVI 2)	$EVI\ 2 = 2,5 \times (NIR - Red) / (NIR + 2,4 \times Red + 1)$	Parente <i>et al.</i> (2018)	
Índice de Vegetação de Clorofila Verde (Green Chlorophyll Vegetation Index – GCVI)	$GCVI = (NIR / Green - 1)$	Burke <i>et al.</i> (2017)	
Cobertura de Hall (Hall Cover)	$Hall\ Cover = (-Red \times 0,017 - NIR \times 0,007 - SWIR2 \times 0,079 + 5,22)$	Hall <i>et al.</i> (2006)	
Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (Normalized Difference Vegetation Index – NDVI)	$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$	Rouse <i>et al.</i> (1974)	
Índice de Diferença Normalizada da Água (Normalized Difference Water Index – NDWI)	$NDWI = (NIR - SWIR1) / (NIR + SWIR1)$	Gao <i>et al.</i> (1996)	
Índice de Reflectância Fotoquímica (Photochemical Reflectance Index – PRI)	$PRI = (Blue - Green) / (Blue + Green)$	Gamon <i>et al.</i> (1992)	
Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (Soil-Adjusted Vegetation Index – SAVI)	$SAVI = 1,5 \times (NIR - Red) / (NIR + Red + 0,5)$	Huete <i>et al.</i> (1988)	
Fração de Vegetação Verde (Green Vegetation Fraction – GV)	GV = Abundância fracionária de vegetação verde dentro do pixel	Souza <i>et al.</i> (2005)	
Fração de Sombra da Vegetação Verde (Green Vegetation Shade Fraction – GVS)	$GVS = GV / (GV + NPV + Soil + Cloud)$	Housman <i>et al.</i> (2018)	

Tabela 3 – Índices espectrais e variáveis preditoras utilizadas no processo base da classificação LULC

(conclusão)

Índice espectrais	Equação do índice	Fonte	Redutores estatísticos aplicados por banda
Índice de Fração de Diferença Normalizada (Normalized Difference Fraction Index – NDFI)	$NDFI = (GVS - (NPV + Soil)) / (GVS + (NPV + Soil))$	Souza <i>et al.</i> (2005)	
Fração de Vegetação não Fotossintética (Non-photosynthetic Vegetation Fraction – NPV)	NPV = Abundância fracionária de vegetação não fotossintética dentro do pixel	Souza <i>et al.</i> (2005)	
Índice de Fração do Ecossistema de Savana (Savanna Ecosystem Fraction Index – SEFI)	$SEFI = (GV + NPV_S - Soil) / (GV + NPV_S + Soil)$	Alencar <i>et al.</i> (2020)	Amplitude; Máximo; Mínimo; Mediana anual; Mediana do período seco; Mediana do período chuvoso; Desvio padrão
Fração de Sombra (Shade Fraction – Shade)	$Shade = 100 - (GV + NPV + Soil + Cloud)$	Housman <i>et al.</i> (2018)	
Fração do Solo (Soil Fraction – Soil)	Soil = Abundância fracionária de solo dentro do pixel	Souza <i>et al.</i> (2005)	
Índice de Fração do Ecossistema de Zonas Úmidas (Wetland Ecosystem Fraction Index – WEFI)	$WEFI = ((GV + NPV) - (Soil + Shade)) / ((GV + NPV) + (Soil + Shade))$	Rosa (2020)	
Declividade do Terreno	Modelo digital global de superfície: 30 m	Tadono <i>et al.</i> (2014)	

Fonte: Adaptado do *MapBiomass Project* (2025).

Os processos metodológicos gerais e de desenvolvimento da produção dos mapas temáticos à superfície, bem como os modelos e algoritmos específicos de classificação para cada conjunto de dados LULC, podem ser acessados por meio do ATBD “ICCL5B” (Mapbiomas Project, 2024). Também, considerando que o bioma do Cerrado brasileiro é predominante no Centro-Oeste, os seus processos metodológicos específicos podem ser acessados no ATBD “WWCRLU” (Alencar *et al.*, 2025). Além disso, todos os detalhes específicos dos algoritmos para os processos de classificação, de aplicação dos filtros espaciais e temporais, bem como da integração dos dados e dos cálculos de estatísticas gerais estão disponibilizados no *GitHub* do *MapBiomass*.

2.2.4 Teste de Mann-Kendall e Sen’s slope na LULC

A partir dos dados quantitativos pixel a pixel dos mapas temáticos da classificação LULC, foram aplicados os testes de tendência temporal de *Mann-Kendall* e *Sen’s slope* (Kendall, 1975; Mann, 1945; Sen, 1968). A análise de tendência visou avaliar estatisticamente as tendências significativas de perda e ganho anual das classes de cobertura e uso da terra da Coleção 9 do *MapBiomass*, para a região Centro-Oeste do Brasil, bem como os testes também foram aplicados especificamente para os estados do Mato Grosso, Goiás e Mato Grosso do Sul, no período de 1985 a 2023.

Destaca-se que o teste não paramétrico de Mann-Kendall não assume uma distribuição de dados específica, mas requer dados de séries temporais consistentes. Com

isso, foi aplicado o teste da função de autocorrelação para verificar se as variáveis da série temporal utilizada eram independentes entre si (Miura; Nakaegawa, 2024; Sneyers, 1991).

Para a hipótese nula (h_0) assume-se que: não há tendência nos dados; para a hipótese alternativa (h_1) assume-se que: os dados representam uma tendência monotônica. O teste de tendência temporal de *Mann-Kendall* foi aplicado [Equação (1)] (Kendall, 1975; Mann, 1945).

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{Sgn}(x_j - x_i) \quad (1)$$

em que:

n é o número de pontos de dados;

x_i e

x_j representam os dados nas séries temporais i e j ($j > i$), respectivamente;

$\text{Sgn}(x_j - x_i)$ é definido a partir da Equação (2).

$$\text{Sgn}(x_j - x_i) = \begin{cases} +1 & \text{se } (x_j - x_i) > 0 \\ 0 & \text{se } (x_j - x_i) = 0 \\ -1 & \text{se } (x_j - x_i) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

Nesse sentido, quando o número de observações (n) é grande, a distribuição de probabilidade S converge para a distribuição normal com média zero e a variância $[\text{Var}(S)]$ é definida de acordo com a Equação (3).

$$\text{Var}(S) = \frac{[n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^q t_i(t_i-1)(2t_i+5)]}{18} \quad 3$$

em que:

n é o número do conjunto de dados;

t_i é o número de valores no i -ésimo grupo; e

q é o número de grupos contendo valores repetidos.

E, portanto, a estatística do teste de Mann-Kendall é estimada por meio do valor observado para a variável Z_{MK} , onde o valor estatístico S pode ser transformado em Z_{MK} , conforme as condições impostas na Equação (4).

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, & \text{se } S > 0 \\ 0, & \text{se } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, & \text{se } S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

em que:

o intervalo dos valores $-1,96 \leq Z_{MK} \leq 1,96$ caracteriza que não existe tendência significativa na série temporal, e aceita-se a hipótese nula (h_0).

A análise de tendência é significativa ao nível de confiança de 99% ($p < 0,01$) se $|Z_{MK}|$ for $> 2,58$ e ao nível de 95% ($p < 0,05$) se $|Z_{MK}|$ for $> 1,96$. Se o valor de Z_{MK} for positivo, indica que a série temporal possui tendência crescente e um valor de Z_{MK} negativo indica uma tendência temporal decrescente.

Considerando que as tendências temporais para as classes de dados da cobertura terrestre foram identificadas com base no valor p, além do teste de tendência temporal de *Mann-Kendall*, foram aplicados o teste não paramétrico de tendência de inclinação de Sen (*Sen's slope*) e a estatística *Tau* de *Kendall* para estimar a inclinação da tendência real em uma amostra de "n" pares de dados. O valor estatístico do Tau varia de -1 a 1 , e expressa a força e a direção da associação entre as classes LULC. Deste modo, os valores negativos indicam uma tendência decrescente e os valores positivos indicam uma tendência crescente dentro de cada classe mapeada. Na inclinação de Sen foi aplicado um modelo de estimativa de tendência linear, onde a variância nos resíduos deve permanecer constante ao longo do tempo (Sen, 1968) [Equação (5)].

$$Q_i = \left(\frac{x_j - x_k}{j - k} \right), \text{ para } i = 1, 2, 3, \dots \quad (5)$$

em que:

x_j e x_k representam os valores dados nos tempos j e k ($j > k$), respectivamente.

Para apenas um dado em cada período, considera-se $N = n(n-1)/2$, em que n é o número do período de tempo. Para múltiplas observações em um ou mais períodos de tempo, considera-se $N < n(n-1)/2$. Os valores n de Q_i são classificados do menor para o maior, e a mediana da declividade ou o estimador de inclinação de Sen é estimado [Equação (6)].

$$Q_{\text{med}} = \begin{cases} Q_{[(n+1)/2]}, & \text{se } n \text{ for ímpar} \\ \frac{Q_{[n/2]} + Q_{[(n+2)/2]}}{2}, & \text{se } n \text{ for par} \end{cases} \quad (6)$$

em que:

o sinal de Q_{med} é a tendência dos dados, e o valor é a declividade da tendência.

Para estimar se a inclinação mediana é significativamente diferente de zero, o intervalo de confiança de Q_{med} foi obtido por meio de uma probabilidade específica [Equação (7)] (Gilbert, 1987).

$$\text{Var}(S) = Z_{1-p/2} \sqrt{\text{Var}(S)} \quad (7)$$

em que:

$Z_{1-p/2}$ é obtido pela tabela de distribuição normal padrão.

Nesta pesquisa foram atribuídos os intervalos de confiança de 95% ($p < 0,05$) e 99% ($p < 0,01$), para cálculo de $M_1 = (n - C_p)/2$ e $M_2 = (n + C_p)/2$. Os limites inferiores ($Q_{\min}$) e superiores ($Q_{\max}$) do intervalo de confiança são o M_1 th maior e o $(M_2 + 1)$ th maior das estimativas de inclinação de n -ordenado, respectivamente (Gilbert, 1987). A declividade Q_{med} é significativamente diferente de zero se os limites $Q_{\min}$ e $Q_{\max}$ tiverem sinais semelhantes.

2.3 Processamento digital em nuvem: *Google Earth Engine*

O processamento de dados das principais etapas descritas, como a determinação dos índices e todo o processo de classificação da LULC, foi baseado na tecnologia de sensoriamento remoto do Google, a plataforma *Google Earth Engine* (<https://earthengine.google.com/>), que opera com uma infraestrutura de processamento digital em nuvem utilizando linguagens de programação computacional em Python. O *Google Earth Engine* (GEE) possui uma biblioteca com visualização e capacidade de análises geoespaciais em larga escala no espaço e no tempo. Para o desenvolvimento do presente estudo, foi realizado um cadastro via e-mail permitindo o acesso público como usuário de desenvolvimento científico (Gorelick *et al.*, 2017).

No software GEE, a série de imagens orbitais do *Landsat* utilizada é disponibilizada de forma gratuita. Na interface de processamento do GEE foi direcionada a série temporal do *MapBiomas* que corresponde à classificação temática da Coleção 9, utilizando o kit de ferramentas “*toolkit-lulc*”, script pré-definido dentro da plataforma e acessado na sua biblioteca. O processamento automático dos dados se destaca pela aplicabilidade de composições dos satélites *Landsat* sem a presença de nuvens e suas sombras, baseando-se em períodos específicos, que otimizou o contraste espectral e auxiliar na discriminação de classes (MapBiomas Project, 2025).

O mascaramento das nuvens e suas sombras são etapas que utilizam a banda de avaliação de qualidade (QA) e o redutor de mediana do software GEE, que visam melhorar a integridade dos dados ao indicar quais pixels podem ser afetados ou estão sujeitos à contaminação das nuvens (USGS, 2017). Os scripts específicos para cada satélite podem ser acessados na biblioteca do GEE dos códigos ID. Para o Landsat-5 TM

e Landsat-7 ETM, para o Landsat-8 OLI/TIRS todos pela interface de acesso do *code Earth engine* via google.

Para facilitar o acesso aos dados de cobertura e uso da terra do *MapBiomass* dentro do *Google Earth Engine*, é possível acessar as classificações temáticas de cobertura sem a necessidade de baixar ou subir os dados na plataforma.

2.4 Análises estatísticas

Alguns resultados quantitativos e espaço-temporais da cobertura da terra foram avaliados pixel a pixel pela estatística descritiva como as medidas de tendência central e dispersão, destacando a média, mínima, máxima, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV).

A variabilidade temporal foi avaliada de acordo com os critérios de classificação de Warrick e Nielsen (1980), baseando-se nos valores do coeficiente de variação quando: $CV < 12\%$ é de baixa variabilidade, $CV = 12\% - 60\%$ é de média variabilidade e $CV > 60\%$ é de alta variabilidade.

A análise dos testes de tendência temporal foi determinada a partir do software R, versão 4.4.0 (R Core Team, 2024). Os valores estatísticos descritivos dos dados da cobertura da terra foram extraídos do processamento automático da plataforma *Google Earth Engine*.

2.6 Centro-Oeste (1985-2023)

A Tabela 4 apresenta os resultados estatísticos referentes à dinâmica da cobertura e uso da terra no Centro-Oeste, entre 1985 e 2023, evidenciam valores de convergência significativos, sugerindo uma forte relação entre a redução das áreas de vegetação nativa e a ampliação de áreas destinadas às atividades antrópicas. Stríkis *et al.* (2024) revela que o Centro-Oeste brasileiro enfrenta crescente vulnerabilidade hídrica em decorrência da intensificação das secas observadas nas últimas décadas. Por meio da análise de espeleotemas, os autores reconstruíram a variabilidade hidrológica do Cerrado nos últimos dois milênios e constataram que a atual frequência e severidade dos eventos de seca são inéditas em escala histórica. Essa tendência é atribuída à interação entre mudanças climáticas globais e alterações antrópicas locais, como o desmatamento e a

expansão agropecuária, que comprometem a resiliência dos ecossistemas e a capacidade de manutenção dos fluxos hídricos. Tais achados reforçam a necessidade de políticas regionais integradas de conservação e gestão da água, sobretudo diante da perspectiva de intensificação futura desses eventos extremos.

Quanto aos valores encontrados na pesquisa conforme a Tabela 1, na classe floresta apresentou tendência de diminuição estimada em $-878.451,4$ ha/ano, enquanto a classe agropecuária registrou ganho médio de $+916.795,2$ ha/ano, subdividido entre agricultura ($+514.429,7$ ha/ano) e pastagem ($+514.429,7$ ha/ano). Dentro do segmento agrícola, a soja destacou-se como a principal cultura em expansão, com aumento médio anual de $+421.297,7$ ha/ano, seguido da cana-de-açúcar ($+46.736,88$ ha/ano) e por fim as demais lavouras temporárias como o milho. Segundo Espíndola *et al.* (2021), a expansão agrícola no Cerrado, especialmente nas regiões de transição, reflete um processo de intensificação que também caracteriza o Centro-Oeste brasileiro, onde a agricultura mecanizada e voltada à exportação consolidou-se como motor do uso da terra. Os autores demonstram que aproximadamente 48% da vegetação nativa do Cerrado já havia sido suprimida até 2008, impulsionada pela demanda por soja, milho, café e algodão, que juntos representam parcela significativa da produção nacional. Variáveis como preço da terra, presença de grandes propriedades e solos de alta aptidão agrícola foram fundamentais para explicar o padrão de desmatamento e a substituição da cobertura vegetal por lavouras. Em contrapartida, as áreas protegidas mostraram-se eficazes em conter parte desse avanço, reforçando a necessidade de políticas regionais de conservação. Esses achados são relevantes para o Centro-Oeste, uma vez que ilustram a mesma lógica de expansão agrícola que pressiona ecossistemas, recursos hídricos e biodiversidade. As condições de mudanças da análise de tendência temporal tanto para a perda quanto para o ganho detectadas para ambas as classes foram estatisticamente significativas ao nível de 1% de probabilidade (p -valor $<0,01$). Tais resultados convergem com os achados de Ferraz *et al.* (2025), que demonstraram, a partir de modelagem hidrológica no Cerrado baiano, que a expansão agrícola — cuja área cresceu de 7,4% em 1990 para 32,8% em 2015 — foi a principal responsável pela redução das vazões médias, mínimas e máximas do rio Correntina, ao passo que as mudanças climáticas apresentaram efeito secundário. O estudo reforça que a substituição da vegetação nativa por pastagens e lavouras intensivas intensifica a evapotranspiração e diminui o fluxo de base, comprometendo a recarga hídrica e aumentando os conflitos pelo uso da água, cenário que se torna ainda mais crítico no Centro-Oeste diante da predominância da soja como

cultura de maior expansão.

A análise de tendência, expressa pelo coeficiente de Kendall's Tau, indicou associação negativa perfeita ($\tau=-1$) para a classe floresta e associação positiva perfeita ($\tau=+1$) para a classe agropecuária (Tabela 4), indicando tanto uma redução quanto aumento de forte intensidade. Essa relação sugere um processo de substituição progressiva da vegetação nativa por áreas voltadas à produção agrícola e pecuária, sobretudo na expansão da soja. Os resultados trazem questionamentos sobre a região, podendo sinalizar possíveis implicações para a estrutura espacial do cerrado, com reflexos ainda a serem aprofundados em termos de biodiversidade, ciclo hidrológico e uso sustentável da terra.

Tabela 4 - Análise de tendência temporal pelos testes de Mann-Kendell e Sen's Slope aplicados para a região Centro-Oeste o Brasil (Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul) de 1985 até 2023 (Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul) de 1985 até 2023 (continua...)

CENTRO-OESTE		(Mann-Kendall)				Sen's Slope	
Categoria de Uso do Solo (1985-2023)	Z-value	P-value	S	varS	Tau	Sen's Slope	Intervalo de Confiança 95%
Floresta	-8,9517	< 2.2e-16**	-741.000	6833,67	-1,00	-878451,4	[-1048537.0, -736007.8]
Vegetação arbustiva	-1,5242	0,128 ^{ns}	-127.000	6833,67	-0,171390	-10353,57	[-23069.882, 4510.929]
Agropecuária	8,9517	< 2.2e-16**	741.000	6833,67	1,00	916795,2	[772543.6, 1085773.3]
Área não vegetada	5,6855	1,304e-08**	471.000	6833,67	0,635628	4122,759	[2799.190, 5423.667]
Água	-4,3307	1,486e-05**	-359.000	6833,67	-0,484480	-29026	[-42247.03, -16650.86]
Pastagem	3,4839	4,94e-05**	289.000	6833,67	0,390014	451662,8	[211047.0, 682163.6]
Agricultura	8,9275	< 2.2e-16**	739.000	6833,67	0,997301	514429,7	[497408.5, 532060.1]
Silvicultura	8,7097	< 2.2e-16**	721.000	6833,67	0,973009	30916,5	[18838.19, 36393.33]

Tabela 5 - Análise de tendência temporal pelos testes de Mann-Kendell e Sen's Slope aplicados para a região Centro-Oeste o Brasil (Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul) de 1985 até 2023 (Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul) de 1985 até 2023 (conclusão)

CENTRO-OESTE		(Mann-Kendall)				Sen's Slope	
Categoria de Uso do Solo (1985-2023)	Z-value	P-value	S	varS	Tau	Sen's Slope	Intervalo de Confiança 95%
Soja	8,7339	< 2.2e-16**	723.000	6833,67	0,975708	421297,7	[391783.5, 443365.6]
Cana	8,7097	< 2.2e-16**	721.000	6833,67	0,973009	46736,88	[29684.0, 56670.5]
Arroz	6,8352	8,187e-12**	566.000	6832,67	0,764349	129,308	[107.6364, 149.6786]
Algodão	4,7531	2,003e-06**	382.000	6425,33	0,556449	1581,571	[993.9118, 2018.9688]
Café	3,1452	1,66e-03**	261.000	6833,67	0,352227	65,7778	[24.0000, 117.7059]
Citrus	6,5035	7,849e-11**	536.000	6767,33	0,737931	7,66667	[5,13]
Mosaico de usos	-4,1855	2,845e-05**	-347.000	6833,67	-0,468286	-105572,1	[-165286.72, -50613.38]

Fonte: Arquivo Pessoal (2025).

Nota: ** = significativo a 1%; * = significativo a 5%; ns = não significativo.

De forma mais detalhada, dentro da classe floresta, as formações florestal, savânica e alagável apresentaram reduções expressivas ao longo da análise espaço-temporal (1985-2023) (Fig. 2). Em 1985, as áreas ocupadas correspondiam a

59.773.839,43 ha, 35.081.011,94 ha e 4.819.860,68 ha, respectivamente. Já em 2023, os valores observados foram de 41.817.727,64 ha para a formação florestal, 20.779.959,54 ha para a savânica e de 3.376.340,13 ha para a formação alagável (Tabela 4). Esses resultados reforçam a tendência de declínio das subclasses florestais, o que pode estar associado ao avanço agropecuário identificado na região Centro-Oeste, ainda que análises complementares sejam necessárias para estabelecer as conexões de causa e efeito de maneira mais precisa.

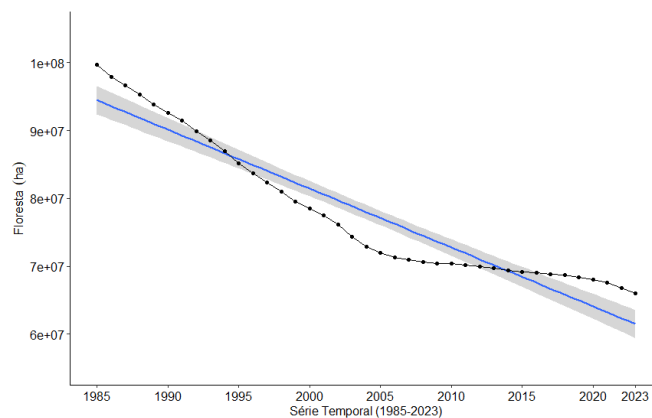


Figura 2 - Distribuição da tendência temporal para a classe Floresta na região Centro-Oeste do Brasil, entre 1985-2023
Fonte: Arquivo Pessoal (2025).

Na Tabela 4, referente ao teste estatístico de Mann-Kendall, observou-se que os dados da classe vegetação arbustiva e herbácea não apresentaram significância estatística. Entretanto, a análise do comportamento temporal das subclasses formação campestre (F.C.) e campo alagado (C.A.) revela variações expressivas no quantitativo de hectares ao longo do período avaliado que impacta diretamente no comportamento da série temporal da classe como demonstrado na Figura 3. Em 1985, a diferença entre as duas subclasses era próxima de 50%, com 9.293.324,25 ha para C.A. e 4.734.937,38 ha para F.C. Já em 2023, essa diferença reduziu-se para aproximadamente 10%, com 7.397.376,18 ha em C.A. e 6.788.091,89 ha em F.C (Tabela 4). Esses resultados sugerem que, embora a análise estatística geral aponte baixa significância, a evolução temporal evidencia uma dinâmica robusta e heterogênea entre as subclasses. Tal comportamento é mais bem compreendido quando a variação é analisada em escala estadual (Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul), onde os padrões de oscilação se tornam mais evidentes. Assim, apesar da ausência de significância no teste global, a análise gráfica e desagregada por estado pode fornecer indícios relevantes para compreender a reorganização espacial dessa classe de vegetação ao longo das últimas décadas.

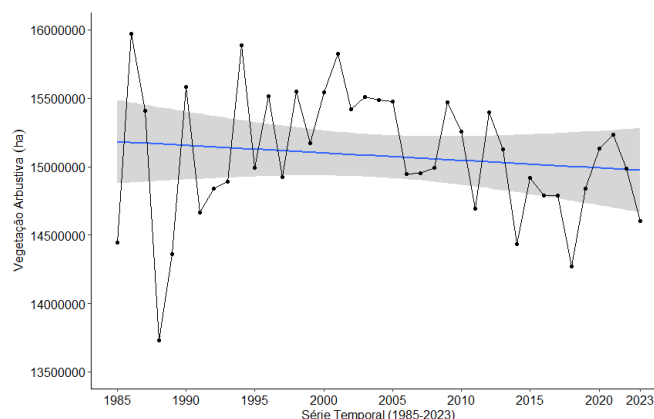


Figura 3 - Distribuição da tendência temporal para a classe Vegetação Arbustiva na região Centro-Oeste do Brasil, entre 1985-2023

Fonte: Arquivo Pessoal (2025).

A Figura 4 apresentada a seguir explicita essas variações de cobertura e uso da terra conforme os dados disponibilizados pelo Map Biomas, construído a partir da aplicação do coeficiente de Sen's Slope (ha/ano) para estimar o ganho ou a perda anual de área em cada classe nessa etapa entre 1985-2023, demonstrando a dinâmica geral dessa convergência, no qual essa abordagem permite uma visualização clara da força e intensidade e da direção das mudanças do uso do solo ao longo do tempo.

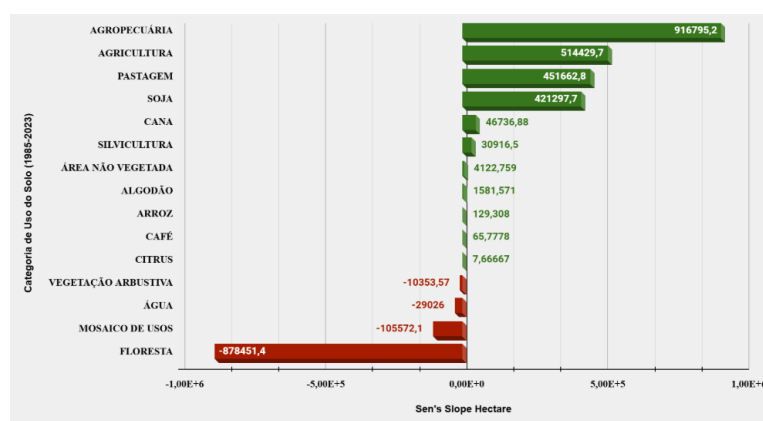


Figura 4 - Convergência de dados da cobertura e uso da terra para o Centro-Oeste (Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul) usando o método de Sen's Slope, entre 1985 e 2023

Fonte: Arquivo Pessoal (2025).

Os recursos hídricos como demonstrado na Tabela 1 e na Figura 4 apresentaram uma tendência temporal de redução significativa ao longo dos anos, estimada em -29.026 ha/ano (*Sen's Slope*), equivalente a uma perda total de pelo menos 1 milhão de ha de áreas cobertas por corpos hídricos nos 39 anos de análise. Vale ressaltar que o valor Tau ($\tau = -0,48$) detectou uma força e intensidade de perda consideráveis ao longo do tempo (Tabela 4). No Centro-Oeste brasileiro, os cenários projetados pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico evidenciam uma vulnerabilidade significativa dos recursos hídricos

frente às mudanças climáticas (Ana, 2024). As análises indicam tendência de redução da precipitação média anual, associada ao aumento da evapotranspiração potencial, o que intensifica o déficit hídrico na região. Como consequência, a disponibilidade hídrica futura apresenta projeções de queda nas vazões dos principais rios, especialmente nas bacias do Paraguai e Tocantins-Araguaia, comprometendo atividades estratégicas como a irrigação agrícola, a geração de energia hidrelétrica e o abastecimento urbano. Esses efeitos se mostram ainda mais críticos no Pantanal, cuja dinâmica ecológica depende diretamente da manutenção do regime de cheias, tornando o bioma particularmente vulnerável à redução da recarga hídrica e às alterações no pulso de inundação. Nesse sentido, o estudo reforça a necessidade de estratégias de adaptação específicas para o Centro-Oeste, considerando a forte sazonalidade da região e a projeção de intensificação de eventos extremos, como secas prolongadas e chuvas mais intensas (mais concentradas em curtos períodos), que colocam em risco tanto a segurança hídrica quanto a biodiversidade (Ana, 2024).

Contudo, ao analisar separadamente cada Estado, verifica-se que esse comportamento não é uniforme em toda a região. Figura 5 representa as informações de recursos hídricos do centro-oeste). O estado de Goiás apresentou valores associados a uma tendência de ganho de área hídrica, enquanto Mato Grosso e Mato Grosso do Sul evidenciaram tendências negativas expressivas ao longo do tempo (Tabela 4). Dessa forma, no quadro geral do Centro-Oeste, as perdas observadas em Mato Grosso e Mato Grosso do Sul acabam por sobrepor e mascarar os valores positivos de Goiás, resultando em um balanço regional predominantemente negativo (Tabela 4), Água -29.026 ha/ano.

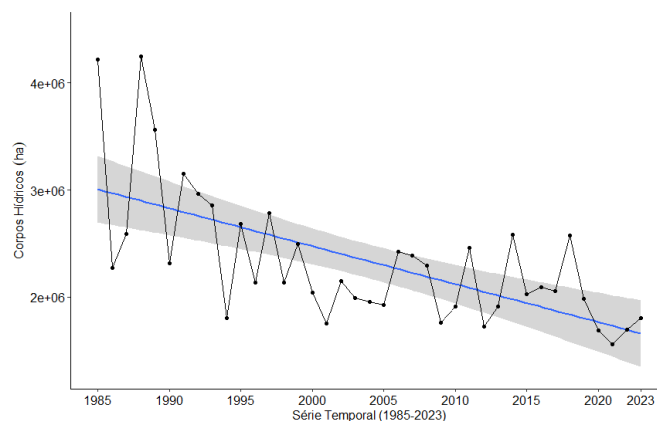


Figura 5 - Distribuição da tendência temporal para a classe Corpos Hídricos na região Centro-Oeste do Brasil, entre 1985-2023

Fonte: Arquivo Pessoal (2025).

Estudos recentes mostram que a falta de água no Centro-Oeste é uma consequência direta das mudanças na cobertura e uso da terra no Cerrado, e não apenas do clima. Schwambach *et al.* (2025) demonstram que a expansão agropecuária e a substituição da vegetação nativa por monoculturas e pastagens já representam um risco maior para os fluxos hídricos regionais do que o próprio cenário de mudanças climáticas. As simulações realizadas pelos autores apontam que processos essenciais do ciclo hidrológico, como infiltração, armazenamento de água no solo e recarga subterrânea, estão sendo comprometidos, enquanto a absorção de água pelas raízes tende a aumentar significativamente, ampliando a demanda hídrica da agricultura. Tal quadro acende um alerta para a intensificação da competição por água entre o setor agropecuário e os usos urbanos e industriais, evidenciando a vulnerabilidade da segurança hídrica e alimentar nacional frente à continuidade do atual modelo de ocupação do Cerrado.

A classe pastagem apresentou uma tendência de aumento expressivo de área entre 1985 e 2008, atingindo aproximadamente 52.165.163,61 ha. No entanto, observa-se que, entre 2000 e 2008, o crescimento anual foi inferior ao apontado nos anos anteriores, indicando um período de desaceleração. A partir de 2009, a área destinada à pastagem passou por uma redução contínua, alcançando cerca de 46.871.473,82 ha em 2023, valor próximo ao observado em 1998 (Tabela 4; Fig. 6). Esses dados sugerem uma dinâmica não linear na expansão e retração das pastagens ao longo da análise espaço-temporal, que pode estar relacionada a alterações nos padrões de uso do solo e à conversão para outras atividades agropecuárias.

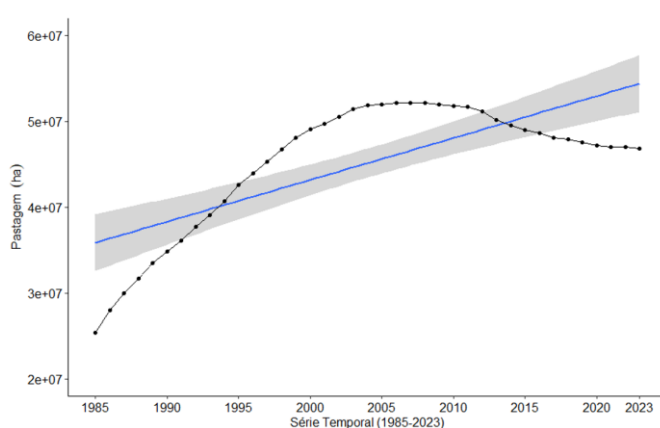
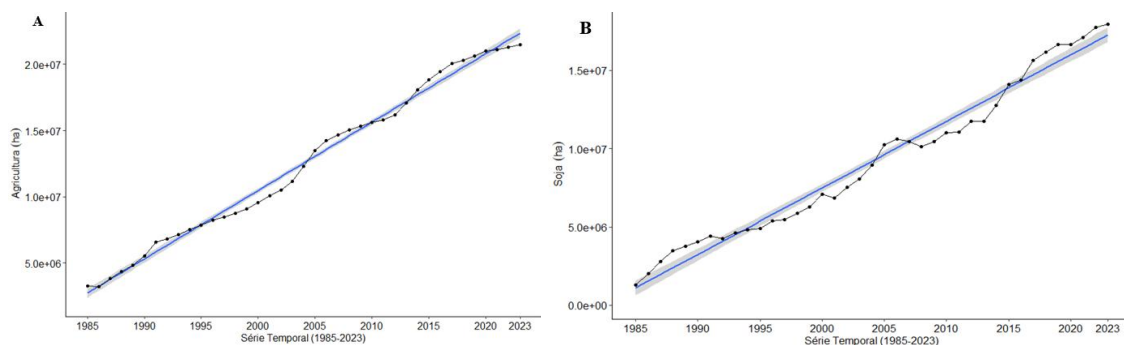


Figura 6 - Distribuição da tendência temporal para a classe Pastagem na região Centro-Oeste do Brasil, entre (1985-2023)
Fonte: Arquivo Pessoal (2025).

Por outro lado, a subclasse agricultura (classe maior agropecuária) apresentou crescimento contínuo e expressivo ao longo de todo o período (1985-2023). Em 1985, a

ocupação agrícola era relativamente pequena (3.249.177,25 ha), enquanto em 2023 alcançou 21.469.258,66 ha (Tabela 4; Fig. 7A), aproximadamente sete vezes superior ao valor inicial. Entre as culturas, a soja destacou-se como principal responsável pela expansão agrícola, com 17.940.470,80 ha em 2023 (Tabela 4; Fig. 7B), indicando que a lavoura temporária, especialmente a soja, constitui o principal vetor de crescimento da agricultura, seguido da cana-de-açúcar (Fig. 7C) com desempenho relevante e crescente no cenário produtivo do Centro-Oeste. Uma análise mais detalhada sobre essa participação da produção em aspecto geral na pesquisa de Mores *et al.* (2022) Exemplifica que entre 1990 e 2015, a produção nacional de soja aumentou 389,8% e a de milho 299,5%, refletindo a expansão da fronteira agrícola e a difusão de inovações tecnológicas no campo. Além disso, houve crescimento expressivo nas cadeias de proteína animal, como a carne bovina (+46,3%), o leite (+141,6%) e a avicultura (+143,9%), consolidando a diversidade produtiva do agronegócio brasileiro. Nesse contexto, os resultados dessa pesquisa ainda demonstram que o Centro-Oeste assumiu papel central, respondendo por quase metade da produção de soja (45,1%) e milho (48,2%) em 2015, além de registrar deslocamento dos centros de produção de grãos e bovinos para o interior da região e áreas limítrofes à Amazônia, evidenciando a reconfiguração do eixo produtivo nacional. Os autores reforçam ainda que, pela estabilidade climática do Cerrado, torna-se possível a realização de até duas ou três safras anuais, o que potencializa a intensificação agrícola. Como interpretação, apoiada em literatura especializada, o estudo relaciona esse avanço a fatores biotecnológicos e institucionais, como a correção e adubação de solos tropicais, o melhoramento genético, a fixação biológica de nitrogênio e os sistemas integrados de produção, que ajudaram a transformar o Centro-Oeste em núcleo estratégico da produção nacional de grãos e carne bovina (Mores *et al.*, 2022).



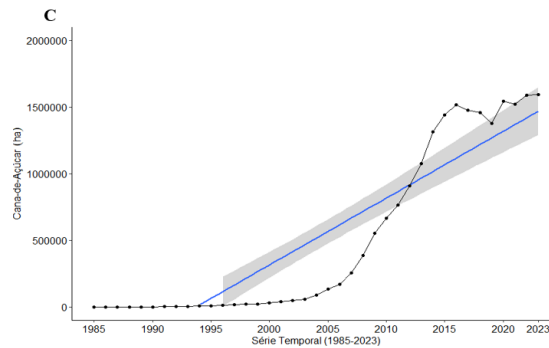


Figura 7 - Distribuição da tendência temporal para a classe Agricultura (A), com destaque para as culturas da Soja (B) e Cana (C) na região Centro-Oeste do Brasil, entre 1985-2023
Fonte: Arquivo Pessoal (2025).

Os dados do centro oeste representados nas Figuras 6 (pastagem) e 7 (A) agricultura, (B) Soja, (C) Cana-de-açúcar, fornecem evidências que se alinham com a pesquisa de Mores *et al.* (2022) que demonstra que o Brasil se tornou, nas últimas décadas, uma potência global em alimentos, com grande destaque na produção e exportação de grãos e proteínas animais. Na pesquisa de Coelho e Bragagnolo (2024) detalham melhor sobre a realidade da região Centro-Oeste brasileiro e a cana de açúcar o qual destaca-se pela expansão significativa da produção desta cultura, com seus respectivos estados exercendo papel crescente no cenário nacional. Segundo os autores, Goiás é o segundo maior produtor nacional, representando cerca de 11% da área colhida e 12% da produção total do país, apresentando uma média de eficiência técnica na produção em torno de 0,46, com maior concentração de eficiência na mesorregião do Leste Goiano, associada à adoção de tecnologias mais modernas e infraestrutura logística favorável. Já o Mato Grosso apresenta uma eficiência técnica média superior, estimada em 0,57, destacando-se pela elevada participação da agricultura familiar e pelo uso relativamente maior do crédito rural, embora a mesorregião Sudeste Mato-Grossense apresente índice de eficiência reduzido devido à concentração de municípios com desempenho inferior (Coelho; Bragagnolo, 2024).

As “Outras lavouras temporárias” (Fig. 8B), classificação com base nos dados do *MapBiomas* Coleção 9, que inclui as outras lavouras temporárias com exceção das “principais culturas de análise” (Fig. 8A) - soja, cana, arroz e algodão; a Figura 7B apresenta a dinâmica de ocupação territorial para classe outras lavouras temporárias que apresentaram um ganho expressivo entre 1985 (1.958.991,48 ha) e 2008 (4.480.329,78 ha). Contudo, no período de 2009 a 2016, observaram-se oscilações anuais entre aumentos e reduções, seguidas por uma queda significativa a partir de 2016 (3.501.296,80 ha) até 2023 (1.863.433,07 ha), sem indícios de recuperação, em outras palavras culturas

que fogem do padrão de principais culturas de lavoura temporária perderam força de plantio e colheita no estado ao longo dos anos.

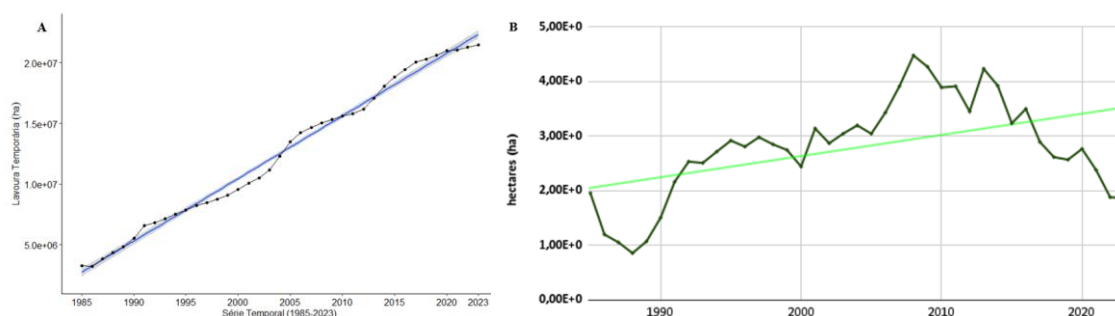


Figura 8 - Distribuição da tendência temporal para a classe geral de Lavoura Temporária (A), dinâmica de ocupação territorial para classe outras lavouras temporárias (B), na região Centro-Oeste do Brasil, entre 1985-2023)
Fonte: Arquivo Pessoal (2025).

A lavoura perene (café, citrus, dendê, entre outras) apresentou trajetória distinta (Fig. 9). Entre 1985 (4.549,42 ha) e 1998 (608,32 ha) ocorreu uma redução expressiva, sugerindo uma possível descontinuidade de plantio. A partir de 1999 (816,38 ha) até 2009, os resultados permaneceram baixos, indicando resistência à retomada. Entretanto, em 2010 (1.558,85 ha) iniciou-se um processo de recuperação, que se manteve em crescimento até 2023 (6.296,77 ha), sugerindo um retorno gradual do interesse produtivo na região do Centro-Oeste.

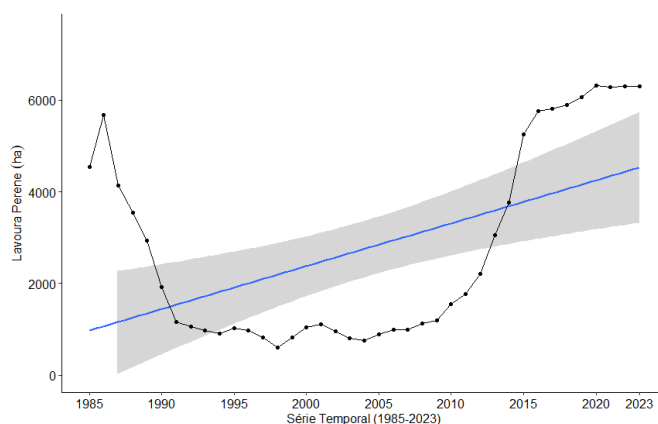


Figura 9 - Distribuição da tendência temporal para a classe geral de Lavoura Perene na região Centro-Oeste do Brasil, entre 1985-2023
Fonte: Arquivo Pessoal (2025).

A classe silvicultura apresentou crescimento contínuo na região Centro-Oeste no período de 1985 a 2023. Em 1985, a área ocupada era relativamente pequena (42.956,25 ha), enquanto em 2023 atingiu 1.263.362,34 ha (Fig. 10A), superando inclusive a extensão das áreas não vegetadas no mesmo ano (1.143.599,86 ha) (Fig. 10B). Esses

dados reforçam que a silvicultura se consolidou como um componente crescente do uso do solo na região, com expressividade significativa ao longo das últimas décadas.

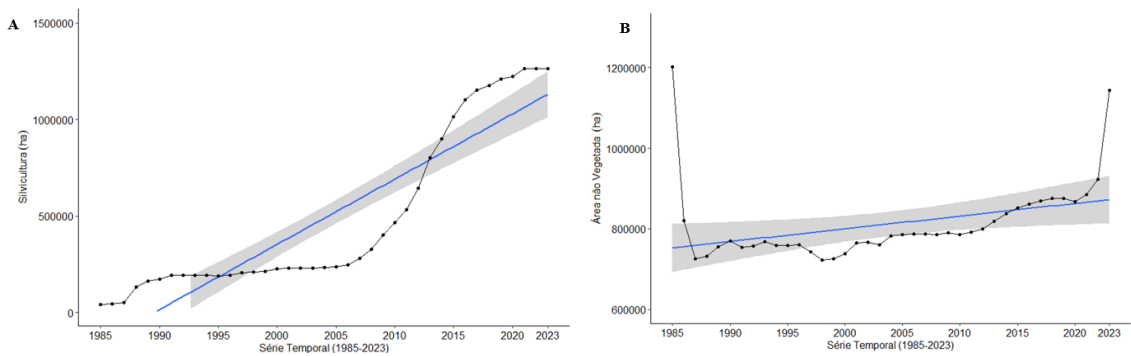


Figura 10 - Distribuição da tendência temporal para as classes de Silvicultura (A) e Área não vegetada (B) na região Centro-Oeste do Brasil, entre 1985-2023
 Fonte: Arquivo Pessoal (2025).

2.7 Mato Grosso (1985 - 2023)

A região com maior extensão territorial do Centro-Oeste apresentou uma tendência expressiva de redução na cobertura florestal, com convergência de forte intensidade indicada pelo coeficiente de Kendall’s Tau ($\tau=-1$), correspondendo a uma perda média anual de 655.756,5 ha/ano. Paralelamente, a classe agropecuária apresentou forte tendência de crescimento ($\tau=+1$), com ganho médio anual de 685.768,9 ha/ano (Tabela 5), evidenciando a substituição progressiva da vegetação nativa por áreas destinadas à agricultura e pecuária.

Tabela 5 - Análise de tendência temporal pelos testes de Mann-Kendell e Sen’s Slope, aplicados para o estado do Mato Grosso entre 1985 e 2023

Mato Grosso		(Mann-Kendall)				Sen's Slope	
Categoria de Uso do Solo (1985-2023)	Z-value	P-value	S	varS	Tau	Sen's Slope	Intervalo de Confiança 95%
Floresta	-8,9517	< 2.2e-16**	-741.000	6.833,67	-1,00	-655756,5	[-740038,4; -587243,2]
Vegetação arbustiva	-5,00	1,665e-06**	-397.000	6.833,67	-0,5357625	-13899,43	[-18501,4; -9604,5]
Agropecuária	-8,9517	< 2.2e-16**	741.000	6.833,67	1,00	685768,9	[617429,3; 774738,2]
Área não vegetada	4,8146	1,475e-06**	399.000	6.833,67	0,5384615	1.317,17	[722,6667; 1940,4286]
Água	-5,5162	3,465e-08**	-457.000	6.833,67	-0,6167341	-16228,5	[-20492,93; -11651,06]
Pastagem	5,6855	1,304e-08**	471.000	6.833,67	0,6356275	408222,4	[299780,8; 540355,7]
Agricultura	8,9275	< 2.2e-16**	739.000	6.833,67	0,9973009	307172,3	[291136,1; 319736,1]
Silvicultura	8,8307	< 2.2e-16**	731.000	6.833,67	0,9865047	4.138,625	[2549,500; 5133,267]
Soja	8,8307	< 2.2e-16**	731.000	6.833,67	0,9865047	279.765,300	[266091,2; 297835,7]
Cana	8,2985	< 2.2e-16**	687.000	6.833,67	0,9271255	4.079,222	[3571,389; 4526,750]
Algodão	4,828	1,379e-06**	388.000	6.425,33	0,5651895	1.065,455	[588,6667; 1316,3571]
Mosaico de usos	-6,3146	2,709e-10**	-523.000	6.833,67	-0,705803	-41984,4	[-52938,52; -32803,43]

Fonte: Arquivo Pessoal (2025).

Nota: ** = significativo a 1%.

Tais dados advindos da tabela 05 reforçam o padrão regional de expansão agrícola e pecuária em detrimento das formações florestais, em consonância com as tendências observadas nas subclasses de floresta, lavouras temporárias e perenes, pastagens e silvicultura, consolidando um panorama de reorganização da cobertura e uso da terra ao longo das últimas décadas (1985-2023).

A Figura 11 apresenta a dinâmica espaço-temporal da cobertura e uso da terra no estado do Mato Grosso, a partir do monitoramento desenvolvido por meio de dados da série multitemporal de satélites *Landsat*, com uma resolução espacial de 30m. Os mapas temáticos destacam as classificações dos diferentes usos da terra, entre 1985 e 2023. Os padrões de mudanças apresentam a conversão das áreas de floresta (pixels verde-escuros) para áreas da agropecuária, com a predominância das áreas de pastagem (pixels amarelos queimado), nas regiões sul, centro-sul e nordeste do estado do Mato Grosso. A agricultura mostrou-se predominante e com ganho importante na porção central, no sudoeste e ao sudeste dos mapas (pixels rosas). De forma preocupante, observou-se um impacto na condição hídrica do Estado, que ao longo dos 39 anos perdeu áreas cobertas por corpos d'água conforme o destaque dos pixels azuis nos mapas.

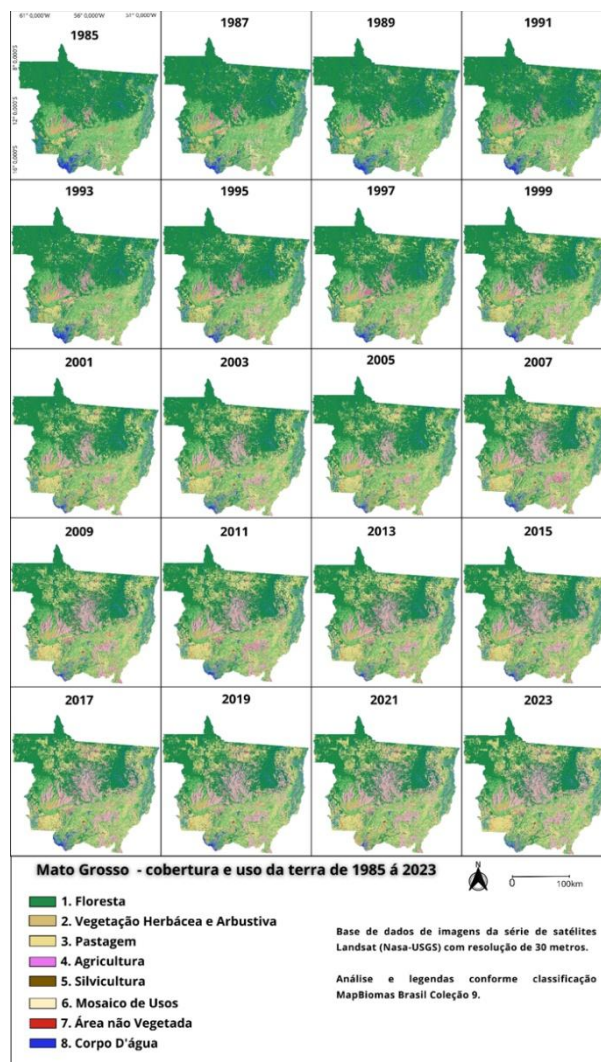


Figura 11 - Dinâmica espaço-temporal da cobertura e uso da terra do estado do Mato Grosso, com base na Coleção 9 do Map Biomas, entre 1985 e 2023
 Fonte: Arquivo Pessoal, 2025.

Conforme demonstrado por Heck (2021) em sua pesquisa, a expansão da produção agropecuária em Mato Grosso, a partir dos anos 2000, está alicerçada na intensificação do uso de capital e na concentração fundiária, o que impacta negativamente o meio ambiente e o desenvolvimento local. A autora utiliza dados censitários de 2006 e 2017 para mostrar que houve um aumento na área média dos estabelecimentos rurais, além de uma valorização dos preços da terra, o que torna o acesso a ela mais difícil para a população e impede o avanço de programas de reforma agrária. A especialização produtiva em commodities como soja, milho e algodão tem levado a um aumento exponencial no uso de agrotóxicos, colocando Mato Grosso como o estado com maior participação nas vendas desses produtos no país desde 2013. Este modelo de produção também resulta no avanço da agricultura sobre os biomas do Cerrado e da Amazônia, promovendo o desmatamento e alterando o regime de chuvas, a qualidade da água e a

biodiversidade local. Para Heck (2021), tais condições limitam o desenvolvimento sustentável, focando apenas no crescimento econômico em detrimento de questões sociais e ambientais.

O estado de Mato Grosso apresentou uma forte correlação para todos os dados analisados, evidenciando padrões claros de convergência. A classe agropecuária registrou ganhos expressivos, especialmente na agricultura (307.172,30 ha/ano) e na pastagem (408.222,40 ha/ano) (Tabela 5; Fig. 12).

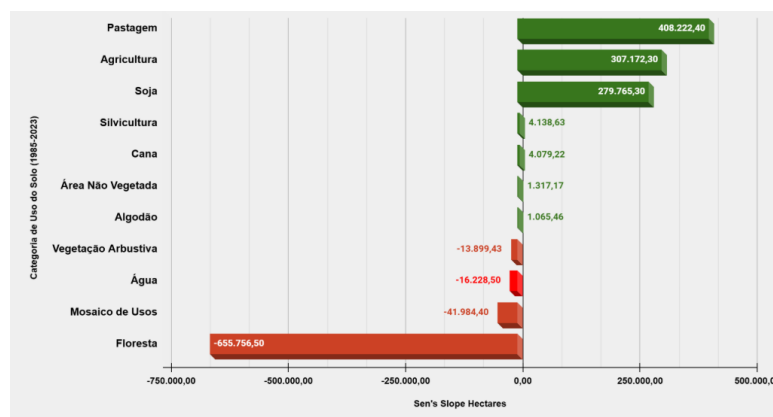


Figura 12 - Convergência dos dados da cobertura e uso da terra para o estado do Mato Grosso usando o método de Sen's Slope, entre 1985 e 2023

Fonte: Arquivo Pessoal (2025).

Em contraste, a classe floresta apresentou forte tendência de redução (Fig. 13A), partindo de áreas em 1985 de 46.897.241,24 ha para a formação florestal, 19.145.700,27 ha para a savânica e 4.819.860,68 ha para a alagável. Em 2023, essas áreas foram reduzidas para 32.313.225,52 ha, 11.765.063,80 ha e 3.376.340,13 ha, respectivamente. Vale destacar que a floresta alagável (subclasse de floresta), cuja maior concentração regional está em Mato Grosso, apresenta um ponto crítico para preservação, com perda média anual de -37.013 ha/ano (1985-2023), evidenciando uma tendência de declínio contínuo até 2010, onde a perda reduz, mas ainda é contínua com valor médio anual de -8.656,22 ha/ano (2010-2023) até 2023 como demonstra a Figura 13B.

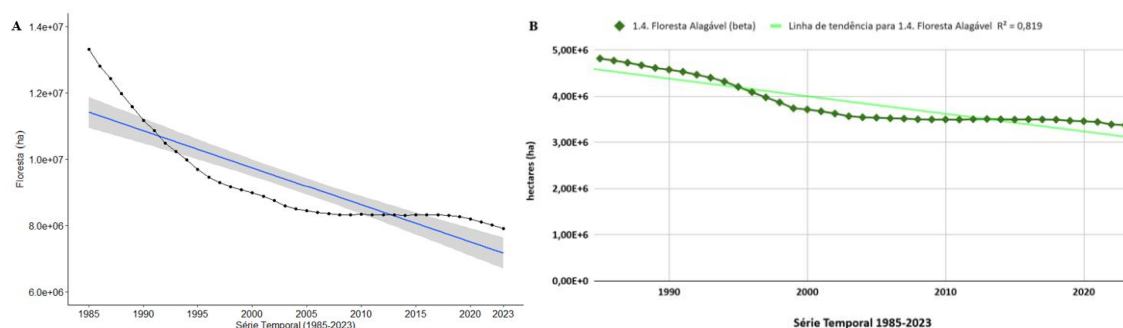


Figura 13 - Distribuição da tendência temporal para a classe Floresta (A) e Dinâmica de ocupação territorial para a subclasse floresta alagável (B), no estado do Mato Grosso, entre 1985-2023

Fonte: Arquivo Pessoal (2025).

A vegetação arbustiva e herbácea também apresentou redução ao longo do período, partindo de 7.857.438,98 ha em 1985, registrando uma perda aproximada de 10% da sua extensão total, e totalizando 7.061.805,17 ha em 2023. Esses dados indicam que, apesar da menor magnitude de declínio em relação à floresta, a vegetação arbustiva e herbácea também segue uma tendência de redução relevante em Mato Grosso (Fig. 14), refletindo a pressão do uso agropecuário na região.

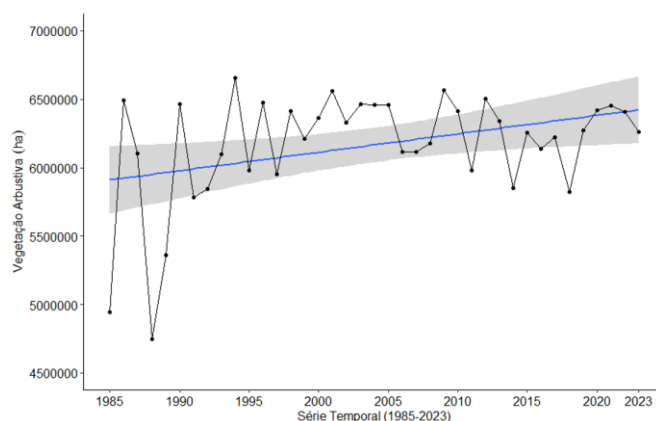


Figura 14 - Distribuição da tendência temporal para a classe Vegetação Arbustiva no estado do Mato Grosso, entre 1985 - 2023

Fonte: Arquivo Pessoal (2025).

A análise de *Sen's Slope*, para as classes de mosaicos de uso e área hídrica, evidenciaram tendências de declínio preocupantes (Fig. 15). A classe mosaica de uso apresentou taxa de perda de -41.984,4 ha/ano (Fig. 15A), enquanto a classe água registrou -16.228,5 ha/ano (Fig. 15B). Comparando as extensões territoriais entre 1985 e 2023, observa-se uma redução média de aproximadamente 50% em ambas as classes. Em 1985, a área de mosaico de uso correspondia a 2.679.933,51 ha, reduzindo-se para 1.096.841,47 ha em 2023, o que representa aproximadamente 59% de declínio. Já a classe água possuía 1.518.789,48 ha em 1985, passando para 714.743,86 ha em 2023, configurando redução

aproximada de 52%. Esses dados indicam uma diminuição expressiva da área total de mosaicos e recursos hídricos no período analisado, evidenciando a necessidade de monitoramento e políticas de conservação adequadas. Diante disso, também foi observado um crescimento significativo ($p\text{-valor}<0,01$) das áreas não vegetadas no estado do Mato Grosso, totalizando 51.369,63 ha ao longo do tempo (1985-2023).

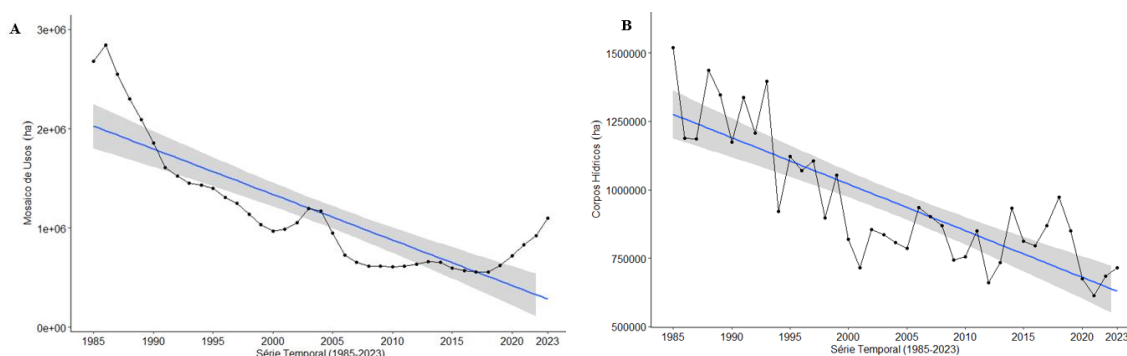


Figura 15 - Distribuição da tendência temporal para as classes Mosaico de Usos (A) e Corpos Hídricos (B) no estado do Mato Grosso, entre 1985-2023
Fonte: Arquivo Pessoal (2025).

No caso das lavouras temporárias no estado do Mato Grosso (Fig. 16A), observou-se uma transformação significativa ao longo da análise espaço-temporal. Em 1985, a área total cultivada correspondia a 1.447.904,52 ha, com destaque para a soja (418.853,69 ha) (Fig. 16B) e a cana-de-açúcar (230,76 ha) (Fig. 16C), enquanto o arroz e o algodão não apresentavam expressão representativa. Nesse mesmo ano, as demais lavouras temporárias totalizavam 1.028.820,07 ha, evidenciando uma maior diversidade produtiva. Em contrapartida, em 2023, o cenário é marcado pela forte concentração em poucos cultivos, com a agricultura atingindo 11.896.334,18 ha, dos quais a soja ocupa 10.491.190,31 ha, seguida pela cana (133.143,28 ha) e pelo algodão (36.858,39 ha), enquanto o arroz permanece sem expressividade.

As outras lavouras temporárias (subclasse que representa as outras não incluindo essas lavouras temporárias “principais”) representam apenas 1.235.142,19 ha, evidenciando uma trajetória de descontinuidade no investimento em maior diversidade agrícola. A expansão da cana-de-açúcar em Mato Grosso do Sul tem provocado a substituição de outras culturas e pastagens, impulsionada principalmente pela busca de maior rentabilidade no agronegócio. A análise, utilizando o modelo *shift-share*, demonstrou que a cana-de-açúcar é a principal cultura a ocupar novas áreas, superando até mesmo a silvicultura, a soja e o milho nesse processo de substituição territorial. Dados do estudo indicam que culturas como trigo, algodão, arroz, feijão e sorgo perderam espaço

para a cana-de-açúcar, mas é a área de pastagens que sofreu a maior retração. A pesquisa aponta que essa conversão de uso da terra muitas vezes é uma estratégia dos produtores para mitigar riscos econômicos, visto que o cultivo da cana-de-açúcar oferece retornos mais elevados e previsíveis. Por fim, a tese sugere que essa dinâmica da expansão canavieira gera impactos socioeconômicos e ambientais complexos, reforçando a necessidade de políticas públicas que promovam a diversificação agrícola e a sustentabilidade no estado (Baio, 2023).

Essa redução de representatividade de outras lavouras temporárias é especialmente notável após o ano de 2008, quando a categoria alcançou seu máximo de expansão, mas desde então vem apresentando declínio contínuo, culminando em 2023 com valores pouco expressivos em comparação aos de 1985 (Fig. 16D), retratando a Dinâmica de ocupação territorial para Subclasse outras lavouras temporárias no mato grosso (1985-2023).

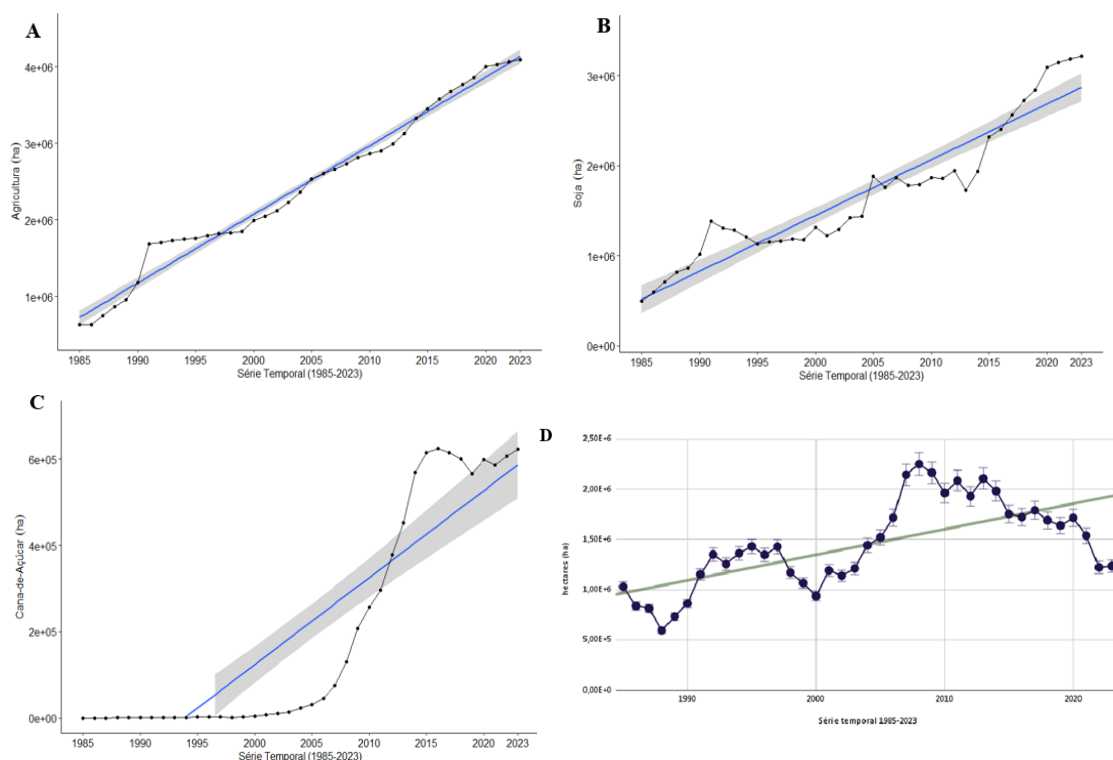


Figura 16 - Distribuição da tendência temporal para a classe Agricultura (A), com destaque para as culturas da Soja (B), Cana (C) e Dinâmica de ocupação territorial de outras lavouras temporárias (D) no estado do Mato Grosso, entre 1985-2023

Fonte: Arquivo Pessoal (2025).

No estado de Mato Grosso, a expansão da fronteira agrícola entre 1988 e 2018 foi marcada por um crescimento expressivo das culturas temporárias, cuja área plantada

aumentou 581,1% no período. A soja se destacou com incremento de 709,7% na área cultivada e 1.173,0% na produção, enquanto o milho apresentou aumento de 1.306,0% na área plantada e 3.739,8% na quantidade produzida. Desde 2001, Mato Grosso mantém a maior área plantada de soja do país, e desde 2004 concentra o maior rebanho bovino nacional, que em 2018 representava 14,1% do total brasileiro, após um crescimento de 384,7% em relação a 1988. Em termos espaciais, a produção inicialmente predominava no Cerrado, mas avançou sobre o bioma Amazônia, em associação ao desmatamento. A análise do Map Biomas confirma que, entre 1988 e 2018, a classe Floresta reduziu 28,8% no estado, enquanto a classe Agropecuária cresceu 212,3%. Assim, embora a atividade agropecuária tenha impulsionado a economia mato-grossense, o estudo evidencia que essa expansão esteve relacionada à perda de vegetação nativa e à intensificação de impactos sobre a biodiversidade, solo, água e ar (Capoane, 2022).

O estudo de Ferrarini (2021) retrata esses fatos ao reforçar a expansão das áreas de soja e pastagens em Mato Grosso entre 2003 e 2018 sendo marcada por uma transição significativa na ocupação das terras agrícolas do estado, caracterizada pela substituição das culturas temporárias de menor rentabilidade, como o arroz e o milho da primeira safra, pelas culturas de soja e milho da segunda safra, geralmente cultivado em sucessão à soja no mesmo ano agrícola. Esse processo foi impulsionado por fatores como o incremento do crédito rural para custeio e investimento, a intensificação tecnológica e a orientação para o mercado internacional, que valoriza especialmente a soja e a produção de carne bovina. O uso do método *shift-share* permitiu evidenciar que essa substituição ocorreu de forma estrutural nas principais microrregiões do estado, resultando em ganhos significativos de produtividade e produção, mas também em desafios como a concentração de renda e impactos ambientais relacionados à expansão agrícola em áreas de biomas sensíveis (Ferrarini, 2021).

A silvicultura (Fig. 17A) apresenta trajetória de expansão consistente, com crescimento médio de 4.138,63 ha/ano. Esse avanço foi contínuo até atingir seu ponto máximo em 2021 (155.483,61 ha), seguido por uma leve redução nos anos posteriores, resultando em 155.161,58 ha em 2023, o que indica uma estabilização após o pico. Outra classe que se destaca pela expansão territorial são as áreas não vegetadas (Fig. 17B), com aumento médio de 1.317,17 ha/ano. Embora apresentem comportamento marcado por perdas e ganhos ao longo das décadas — mantendo-se geralmente entre 350.000 ha e 400.000 ha — em 2018 (408.911,62 ha) registraram a maior alta desde 1985. A partir desse marco, observa-se crescimento contínuo, culminando em 2023 com 580.938,27 ha,

o maior valor de ocupação registrado na série histórica. Outra pesquisa de J. Ribeiro *et al.* (2022) reforça essa convergência na cobertura do uso da terra relatando que no estado do Mato Grosso entre 2006 e 2017, evidenciando um aumento significativo nas áreas de pastagens degradadas, que passaram de 188.000 ha para 402.100 ha na microrregião Norte Araguaia, e um crescimento das pastagens naturais, cujo valor máximo elevou-se de 870.500 ha para 1.677.200 ha no Alto Pantanal. Observou-se ainda uma redução das florestas naturais, que diminuíram de 1.053.000 ha em 2006 para 602.200 ha em 2017, enquanto as áreas de preservação permanente (APP) aumentaram expressivamente, de 1.586.700 ha para 2.403.900 ha na microrregião de Aripuanã. Adicionalmente, houve crescimento nas áreas destinadas a sistemas agroflorestais (SAF) e silvicultura, que passaram de 66.900 ha para 2.403.900 ha. O estudo deixa claro a urgência de políticas públicas e iniciativas institucionais que promovam práticas sustentáveis, integrando produção agropecuária e conservação ambiental para o desenvolvimento rural sustentável em Mato Grosso.

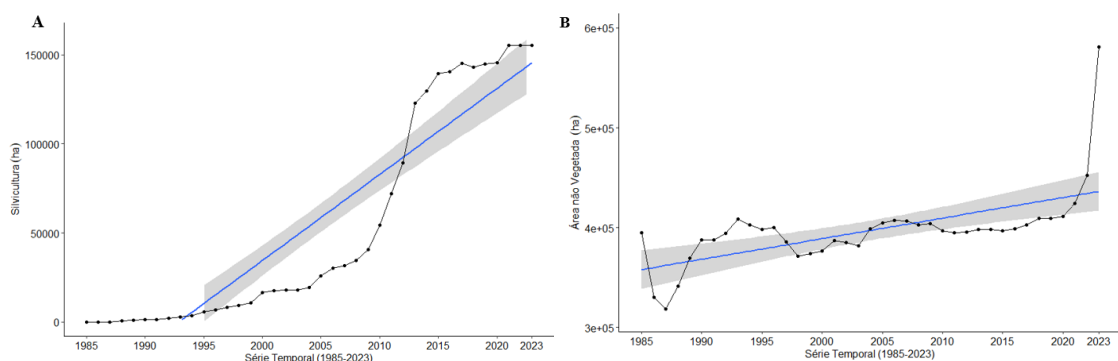


Figura 17 - Distribuição da tendência temporal para a classe Silvicultura (A) e Área não vegetada (B) no estado do Mato Grosso, entre 1985-2023
Fonte: Arquivo Pessoal (2025).

2.8 Goiás (1985-2023)

A Figura 18 destaca os padrões de mudanças e a dinâmica espaço-temporal da cobertura e uso da terra para o estado de Goiás, entre 1985 e 2023. Os padrões de mudanças das classificações também detectaram uma conversão da floresta (pixels verde escuro e verde claro) para áreas da agropecuária, com a predominância das áreas de agricultura no Estado (pixels rosas), com destaque para as regiões centro-sul, centro-leste e sudeste dos mapas. Portanto, a agricultura mostrou-se predominante e com indicação de ganho importante do setor produtivo ao longo do tempo. Entretanto, dentro de todo o estado de Goiás percebe-se a baixa cobertura vegetal do bioma Cerrado. É importante

destacar o crescimento das áreas cobertas por corpos hídricos, como a construção de reservatórios estratégicos na região nordeste, bem como os corpos d'água ao sul e sudeste do Estado.

De modo geral, Goiás apresenta um comportamento destoante dentro da região Centro-Oeste, com resultados que contrastam em relação aos demais estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, principalmente quanto aos recursos hídricos. Isso fica evidente que ao longo de 39 anos ocorreram mudanças severas e impactantes para a região Centro-Oeste.

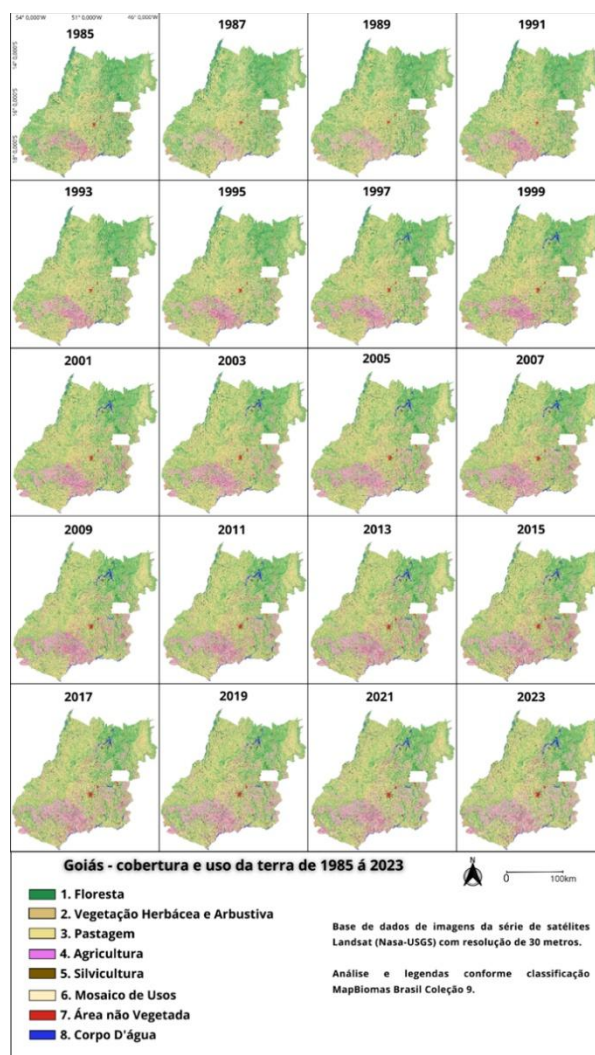


Figura 18 - Dinâmica espaço-temporal da cobertura e uso da terra do estado de Goiás, com base na Coleção 9 do Map Biomas, entre 1985 e 2023

Fonte: Arquivo Pessoal (2025).

A análise pelo teste de Mann-Kendall (Tabela 6) revelou tendências positivas e estatisticamente significativas ($p\text{-valor} < 0,01$), para diversas classes de Cobertura e uso da terra, sobretudo agropecuária, agricultura, silvicultura e culturas temporárias como soja, cana, arroz e algodão, todas associadas a um forte ritmo de expansão (variando Tau de

0,6263698/Algodão até 1,00/Agricultura). Em contrapartida, as categorias de floresta e vegetação arbustiva exibem tendências negativas expressivas, indicando redução contínua dessas áreas. Além disso, o mosaico de usos e áreas não vegetadas também apresentaram mudanças significativas, reforçando a dinâmica de substituição da vegetação natural pelo avanço das atividades agropecuárias e agrícolas.

Tabela 6 - Análise de tendência temporal pelos testes de Mann-Kendall e Sen 's Slope , aplicados para o estado de Goiás, entre 1985 e 2023

Goiás		(Mann-Kendall)				Sen's Slope	
Categoria de Uso do Solo (1985-2023)	Z-value	P-value	S	varS	Tau	Sen's Slope	Intervalo de Confiança 95%
Floresta	-8,9033	< 2.2e-16**	-737.000	6.833,6667	-0,9946019	-108.146	[-127981,75; -85945,11]
Vegetação arbustiva	-6,3388	2,316e-10**	-525.000	6.833,6667	-0,708502	-5029,972	[-6046,167; -3499,645]
Agropecuária	8,8791	< 2.2e-16**	735.000	6.833,6667	0,9919028	104361,6	[80648,45; 128137,80]
Área não vegetada	4,5968	4.29e-06**	381.000	6.833,67	0,51417	2395	[1766,650; 3256,571]
Água	5,5162	3,465e-08**	457.000	6.833,67	0,6167341	3752,304	[2774,000; 4704,263]
Pastagem	0,9678	0,3332 ^{ns}	81.000	6.833,67	0,1093117	26792,39	[-30253,41; 75392,27]
Agricultura	8,9517	< 2.2e-16**	741.000	6.833,67	1,00	115557,3	[111654,5; 120020,9]
Silvicultura	8,6614	< 2.2e-16**	717.000	6.833,67	0,9676113	3845,5	[2646,500; 4556,074]
Soja	8,1049	5,279e-16**	671.000	6.833,67	0,9055331	81770,5	[73071,33; 90486,59]
Cana	8,6614	< 2.2e-16**	717.000	6.833,67	0,9676113	24179,57	[16104; 29780]
Arroz	7,1154	1,116e-12**	589.000	6.829	0,7970259	47,36	[37,04167; 59,50000]
Algodão	5,3519	8,703E-08**	430.000	6.425,33	0,6263698	187,25	[101,6667; 270,4000]
Café	3,1452	1,66e-03**	261.000	6.833,67	0,3522267	65,77778	[24,0000; 117,7059]
Citrus	6,5035	7,849E-11**	536.000	6.767,33	0,7379309	7,666667	[5; 13]
Mosaico de usos	-4,5726	4,817E-06**	-379.000	6.833,67	-0,511471	-46348,2	[-72161,29; -22287,86]

Fonte: Arquivo Pessoal (2025).

Nota: ** = significativo at 1%; ns = não-significante.

Esse conjunto de resultados evidência a intensificação do uso do solo em Goiás, marcando um cenário de transformação acelerada que, embora favoreça a produção agrícola regional e nacional, acarreta pressões sobre os ecossistemas nativos.

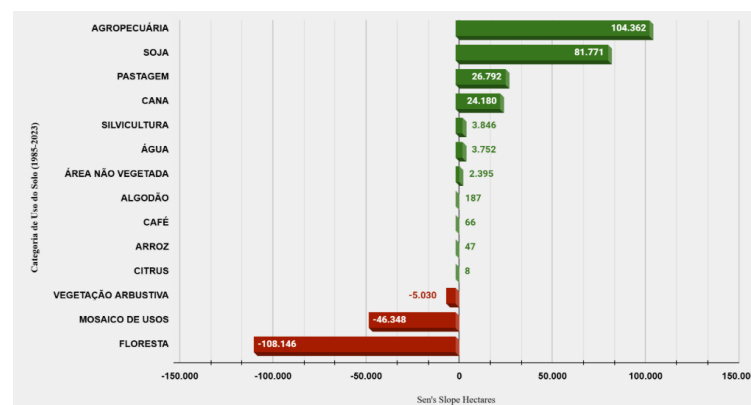


Figura 19 - Convergência dos dados da cobertura e uso da terra para o estado de Goiás usando o método de Sen 's Slope, entre 1985 e 2023

Fonte: Arquivo Pessoal (2025).

Entre 1985 e 2023, a área de recursos hídricos em Goiás apresentou um aumento acumulado de 58,88%, passando de 274.080,77 ha para 435.466,36 ha, o que corresponde a um ganho médio anual de 3.752,30 ha (*Sen's Slope*) (Tabela 6; Fig. 19). O período foi marcado por oscilações: entre 1996 e 1997 houve um aumento expressivo de 29,27%, seguido de relativa estabilidade até 1999. Posteriormente, ocorreram reduções de aproximadamente 10% em 2000 e 4% em 2001. A partir de 2002, a área voltou a crescer, mantendo tendência positiva até 2011, ainda que com certa estabilização entre 2007 e 2009, essa dinâmica de 1985 até 2023 está representada na figura 21 com a distribuição da tendência temporal para a classe Corpos Hídricos no estado de Goiás.

Essa dinâmica de expansão e retração está diretamente ligada ao regime pluviométrico do estado. Conforme a normal climatológica do INMET para Goiás (Fig. 20), o clima é caracterizado por uma sazonalidade extrema, com um período chuvoso concentrado de outubro a abril atingindo picos acima de 300 mm/mês e uma estação seca rigorosa, com chuvas próximas de zero entre junho e agosto. Nesse contexto, a queda significativa na superfície hídrica observada entre 2012 (413.360,48 ha) e 2019 (353.638,49 ha) pode ser diretamente associada a uma sequência de anos com chuvas abaixo da média histórica ou a eventos de estiagem mais severos, que impactaram a recarga dos corpos d'água. A reversão da tendência, com crescimento contínuo até atingir 435.466,36 ha em 2023, sugere o retorno de estações chuvosas com precipitação dentro ou acima do normal climatológica, favorecendo a recuperação e expansão dos recursos hídricos no estado.

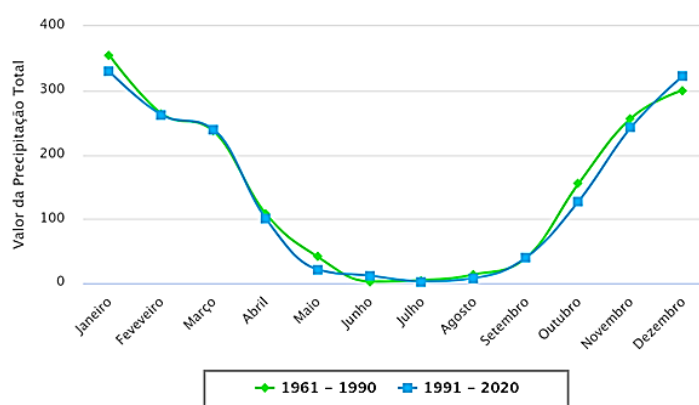


Figura 20 – Adaptado - Gráfico Climatológico comparativo de Goiás (1961-2020): precipitação acumulada (mm) pela estação (Goiás 83374) - INMET (instituto nacional de meteorologia)
Fonte: INMET (2025).

Esse aumento expressivo está mais bem contextualizado na pesquisa realizado por Dornelas e Teixeira (2025) investigaram os impactos da Usina Hidrelétrica de Serra

da Mesa, localizada no norte de Goiás, destacando que a construção do maior lago artificial do Brasil em volume de água, iniciada em 1986 e concluída em 1998, resultou no alagamento de parte de oito municípios com vegetação característica do bioma Cerrado. Antes do represamento, a vegetação nativa ocupava 82,5% da área inundada, mas em 1999 restou apenas 0,3% da cobertura vegetal não submersa, concentrada em pequenas ilhas dispersas na matriz aquática, evidenciando uma perda significativa do ecossistema original. Além disso, a área urbanizada sofreu redução significativa devido à submersão total de 13 vilarejos. A transformação do ambiente hidrográfico de um sistema lótico para lântico alterou drasticamente os aspectos físico-químicos da água, impactando negativamente a fauna local, como a redução de 31 para 11 espécies de anuros, representando uma queda de 65% na riqueza desses táxons. Os autores ressaltam que esses distúrbios naturais e antrópicos comprometem a biodiversidade local, promovendo a entrada de espécies exóticas e a fragmentação dos habitats, o que reduz a resiliência ecológica da região. Contudo, destaca também o papel fundamental da UHE para a matriz energética limpa do Brasil, enfatizando a necessidade de equilibrar os ganhos energéticos com a preservação dos serviços ecossistêmicos e o desenvolvimento de estratégias mitigadoras para futuros empreendimentos hidrelétricos (Dornelas; Teixeira, 2025).

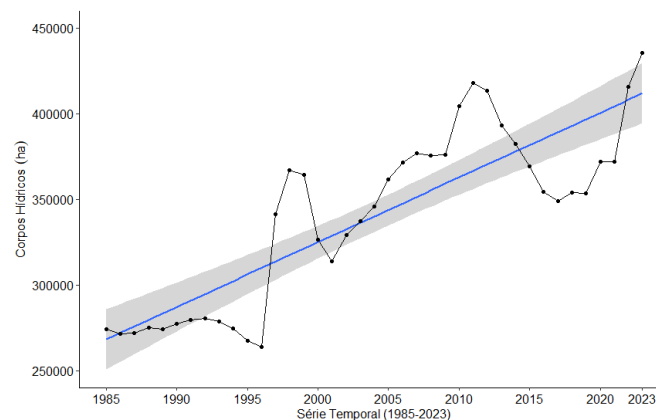


Figura 21 - Distribuição da tendência temporal para a classe Corpos Hídricos no estado de Goiás, entre 1985-2023
Fonte: Arquivo Pessoal (2025).

Mesmo diante de um cenário onde os valores (Tabela 6) “Água” $TAU +0,6167341$ e $Sen's Slope 3752,304$ ha/ano) se mostrarem positivos levando a considerar melhor esse cenário e interpretar com cuidado esse valor de ganho em cenários de escassez e a demanda cada vez mais crescente por manejos sustentáveis de recursos hídricos. Martins Filho (2025) salienta que a carência de dados climáticos em escalas adequadas limita o gerenciamento dos recursos hídricos no Brasil, especialmente no

Cerrado, onde a agricultura é intensiva e fortemente dependente da disponibilidade de água. Para superar essa lacuna, ele utiliza produtos de sensoriamento remoto e modelos de previsão climática para estimar a demanda hídrica atual e futura da cultura da soja no estado de Goiás. Os resultados indicam uma redução significativa da contribuição da água verde para a demanda hídrica da soja em cenários futuros, especialmente no cenário pessimista SSP5-8.5, e evidenciam penalizações crescentes na produtividade da soja devido ao déficit hídrico, reforçando a necessidade de planejamento estratégico e manejo otimizado da irrigação para garantir a sustentabilidade da agricultura regional.

A classe agropecuária, subdividida principalmente em agricultura e pastagem, demonstrou um crescimento contínuo e expressivo no período de 1985 a 2023. A área total dedicada a essa atividade aumentou de 16.111.239,06 ha em 1985 para 21.305.412,35 ha em 2023 (Fig. 22A). Dentro dessa classe, a pastagem se destaca por uma dinâmica de uso do solo com comportamento de duas fases distintas. Em 1985, sua área era de 10.178.865,32 ha, expandindo de forma constante e significativa até atingir um pico em 2003, com 15.109.249,10 ha (Fig. 22B). Essa fase de crescimento foi um dos principais motores da expansão agropecuária no estado. No entanto, a partir de 2004, observou-se uma inversão na tendência, com a área de pastagem registrando sua primeira redução em 18 anos, atingindo 14.953.914,60 ha. Esse evento marcou o início de um ciclo de declínio contínuo que se estendeu até 2023, quando a área chegou a 12.773.790,88 ha. Embora o teste de Mann-Kendall possa não ter detectado uma tendência estatisticamente significativa para a pastagem no longo prazo, a análise detalhada ano a ano revela uma transformação no uso do solo, com a conversão de pastagens para culturas agrícolas mais lucrativas.

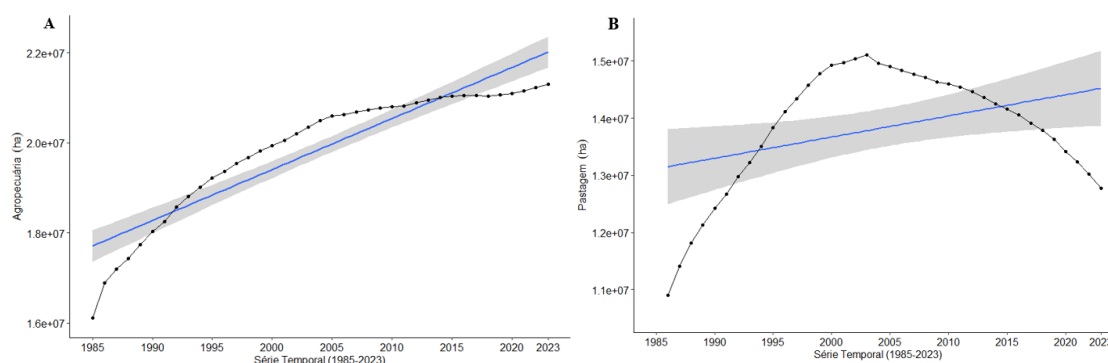


Figura 22 - Distribuição da tendência temporal para a classe Agropecuária (A) e Pastagem (B) no estado de Goiás, entre 1985-2023

Fonte: Arquivo Pessoal (2025).

A agricultura em Goiás apresenta uma tendência estatisticamente significativa ($p\text{-valor}<0,01$) e contínua de crescimento ao longo do período analisado (Fig. 23A). Em 1985, a classe agricultura ocupava 1.167.444,29 ha, com predominância quase absoluta da subclasse de lavouras temporárias (1.162.894,88 ha). Vale frisar que o Tau ($\tau=1,00$) desta classe destacou uma força e intensidade máxima de ganho ao longo do tempo (Tabela 6). Nesse contexto, a soja já se destacava, representando aproximadamente 32% da área total (Fig. 23C), enquanto culturas como cana (Fig. 23B), arroz e algodão ainda não exerciam influência expressiva. O restante da ocupação (cerca de 62%) estava associado a outras lavouras temporárias, com 792.329,32 ha (Fig. 22D). Entretanto, esse quadro sofreu profundas alterações ao longo dos 39 anos. Em 2023, a agricultura atingiu 5.480.158,89 ha (Fig. 23A), mantendo a concentração nas lavouras temporárias, mas com uma mudança marcante na composição interna da classe. A soja passou a exercer domínio quase absoluto, alcançando 4.234.977,06 ha (Fig. 23C), enquanto a cana-de-açúcar (Fig. 23B) se consolidou como a segunda cultura mais relevante, com 840.473,50 ha (cerca de um quinto da extensão da soja) (Fig. 23C). A expansão do agronegócio no estado de Goiás entre 2000 e 2019, especialmente a produção de soja, tem causado impactos ambientais significativos no bioma Cerrado, que abriga uma biodiversidade ampla e constitui um dos maiores biomas brasileiros. Durante este período, a área destinada à agricultura teve um crescimento exponencial, promovendo o desmatamento acelerado, com aproximadamente 42% do Cerrado goiano já transformado em áreas agrícolas, majoritariamente para o cultivo de soja (Mourão; Lino, 2021). A pesquisa evidencia que, embora a soja represente a principal oleaginosa produzida e a produção agrícola seja economicamente lucrativa, a expansão predatória da fronteira agrícola não respeita as práticas sustentáveis previstas no artigo 225 da Constituição Federal de 1988, comprometendo a preservação dos recursos naturais, o solo, a biodiversidade e os recursos hídricos essenciais para a manutenção do equilíbrio ambiental e da qualidade de vida (Mourão; Lino, 2021).

Por outro lado, a subclasse de outras lavouras temporárias (não inclui as lavouras temporárias de destaque como cana, soja, arroz e algodão) (Fig. 23D), que no início possuíam grande representatividade, reduziram-se significativamente, representando apenas 7% da área agrícola em 2023 (385.619,31 ha).

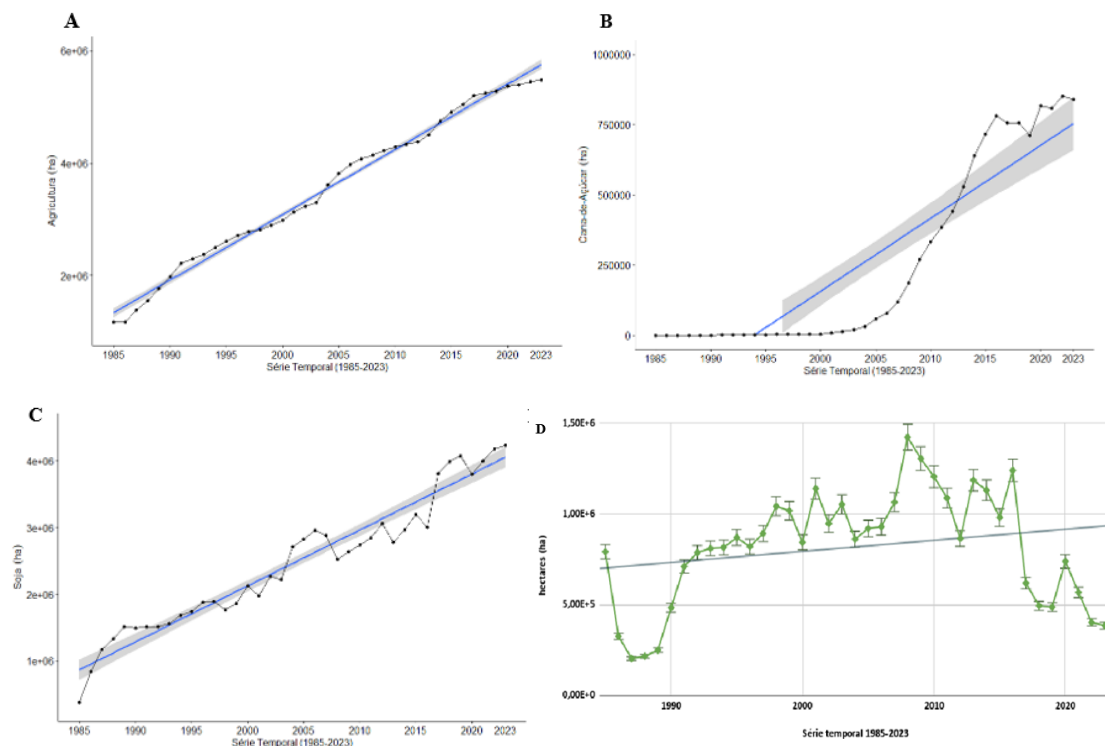


Figura 23 - Distribuição da tendência temporal para a classe Agricultura (A), com destaque para as culturas da Soja (B), Cana (C) e outras lavouras temporárias com a Dinâmica de ocupação territorial (D) no estado de Goiás, entre 1985-2023

Fonte: Arquivo Pessoal (2025).

Além das culturas de larga escala, a análise detalhada de outras classes de uso do solo em Goiás, entre 1985 e 2023, revela dinâmicas específicas. As lavouras perenes, a silvicultura e os mosaicos de uso demonstram comportamentos que indicam transformações e resiliência na paisagem (Fig. 24):

- Lavouras Perenes:** esta classe mostrou uma trajetória inicial de acentuado declínio. A área, que era de 4.549,42 ha em 1985, atingiu seu ponto mais baixo em 2007, com apenas 990,97 ha. Contudo, a partir de 2008, iniciou-se uma fase de recuperação e crescimento contínuo, levando a área a superar o valor inicial e alcançar 5.729,09 ha em 2023 (Fig, 24A). Esse comportamento sugere um ressurgimento do interesse em culturas perenes, impulsionado por novas tecnologias ou demandas de mercado;
- Silvicultura:** a expansão da silvicultura foi um dos fenômenos mais notáveis do período. A área destinada a essa atividade teve um crescimento altamente significativo, saindo de 7.599,69 ha em 1985 para 155.443,84 ha em 2023 (Fig, 24B). Essa expansão de aproximadamente 20 vezes reflete a consolidação de projetos de reflorestamento e de produção de madeira para fins industriais, demonstrando uma nova e importante vertente de uso do

solo na região; e

- c) Mosaicos de Uso: os mosaicos de uso, que representam a combinação de diferentes tipos de cobertura vegetal e uso do solo em pequena escala, seguiram uma trajetória de forte retração. A área ocupada por essa classe diminuiu de 4.757.329,76 ha em 1985 para 1.788.772,49 ha em 2017, uma redução de 2,66 vezes. No entanto, nos anos seguintes (2018 a 2023), essa tendência foi revertida. Em 2023, a área de mosaicos de uso recuperou-se para 2.896.018,74 ha, representando cerca de 61% de sua extensão original (Fig, 24C). Essa recuperação sugere uma estabilização ou até mesmo um aumento na diversificação das áreas de uso misto, possivelmente em pequenas propriedades.

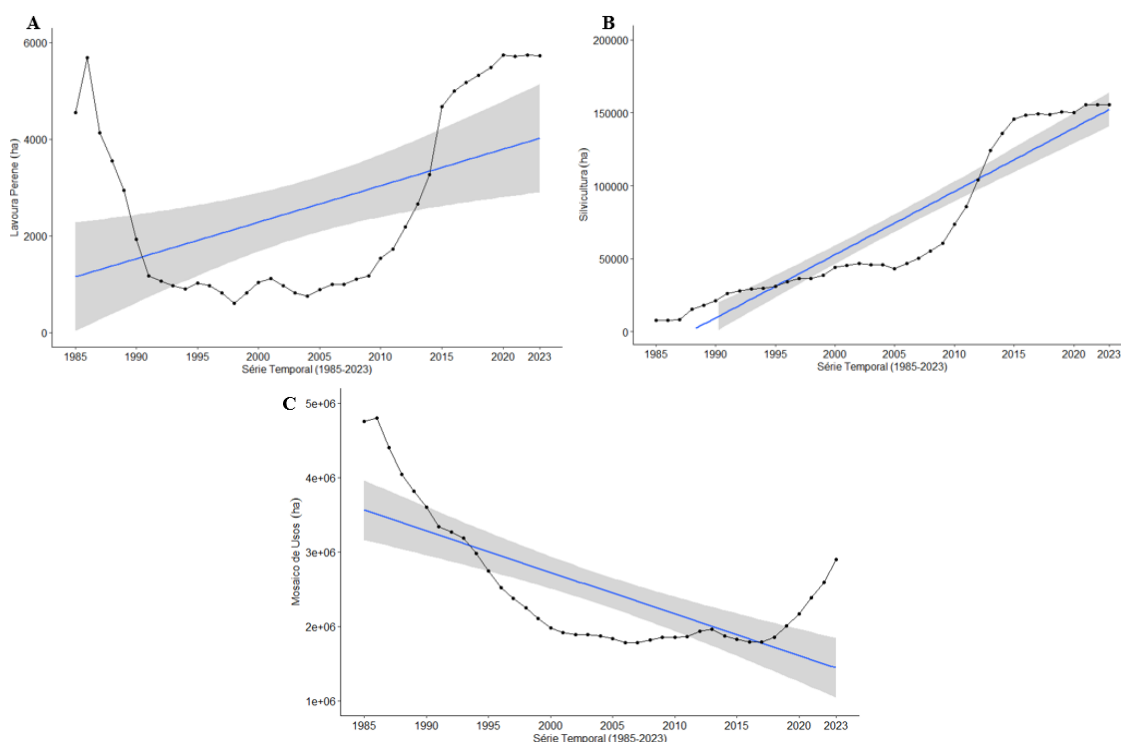


Figura 24 - Distribuição da tendência temporal para a classe Lavoura Perene (A), Silvicultura (B) e Mosaico de Usos (C) no estado de Goiás, entre 1985-2023
Fonte: Arquivo Pessoal (2025).

A análise temporal da classe floresta em Goiás, entre 1985 e 2023, revela uma forte tendência de retração, impulsionada pela conversão do bioma Cerrado (Fig. 25A). Em 1985, a área total de floresta no estado era de 15.492.637,97 ha, sendo majoritariamente composta por Formação Florestal (4.925.367,61 ha) e, principalmente, por Formação Savânica (10.567.270,36 ha). Figura 25B demonstra a dinâmica de ocupação ao longo da série temporal 1985-2023). No entanto, o cenário se transformou

drasticamente, e a área total de floresta caiu para 10.605.485,11 ha em 2023. Isso representa uma redução de aproximadamente 31,55% em relação ao seu valor inicial. A dinâmica de cada subcategoria mostra que a Formação Savânica foi a mais impactada. Enquanto a Formação Florestal apresentou uma redução mais gradual e lenta, perdendo em média 15.614 ha/ano e alcançando 4.316.413,74 ha em 2023, a Formação Savânica demonstrou uma vulnerabilidade muito maior ao uso antrópico. Com uma taxa de perda anual de 109.697,41 ha/ano, essa formação perdeu área a um ritmo 7,3 vezes superior ao da Formação Florestal, atingindo 6.289.071,38 ha em 2023. É válido ressaltar que os dados apontam que a Formação Savânica foi o tipo de vegetação do Cerrado mais suscetível à conversão para atividades agropecuárias durante o período analisado.

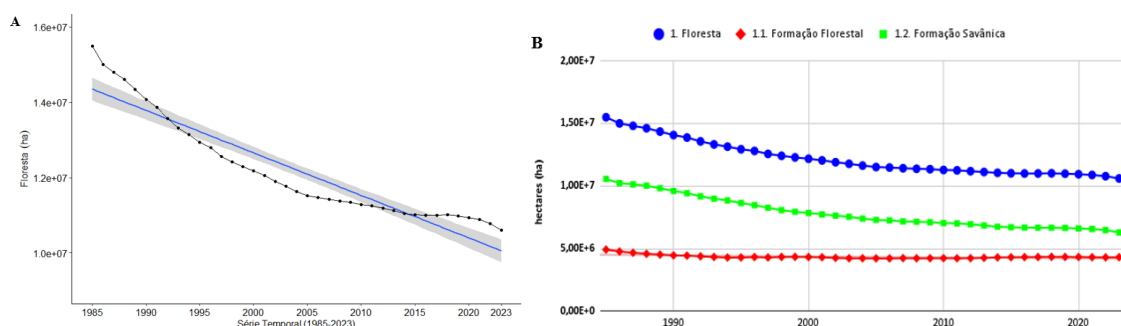


Figura 25 - Distribuição da tendência temporal para a classe Floresta (A) e Dinâmica de ocupação territorial Classe Floresta e suas subclasses F. Florestal e F. Savânica (B) no estado de Goiás, entre 1985-2023

Fonte: Arquivo Pessoal (2025).

A análise temporal da classe de vegetação arbustiva e herbácea neste período, em destaque, revela uma tendência de perda territorial, com uma taxa média de redução de aproximadamente 5.029,97 ha por ano (Fig. 26). Em 1985, a área total desta classe era de 1.643.255,38 ha. Ao final do período, em 2023, a extensão total reduziu em aproximadamente 22%, atingindo 1.280.064,26 ha, o que indica a conversão dessas áreas para outras classes de uso do solo. Ao detalhar o comportamento das subclasses (Fig/ 26B), observa-se uma dinâmica distinta:

- a) Campo alagado/pantanosos: esta subclasse teve uma queda inicial significativa, mas mostrou resiliência. Após atingir seu ponto mais baixo em 1999 (565.821,46 ha), a área oscilou e se recuperou, consolidando um crescimento a partir de 2011 e atingindo 627.231,64 ha em 2023;
- b) Formação campestre: esta foi a subclasse mais afetada. Com uma perda média anual de 7.185,57 ha, a área foi reduzida em aproximadamente 66,72% de sua extensão original, chegando a 561.860,42 ha em 2023. Esse declínio contínuo e acentuado sugere que a formação campestre é uma das

- áreas preferenciais para a expansão da fronteira agrícola; e
- c) Afloramento rochoso: em contraste, a subclasse de Afloramento rochoso demonstrou notável estabilidade. Sua extensão, de 90.862,98 ha em 1985, permaneceu quase inalterada, com uma perda mínima de apenas 109 ha, o que a torna menos atrativa para atividades agropecuárias.

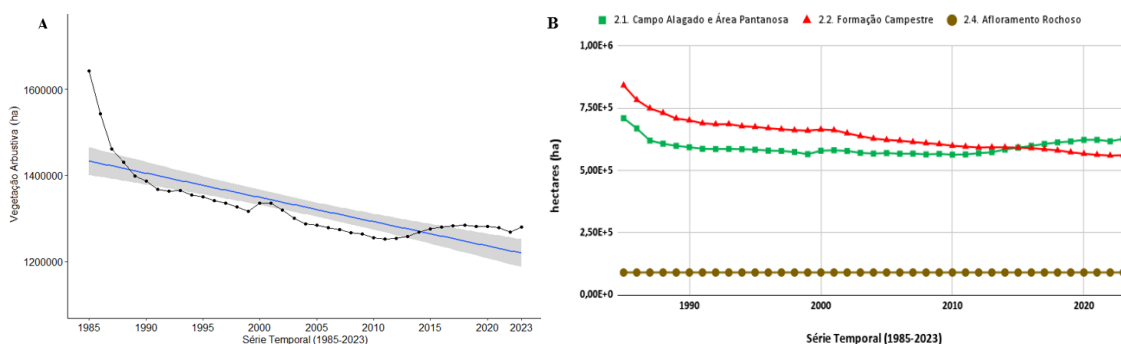


Figura 26 - (A) Distribuição da tendência temporal para a classe Vegetação Arbustiva e (B) Dinâmica de ocupação territorial das subclasses (classe vegetação arbustiva e herbáceas) e suas subdivisões, ambas no estado de Goiás entre 1985 - 2023

Fonte: Arquivo Pessoal (2025).

2.9 Mato Grosso do Sul (1985-2023)

Na Figura 27, destacam-se a dinâmica espaço-temporal da cobertura e uso da terra para o estado do Mato Grosso do Sul, com mapas temáticos entre 1985 e 2023. As classificações demonstram de forma substancial a conversão das áreas de floresta (pixels verde escuro e verde claro) para a agropecuária, onde a classe agricultura é predominante (pixels rosas), com destaque para as regiões sul, centro-sul, regiões central, nordeste e norte do Estado. Por outro lado, destaca-se o crescimento significativo da Silvicultura (pixels marrons). Entretanto, a classe de áreas cobertas por corpos d'água demonstraram forte impacto com a perda territorial deste recurso.

Com uma extensão territorial de 79.604.656,29 ha em 2023, Mato Grosso do Sul representa 21,93% da área total da Região Centro-Oeste. Ao observar a análise da estrutura fundiária e da dinâmica produtiva no Mato Grosso do Sul entre 1980 e 2020 revela um cenário marcado por uma elevada concentração territorial e uma produção agropecuária especializada e em larga escala. Conforme demonstrado por Duarte e L. Alves (2024), as propriedades com mais de 1000 ha, que representavam apenas 9,61% do total dos estabelecimentos em 2017, detinham 77,32% da área total do estado, refletindo um índice de Gini de 0,867. Esse modelo fundiário historicamente concentrado foi

fundamental para a expansão da produção de commodities, com ganhos expressivos de produtividade impulsionados pela modernização tecnológica. No período, a produção de soja expandiu-se em 727%, com a produtividade saltando de 1.639 kg/ha para 3.504 kg/ha, enquanto o rebanho bovino, um dos maiores do país, cresceu a uma taxa média de 1,18% ao ano, consolidando um setor primário voltado para a exportação, porém com baixa diversificação e participação relativa decrescente no PIB estadual.

A análise da dinâmica de uso do solo neste estado, no período de 1985 a 2023, revela padrões de transformação com forte convergência entre o tempo e as classes de uso do solo.

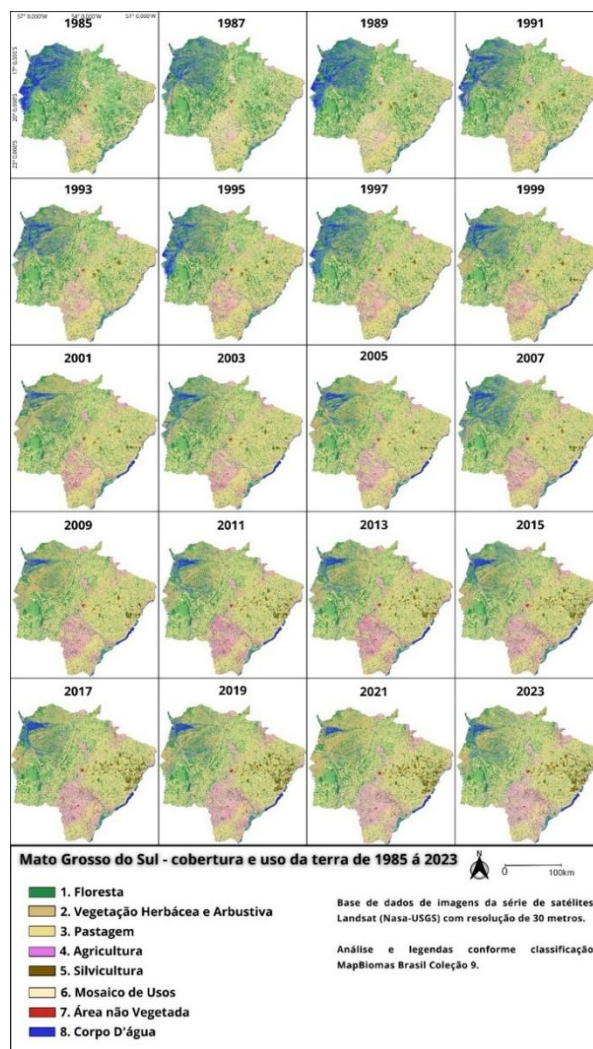


Figura 27 - Dinâmica espaço-temporal da cobertura e uso da terra do estado do Mato Grosso do Sul, com base na Coleção 9 do Map Biomas, entre 1985 e 2023

Fonte: Arquivo Pessoal (2025).

O comportamento de classes como a silvicultura, a cana-de-açúcar e a soja demonstram a intensificação do uso antrópico e a diversificação da matriz agrícola local. Embora testes estatísticos como o de *Mann-Kendall* (Tabela 7) não tenham revelado uma

significância estatística de longo prazo para as classes de pastagem, vegetação arbustiva e mosaicos de usos, a análise detalhada das tendências ano a ano para estas categorias indica mudanças expressivas. Essas variações, mesmo que não sigam uma tendência linear ao longo de toda a série temporal (1985-2023), são cruciais para a compreensão das complexas dinâmicas de alteração da paisagem e do uso do solo no Estado (Fig. 28). Na análise do teste de Mann-Kendall aplicada ao Mato Grosso do Sul (1985–2023) (Tabela 6), o coeficiente Tau apresentou relevância máxima ou muito próxima de +1 ou -1 para algumas classes de cobertura e uso da terra, evidenciando tendências bem definidas. Isso ocorreu, por exemplo, para Floresta (Tau=-0,9649), indicando uma tendência negativa acentuada de perda, e para Agropecuária (Tau=1,00), Agricultura (Tau=1,00) e Silvicultura (Tau=0,9325), todas com forte tendência positiva de expansão. Esses resultados são estatisticamente significativos a 99% de confiança ($p < 0,01$), confirmando que tais tendências não são aleatórias e refletem mudanças consistentes no uso da terra. Por outro lado, algumas classes não apresentaram significância estatística, como Vegetação Arbustiva ($p=0,2358$) e Pastagem ($p=0,8465$), o que indica ausência de tendência robusta de ganho ou perda ao longo da série histórica, reforçando que a série deve ser mais bem analisada e compreendida de maneira a compreender o que aconteceu nesse intervalo de 1985 até 2023 que retornasse um valor estatístico não significativo. Já a categoria Água apresentou Tau negativo (-0,4009) com significância a 99% ($p < 0,01$), sugerindo tendência de redução da área hídrica, embora com menor intensidade em comparação às demais classes, ainda é um fator crítico por se tratar justamente da classe “água”.

Tabela 7 - Análise de tendência temporal pelos testes de Mann-Kendell e Sens' Slope , aplicados para o estado de Mato Grosso do Sul, entre 1985 e 2023

Mato Grosso do Sul		(Mann-Kendall)				Sen's Slope	
Categoria de Uso do Solo (1985-2023)	Z-value	P-value	S	varS	Tau	Sen's Slope	Intervalo de Confiança 95%
Floresta	-8,6372	< 2.2e-16**	-715.000	6.833,67	-0,9649123	-91.990,57	[-117826.79; -64974.23]
Vegetação arbustiva	-1,1855	0,2358 ^{ns}	99.000	6.833,67	0,1336032	5.535,267	[-2814.412; 18371.727]
Agropecuária	8,9517	< 2.2e-16**	741.000	6.833,67	1,00	100.629	[74330.0; 124326.4]
Área não vegetada	5,8791	4,13e-09**	487.000	6.833,67	0,65722	1.101,929	[788.400; 1944.741]
Água	-3,5807	0,0003427**	-297.000	6.833,67	-0,4008097	-15.830,91	[-27059.333; -6764.667]
Pastagem	0,1936	0,8465 ^{ns}	1,700000e+01	6.833,67	2,2942e-02	5.776,235	[-50178.50; 67211.33]
Agricultura	8,9517	< 2.2e-16**	741.000	6.833,67	1,00	91.922,57	[87798.85; 95229.94]
Silvicultura	8,3468	< 2.2e-16**	691.000	6.833,67	0,9325236	23.376,33	[13535.31; 26872.04]
Soja	7,6452	2,086e-14**	633.000	6.833,67	0,854251	60.074,86	[50769.00; 69530.44]
Cana	8,2259	< 2.2e-16**	681.000	6.833,67	0,9190283	17.838	[9201.357; 22472.731]
Algodão	4,7781	1.77e-06**	384.000	6.425,33	0,5593628	330,50	[204.5000; 427.4231]
Mosaico de usos	-1,3065	0,1914 ^{ns}	-109.000	6.833,67	-0,1470985	-14.613,29	[-35877.455; 4889.481]

Fonte: Arquivo Pessoal (2025).

Nota: ** = significativo a 1%; ns = não significativo.

A observação de comportamentos não lineares (como oscilações ou períodos de estabilidade seguidos por mudanças abruptas) é fundamental para entender o impacto das políticas públicas, da tecnologia e das flutuações de mercado na ocupação do solo neste estado. No contexto do Mato Grosso do Sul, estado cuja identidade econômica está intrinsecamente ligada ao agronegócio e a uma estrutura fundiária historicamente concentrada (Duarte; Alves, L., 2024), evidencia-se que as pressões sobre os ecossistemas naturais são diversificadas. Para além das dinâmicas produtivas, a estabilidade dos biomas que compõem o seu território, notadamente o Pantanal, enfrenta desafios complexos. Como demonstrado por U. Ribeiro *et al.* (2024) no Pantanal do Abobral, sub-região sul-mato-grossense, identifica-se um processo de alteração na cobertura vegetal, com expansão de formações savânicas em detrimento de áreas florestais, impulsionado pela conjugação de eventos climáticos extremos, como secas severas, e a própria ação antrópica. Os autores constataam que "a vegetação arbórea responde à precipitação com um a dois meses de atraso" (Ribeiro, U. *et al.*, 2024, p.7), e que mesmo dentro de uma mesma classe de cobertura do solo, há respostas heterogêneas aos regimes de precipitação, destacando a extrema complexidade e sensibilidade desse ambiente. Este cenário corrobora a premência de políticas públicas que integrem o monitoramento funcional da vegetação, por meio de sensoriamento remoto e índices de sazonalidade, às estratégias de desenvolvimento regional, as quais devem transcender a produção e incluir a adaptação e mitigação dos impactos das mudanças climáticas na paisagem.

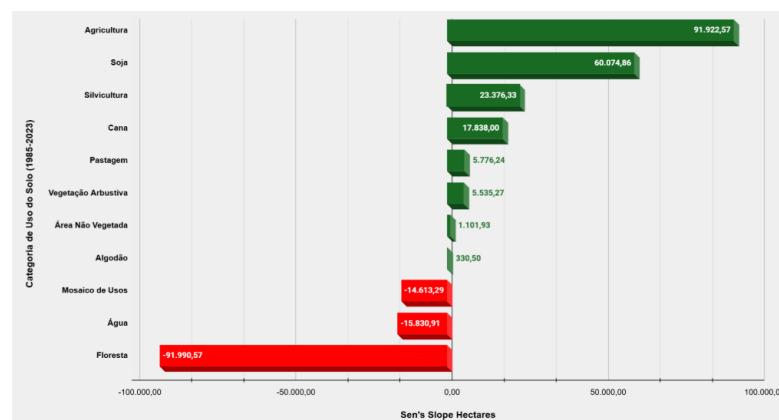


Figura 28 - Convergência dos dados da cobertura e uso da terra para o estado do Mato Grosso do Sul usando o método de Sen's Slope, entre 1985 e 2023
Fonte: Arquivo Pessoal (2025).

A análise da classe floresta em Mato Grosso do Sul, entre 1985 e 2023, revela um intenso processo de conversão de uso do solo (Fig. 29A). A tendência de queda é acentuada, com uma perda média anual de -91.990,57 ha/ano (Tabela 7). Em 1985, a área

total de floresta no estado era de 13.319.271,89 ha, sendo composta por Formação Florestal (7.951.230,58 ha) e Formação Savânica (5.368.041,31 ha). Após 39 anos de intensa atividade antrópica, a extensão territorial da classe floresta foi reduzida para 7.913.912,75 ha em 2023 (Fig. 29A). Isso representa uma diminuição de aproximadamente 40,58% da área total inicial. Ao detalhar o impacto nas subcategorias, os dados mostram que ambas foram severamente afetadas (Fig. 29B demonstra a dinâmica de ocupação 1985-2023), mas em diferentes proporções:

- a) a Formação Florestal teve uma redução de aproximadamente 34,75%, passando a ocupar 5.188.088,39 ha em 2023; e
- b) a Formação Savânica, por sua vez, sofreu uma perda ainda mais significativa, com uma redução de aproximadamente 49,22%, restando 2.725.824,36 ha em 2023.

Esses números reforçam a vulnerabilidade do bioma Cerrado, particularmente da sua fitofisionomia savânica, à expansão da fronteira agrícola.

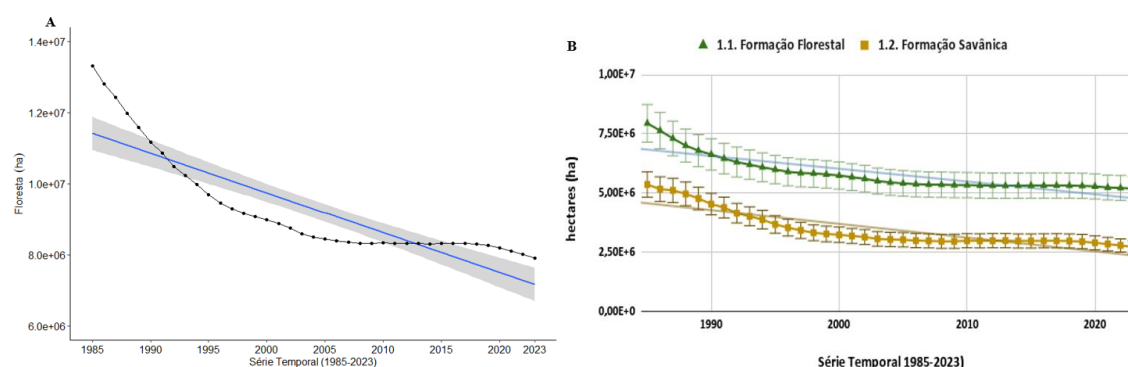


Figura 29 - Distribuição da tendência temporal para a classe Floresta (A) e Dinâmica de ocupação territorial das subclasses Formação Florestal e Formação Savânica (B) no estado do Mato Grosso do Sul, entre 1985-2023
Fonte: Arquivo Pessoal (2025).

A classe agropecuária em Mato Grosso do Sul apresentou uma convergência positiva altamente significativa ($p\text{-valor} < 0,01$) em sua extensão territorial ao longo dos 39 anos analisados. A área destinada a essa atividade expandiu de 14.711.803,52 ha em 1985 para 20.717.469,06 ha em 2023 (Fig. 30). Essa expansão representa um ganho de aproximadamente 40,82% na área total, consolidando a agropecuária como a principal força de transformação da paisagem no estado. Alterações na vegetação natural, associadas à expansão agropecuária e à intensificação da agricultura, modificam processos hidrológicos como infiltração, escoamento superficial e recarga de aquíferos, influenciando diretamente a disponibilidade e a qualidade da água em bacias hidrográficas.

Nesse contexto, estudos aplicados em diferentes regiões do Brasil têm buscado correlacionar a dinâmica de uso do solo com a resposta hidrológica, utilizando ferramentas estatísticas e indicadores ambientais para subsidiar estratégias de gestão e planejamento territorial. Na bacia hidrográfica do rio Amambai, Mato Grosso do Sul, as mudanças no uso e cobertura do solo têm alterado de forma significativa a dinâmica hidrológica local. Entre 1991 e 2021, observou-se a substituição de áreas de pastagem por lavouras temporárias, em especial a soja, com aumento de 617,27 km² (35% da área total), acompanhado pela redução de 501,48 km² em áreas de pastagem (27,5%). Essa alteração no uso do solo contribuiu para tendências positivas nas vazões mínimas e mínimas de sete dias, conforme indicado pelo teste de *Mann-Kendall* ($p < 0,05$), mesmo diante da ausência de tendências significativas na precipitação, que apresentou comportamento de redução.

Tais resultados evidenciam a influência direta das práticas antrópicas na regularização das vazões e na disponibilidade hídrica da bacia, destacando o papel da agricultura na modificação do regime hidrológico regional (Sumbulero *et al.*, 2025). Simultaneamente, a administração de tais recursos baseia-se na legislação vigente, conforme Barcelos, L. Costa e Jikimura (2023), o estado emitiu 760 outorgas em 2022, concentradas na bacia do Rio Pardo, e aprovou 5 estudos de enquadramento de corpos hídricos, priorizando bacias com pressão urbana e de saneamento, como a do Rio Ivinhema, que possui numerosas ETEs operando no limite de sua capacidade (Q95). Portanto, a transformação do uso da terra, se manejada de forma tecnicamente orientada, pode coexistir com a manutenção da quantidade hídrica, desde que articulada a uma gestão robusta baseada em outorga e enquadramento, essenciais para controlar a poluição e assegurar a qualidade da água para os múltiplos usos.

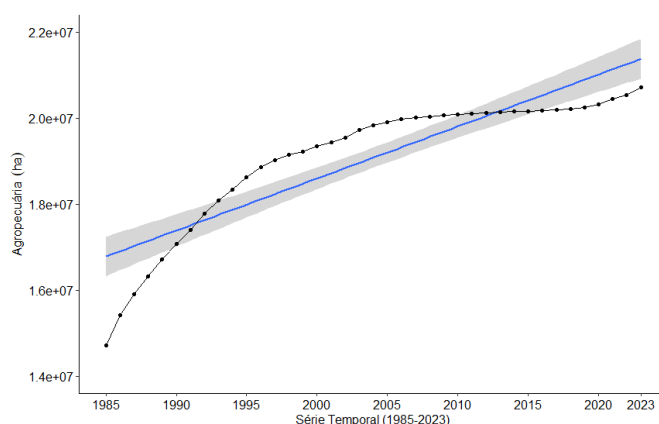
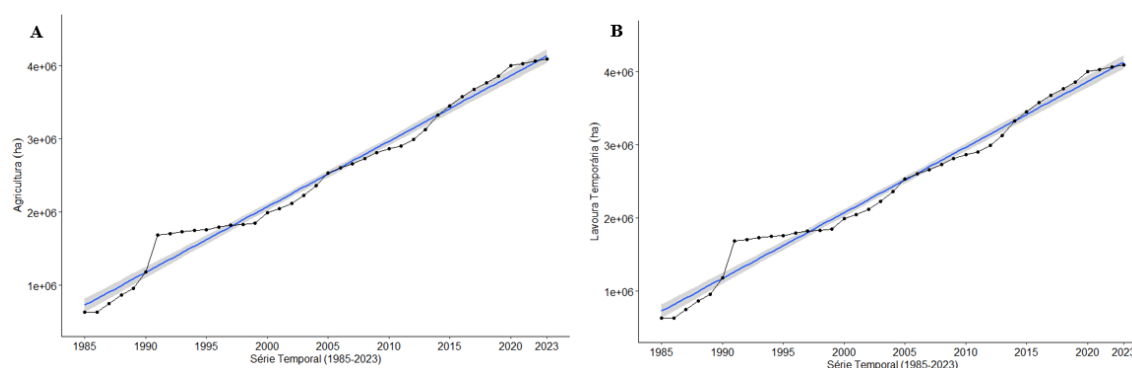


Figura 30 - Distribuição da tendência temporal para a classe Agropecuária no estado do Mato Grosso do Sul, entre 1985 - 2023

Fonte: Arquivo Pessoal (2025).

A análise da classe agropecuária revela que as subdivisões de agricultura, pastagem, silvicultura e mosaicos de uso são as principais impulsionadoras do uso antrópico no estado. A maior convergência de área ao longo do período de 1985 a 2023 é observada na agricultura (Fig. 31A), que se consolidou ao demonstrar uma forte tendência de expansão territorial. Em 1985, a área agrícola ocupava 633.828,44 ha, expandindo para 4.092.765,58 ha em 2023, o que representa um aumento de aproximadamente 6,4 vezes sua extensão inicial. Embora o crescimento tenha sido gradual e contínuo, a análise de dados anuais identifica um salto de expansão significativo entre 1990 e 1991, quando a área saltou de 1.182.993,90 ha para 1.686.812,37 ha, um aumento de cerca de 42,59% em um único ano. A taxa de crescimento anual, estimada pelo *Sen's Slope*, é de +91.922,57 ha/ano (Tabela 7), o que demonstra a intensa e consistente pressão de conversão de solo para a agricultura.

A maior representatividade na agricultura é atribuída às culturas de lavoura temporária (Fig. 31B), lideradas principalmente pela cultura da soja (Fig. 31C), mostrando sua dinâmica na temporalidade, que alcançou 3.214.303,43 ha em 2023, e pela cana-de-açúcar (Fig. 31D), mostrando sua dinâmica na temporalidade), com 622.022,16 ha no mesmo ano, deixando clara a importância da soja e da cana como vetores da expansão agrícola e da transformação do uso da terra para o Mato Grosso do Sul. Como demonstrado por Batista, Lopes e J. Costa (2022) em estudo de caso realizado em propriedade rural de Douradina-MS, a soja representa não apenas um vetor de transformação territorial, mas também uma atividade de custos elevados e complexos, com os insumos respondendo por cerca de 39,36% da receita bruta. Os autores constatarem que a ausência de controles formais de custos, substituídos pela experiência empírica dos produtores, resulta na subestimação de gastos e na tomada de decisões subótimas, frequentemente agravadas pela vulnerabilidade climática e volatilidade de preços.



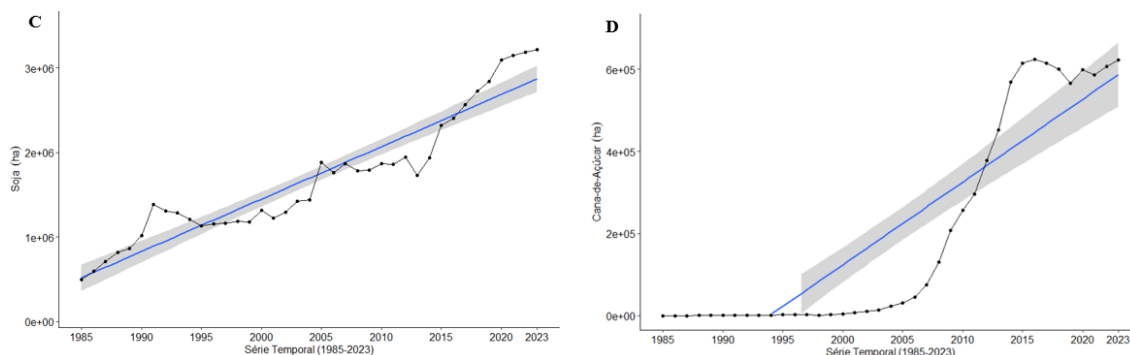


Figura 31 - Distribuição da tendência temporal para a classe Agricultura (B), Lavoura Temporária (B), Soja (C) e Cana de açúcar (D) no estado do Mato Grosso do Sul, entre 1985-2023

Fonte: Arquivo Pessoal (2025).

A análise das subclasses agrícolas revela comportamentos complexos e distintos ao longo da série histórica. A categoria de Outras Lavouras (que exclui soja, cana, algodão e arroz) demonstrou uma trajetória de intensa volatilidade, com flutuações expressivas em sua área. Após uma queda abrupta de 1985 para 1986, a área se recuperou de forma acentuada até 2004, atingindo 895.856,15 ha. No entanto, sofreu uma grande redução em 2005, e embora tenha atingido um pico de 940.855,48 ha em 2013, o período subsequente foi marcado por um declínio significativo e contínuo. Em apenas 10 anos (de 2013 a 2023), a área desta classe foi reduzida em aproximadamente 75%, chegando a 242.671,57 ha.

Essa dinâmica pode ser um reflexo de mudanças no mercado, desvalorização de culturas específicas ou a substituição por lavouras mais rentáveis, como a soja e a cana-de-açúcar. Já a classe de Mosaicos de Usos (Fig. 32), embora não apresente uma tendência estatística significativa para o período completo, destaca uma certa resiliência e recuperação. Partindo de uma extensão de 4.377.063,30 ha em 1985, a área de mosaicos de uso sofreu um declínio expressivo até 2001, atingindo 1.336.100,67 ha. No entanto, a partir de 2002, iniciou-se um processo de recuperação gradual, que resultou em uma área de 2.930.179,35 ha em 2023. Esse valor corresponde a cerca de 67% da extensão original de 1985, indicando que, após um período de intensa pressão e fragmentação, essas áreas de uso misto estão se estabilizando ou se reorganizando na paisagem.

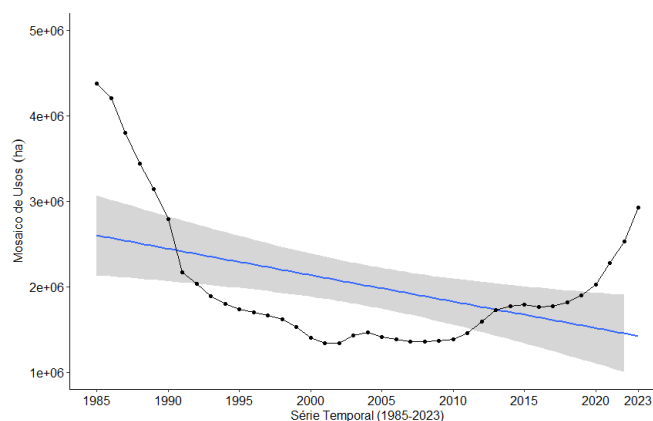


Figura 32 - Distribuição da tendência temporal para a classe Mosaico de Usos, no estado do Mato Grosso do Sul, entre 1985-2023

Fonte: Arquivo Pessoal (2025).

A análise das subclasses de pastagem (Fig. 33A) e silvicultura (Fig. 33B) revela dinâmicas de cobertura e uso da terra distintas e complexas ao longo dos 39 anos de estudo. A pastagem, que em 1985 ocupava 9.665.555,22 ha, apresentou um crescimento significativo até 2002, atingindo 15.912.753,39 ha. No entanto, nos anos seguintes, a área começou a oscilar, com períodos de ganho e perda, até iniciar um declínio contínuo a partir de 2007. Em 2023, a área de pastagem havia reduzido para 12.741.767,22 ha, o que representa uma perda de 20% em relação ao pico de 2002 (Fig. 32A). Embora a tendência estatística geral para o período completo de 1985-2023 possa indicar um ganho médio anual de 5.776,235 ha/ano, uma análise mais aprofundada da série histórica revela um comportamento oposto na última década e meia, com uma perda gradual de área que reflete a conversão de pastagens para culturas agrícolas mais rentáveis, como soja e cana-de-açúcar.

O artigo “A expansão de áreas de pastagem e da bovinocultura no Brasil: uma avaliação considerando o ordenamento territorial e o uso do solo atual” aborda o Mato Grosso do Sul destacando que, diferentemente da tendência nacional de crescimento, o estado registrou uma redução de 5,40% no efetivo bovino entre 2017 e 2022, passando de 19,48 milhões para 18,43 milhões de cabeças de gado. Essa queda é atribuída, segundo o autor, à conversão de áreas de pastagem para outras finalidades, sobretudo a agricultura mecanizada, o que reflete tanto mudanças estruturais na economia rural do estado quanto a pressão por maior produtividade no uso da terra. Assim, o Mato Grosso do Sul surge como uma exceção no cenário nacional de expansão da bovinocultura, indicando uma reorganização territorial da pecuária em resposta às demandas econômicas e ambientais (Costa, I.; Rodrigues, 2024).

Já a silvicultura demonstra uma trajetória de expansão acentuada, consolidando-

se como um importante vetor de uso do solo no Estado. Partindo de uma área de 35.356,56 ha em 1985, a classe teve um crescimento inicial até 1991, seguido por um período de baixa oscilação até 2005 (166.412,90 ha). Contudo, a partir de 2006, a silvicultura experimentou um boom de crescimento, expandindo sua área para 952.756,91 ha em 2023 (Fig. 33B). Esse aumento de aproximadamente 5,5 vezes em apenas 17 anos evidencia o crescente interesse e a viabilidade econômica do setor de florestas plantadas em Mato Grosso do Sul. A silvicultura consolidou-se como um dos polos estratégicos de expansão no Brasil, com aproximadamente 616 mil ha de plantações comerciais de eucalipto em 2021. Os dados do projeto Map Biomas indicaram uma acurácia de 76,7% na identificação dessas áreas no estado, valor que, embora satisfatório, ainda apresenta limitações quando comparado a regiões como São Paulo e Bahia. A expansão da atividade ocorreu majoritariamente sobre áreas de pastagens e formações naturais, acompanhando a tendência nacional de conversão do uso da terra.

Ademais, observou-se que as plantações passaram a ocupar regiões de menor altitude, solos mais arenosos e locais com maior sazonalidade de chuvas, configurando um cenário de maior risco edafoclimático para a produção florestal. Esses resultados reforçam tanto a importância do estado na cadeia produtiva da silvicultura quanto os desafios ambientais e de planejamento associados ao avanço das florestas plantadas (Alvares; Mafia, 2023). O artigo sobre a expansão da silvicultura do eucalipto em áreas do Cerrado: fatores condicionantes e implicações econômicas, sociais e ambientais reforça que no Mato Grosso do Sul, a silvicultura do eucalipto apresentou um dos maiores crescimentos do país, consolidando-se como polo estratégico da atividade.

Entre 2005 e 2021, a área plantada no estado aumentou 819%, alcançando mais de 1,04 milhão de hectares em 2021, o que o posiciona entre os maiores produtores nacionais. Essa expansão concentrou-se principalmente na porção leste do estado, em municípios como Três Lagoas, Água Clara e Ribas do Rio Pardo, onde os solos arenosos profundos e o relevo plano favoreceram a implantação dos plantios. Os investimentos da indústria de celulose e os incentivos fiscais foram decisivos para essa transformação, impulsionando o PIB e o IDH municipais. Contudo, o modelo também gerou impactos sociais e ambientais, como a concentração fundiária, a substituição da pecuária extensiva e da agricultura familiar, o inchaço urbano e a sobrecarga de serviços públicos, além da pressão sobre recursos hídricos e ecossistemas locais (Cruz, J. *et al.*, 2023).

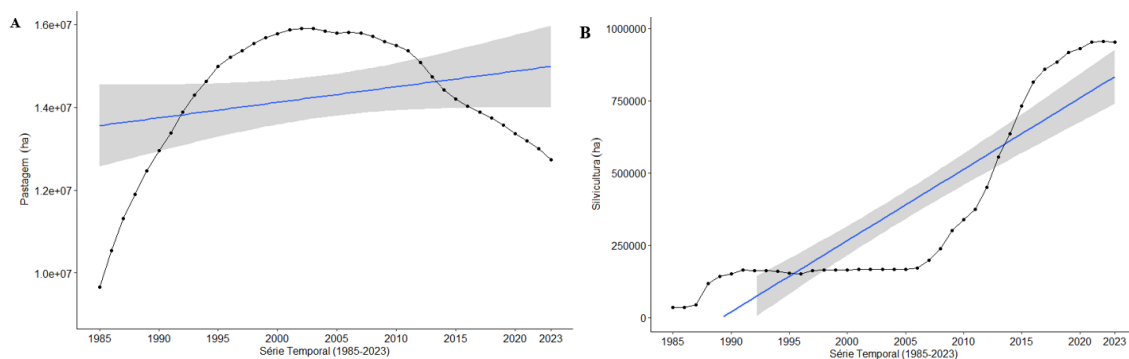


Figura 33 - Distribuição da tendência temporal para a classe Pastagem (A) e Silvicultura (B), no estado do Mato Grosso do Sul, entre 1985-2023

Fonte: Arquivo Pessoal (2025).

A análise da área de recursos hídricos no período de 1985 a 2023 revela uma dinâmica altamente volátil, com uma tendência de perda alarmante (Fig. 34). Em 1985, a área total de recursos hídricos era de 2.428.863,70 ha, mas o período subsequente foi marcado por fortes oscilações interanuais, como a queda significativa para 811.057,94 ha em 1986 e a recuperação parcial em 1988 para 2.538.044,78 ha. Esse padrão de flutuações, com picos cada vez menores, sugere uma fragilidade crescente dos ecossistemas aquáticos. A partir de 2006, a área de recursos hídricos pareceu encontrar uma nova linha de base, estabilizando-se em uma média de 1.092.545,39 ha por três anos, mas o padrão de oscilação retornou, desta vez com uma tendência negativa de -15.830,91 ha/ano (*Sen's Slope*).

O resultado mais preocupante é o valor de 651.064,78 ha registrado em 2023, o que representa uma redução de aproximadamente 73% da área inicial de 1985. Esta redução drástica na extensão territorial de recursos hídricos é um sinal de alerta sobre a sustentabilidade ambiental no Mato Grosso do Sul. A tendência observada sugere que, se o ritmo de perda continuar, a totalidade desses recursos pode ser extinta em aproximadamente 41 anos, destacando a necessidade urgente de políticas de conservação e gestão hídrica. Nesse sentido, observa-se que o estado tem buscado avanços institucionais por meio da implementação dos instrumentos de outorga e enquadramento dos corpos hídricos, que se tornaram estratégicos para compatibilizar quantidade e qualidade da água frente às pressões antrópicas.

Desde a primeira outorga emitida em 2015, o Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul (IMASUL) já contabiliza milhares de regularizações, incluindo mais de 8.600 registros até 2021 e outros 760 apenas em 2022, acompanhados da aprovação de cinco novos estudos de enquadramento que abrangeram 17 municípios. Casos como o da Bacia do Rio Ivinhema, marcada por grande concentração de Estações de Tratamento

de Esgoto, evidenciam a urgência de metas progressivas para conter o lançamento de efluentes e recuperar a capacidade de autodepuração dos corpos hídricos. Assim, a conjugação entre os dados de retração territorial dos recursos hídricos e os esforços de gestão legal demonstra que, embora avanços normativos e institucionais estejam em curso, eles ainda precisam ser intensificados e articulados com políticas de conservação para enfrentar a magnitude da perda hídrica observada no estado (Barcelos, Costa, L.; Jikimura, 2023).

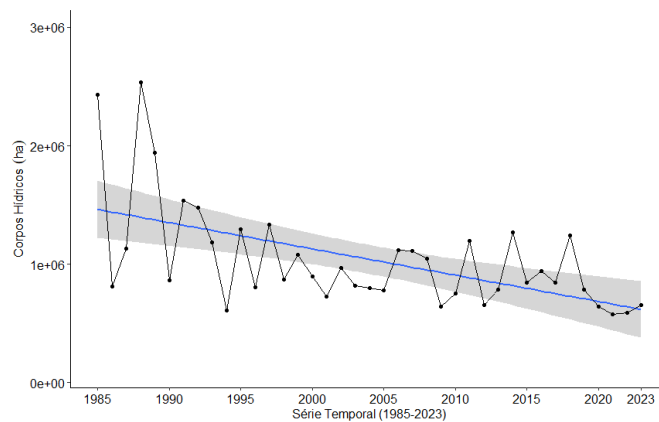


Figura 34 - Distribuição da tendência temporal para a classe Corpos Hídricos no estado do Mato Grosso do Sul, entre 1985 - 2023

Fonte: Arquivo Pessoal (2025).

Assim, a conjugação entre os dados de retração territorial dos recursos hídricos e os esforços de gestão legal demonstra que, embora avanços normativos e institucionais estejam em curso, eles ainda precisam ser intensificados e articulados com políticas de conservação para enfrentar a magnitude da perda hídrica observada no estado (Barcelos, Costa, L.; Jikimura, 2023). Adicionalmente, a intensificação da agropecuária e a expansão recente da silvicultura no Mato Grosso do Sul configuram fatores de pressão sobre a disponibilidade hídrica, exigindo que os instrumentos de gestão avancem de uma perspectiva regulatória para uma abordagem preventiva e integrada de uso do solo e da água.

A classe de Vegetação Arbustiva e Herbácea, com uma área de 6.262.309,77 ha em 2023, não apresentou uma tendência estatística significativa no longo prazo, mas uma análise mais detalhada de suas subclasses revela uma dinâmica territorial de inversão notável (Fig. 35A). Em 1985, a subclasse de Campo Alagado/Área Pantanosa (Fig. 35B) dominava a paisagem, ocupando 3.697.419,40 ha, o que correspondia a cerca de 75% da área total da classe. Em contrapartida, a Formação Campestre (Fig. 35B) representava apenas cerca de 25%, com 1.247.064,46 ha. No entanto, após 39 anos, essa proporção se

inverteu drasticamente. Em 2023, o Campo Alagado/Área Pantanosa foi reduzido para 2.765.663,52 ha, representando apenas 44% da classe, uma perda de 1,34 vezes sua extensão original. Em contraste, a Formação Campestre expandiu sua área para 3.495.784,76 ha, alcançando 55,82% da representatividade total, um aumento de 2,8 vezes sua área inicial. A subclasse de Afloramento Rochoso (Fig. 35B) permaneceu praticamente inalterada ao longo de todo o período, demonstrando sua estabilidade frente ao uso antrópico.

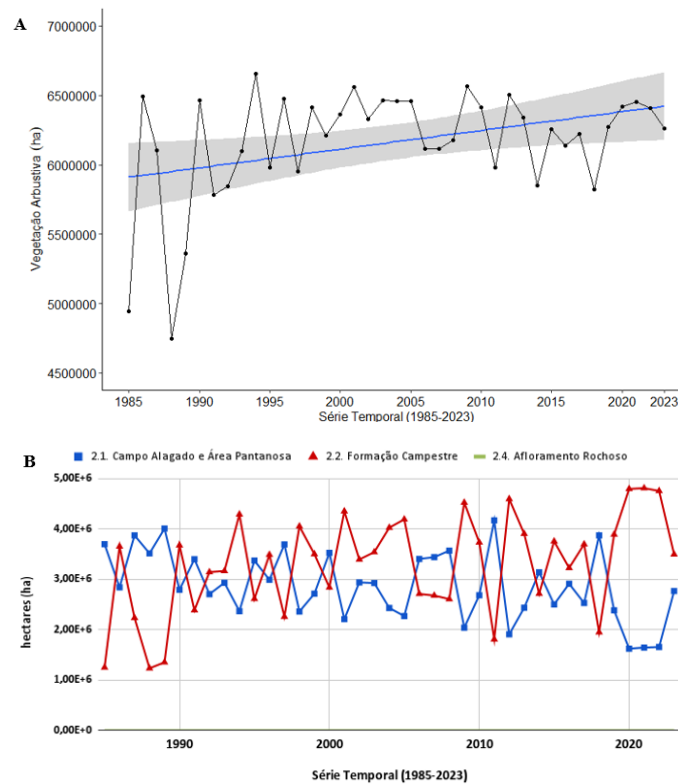


Figura 35 - Distribuição da tendência temporal para a classe Vegetação Arbustiva (A) e Dinâmica de ocupação territorial das subclasses (C.A, F.C e A.R) da Classe Vegetação Arbustiva e Herbácea (B) no estado do Mato Grosso do Sul, entre 1985-2023

Fonte: Arquivo Pessoal (2025).

Essa inversão territorial resultou em um ganho geral para a classe de Vegetação Arbustiva e Herbácea, que passou de 4.945.344,86 ha em 1985 para 6.262.309,77 ha em 2023. Esse aumento, no entanto, demonstra estar sendo impulsionado principalmente pela expansão da Formação Campestre, que se mostra mais resiliente ou menos visada para a conversão do que o Campo Alagado/Área Pantanosa.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo investigou a dinâmica espaço-temporal da cobertura e uso da terra no Centro-Oeste brasileiro, com foco nos estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás, no período de 1985 a 2023. Para tanto, foram empregadas séries históricas *Landsat* harmonizadas com o produto *MapBiomas* (Coleção 9) e processadas em ambiente *Google Earth Engine*. A análise de tendências temporais foi conduzida por meio dos testes de Mann–Kendall e da estimativa da inclinação de Sen (*Sen's Slope*), complementadas por avaliação espacial das transições entre classes de uso e cobertura da terra (LULC). Essa abordagem metodológica permitiu responder aos objetivos de mapear mudanças em aproximadamente quatro décadas dessa região, quantificar padrões de conversão entre classes e explorar relações entre os diferentes usos da terra e indicadores hidrológicos regionais. Assim a dinâmica de cobertura e uso da terra na região Centro-Oeste do Brasil, apresenta característica de um processo dinâmico e complexo devido às condições naturais e pressões pelas ações antrópicas, que pode ser dividido em três grandes momentos de análise espaço-temporal (1985-2023):

Primeiro momento retrata a expansão acelerada da Agropecuária regional (1985 - início dos anos 2000): esse período foi marcado pelo avanço expressivo da agropecuária, impulsionado pela conversão de extensas áreas de vegetação nativa. A floresta e suas fitofisionomias, especialmente a Formação Savânica, foram os principais alvos, com perdas significativas em todos os Estados avaliados:

- a) 1985: a floresta no Centro-Oeste ocupava uma área total de aproximadamente 15,5 milhões de hectares, com a Formação Savânica representando a maior parte. A pastagem e a Formação Campestre também dominavam a paisagem agrícola;
- b) final dos anos 80 - início dos 90: a agricultura de larga escala, principalmente a soja, começa a ganhar força. Em Mato Grosso do Sul, a agricultura expandiu em mais de 40% entre 1990 e 1991; e

- c) início dos anos 2000: a pastagem atinge seu pico de extensão territorial, com aproximadamente 15,9 milhões de ha em Mato Grosso do Sul e 15,1 milhões de ha em Goiás, consolidando a pecuária como o principal uso da terra.

Em um segundo momento têm-se a transição e otimização do uso do solo (início dos anos 2000 - 2017): esta fase marca o início de uma mudança no padrão de uso do solo, onde a conversão de novas áreas desacelera e a substituição de classes começa a ganhar destaque:

- d) pós-2003: a pastagem inicia um período de declínio contínuo em Goiás e, a partir de 2007, em Mato Grosso do Sul. Essa redução sinaliza a intensificação da agricultura, que começa a ocupar áreas de pastagem degradada;
- e) 2007-2008: o interesse por lavouras perenes e de silvicultura retorna e começa a crescer de forma sustentada após anos de quase irrelevância, indicando a diversificação da matriz agrícola e a busca por atividades de maior valor agregado;
- f) recursos hídricos: a área de corpos hídricos mostra uma tendência de perda em Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, com oscilações que, no geral, refletem uma vulnerabilidade crescente, enquanto Goiás apresenta uma tendência oposta, com ganhos na sua área de recursos hídricos, significativamente importantes pelos períodos frequentes e atuais da seca no Estado. Terceiro momento a estabilização e reorganização da paisagem (2018-2023): nos anos mais recentes, revela um processo de reorganização territorial, com algumas classes recuperando ou estabilizando sua extensão, enquanto outras continuam em declínio;
- g) a partir de 2018: a área de mosaicos de usos em Mato Grosso do Sul e Goiás reverte a tendência de queda, recuperando uma parte significativa da sua extensão original. Isso pode indicar uma estabilização da fronteira agrícola e um possível aumento na diversificação em pequenas propriedades;
- h) a partir de 2013: a área de Outras Lavouras em Mato Grosso do Sul sofreu uma queda significativa, reduzindo de forma alarmante para 75% em apenas 10 anos. Este dado reforça que a expansão agrícola é direcionada para culturas de alta lucratividade, como soja e cana-de-açúcar, em detrimento de lavouras menores e mais diversas; e
- i) 2023: os resultados mostraram que a silvicultura e a agricultura continuaram em franca expansão. A Formação Campestre em Mato Grosso do Sul chega

a ultrapassar a área de Campo Alagado/Pantanosos, evidenciando uma inversão no uso do solo que favorece a Formação Campestre. Os recursos hídricos em Mato Grosso do Sul atingem um nível alarmante, com uma perda de 73% em relação ao início da série temporal, em 1985.

Em síntese, os resultados revelaram uma conversão significativa de formações naturais em usos agropecuários e silviculturais, acompanhada de perdas progressivas de áreas de floresta e recursos hídricos. A análise estatística indicou tendências consistentes de crescimento das classes agrícolas e de pastagem, em paralelo ao declínio acentuado de florestas e áreas hídricas, com valores de Sen's Slope expressivos. O Mato Grosso apresentou expansão contínua da agricultura e da pastagem, enquanto o Mato Grosso do Sul registrou perda expressiva de cobertura florestal (cerca de 40,6% entre 1985 e 2023, equivalente a uma média anual de -91.990,57 ha/ano), acompanhada da expansão da silvicultura. Já Goiás apresentou avanço agrícola relevante, com oscilações nas áreas hídricas associadas a reservatórios e à variabilidade climática. Esses padrões se alinham a evidências independentes de intensificação de secas e maior demanda evaporativa no Cerrado, indicando fragilidade crescente da resiliência hídrica regional.

Cumprido destacar que a identificação de tendências espaciais e temporais não constitui, por si só, comprovação de causalidade direta entre mudanças da cobertura e uso da terra e alterações hidrológicas. Essa limitação reforça a necessidade de análises complementares, como modelagem hidrológica processual, simulações de balanço hídrico e testes de sensibilidade baseados em cenários contrafactuais que condicionem os resultados às variações climáticas observadas. Do mesmo modo, deve-se considerar as incertezas associadas à acurácia dos produtos cartográficos utilizados (*MapBiomas*, *Landsat*) e à detecção de corpos hídricos em séries históricas, que podem afetar as estimativas de tendência. A comunicação transparente dessas incertezas é parte integrante do rigor científico e aumenta a utilidade dos resultados para gestores e tomadores de decisão. Do ponto de vista aplicado, os achados deste trabalho apontam para prioridades territoriais de conservação e gestão hídrica:

- a) proteção e restauração de formações florestais em áreas críticas de perda;
- b) avaliação dos impactos da expansão silvicultural sobre a disponibilidade hídrica local; e
- c) formulação de instrumentos de gestão (outorgas, zoneamentos) que considerem as diferenças estaduais nos padrões de mudança de uso da terra.

Recomenda-se, ainda, a implementação de programas de monitoramento

contínuo que integrem produtos “multirresolução”, verificação de campo e modelagem hidrológica acoplada, a fim de subsidiar decisões com margens de erro conhecidas e aceitáveis.

Como linhas futuras de investigação, sugere-se: (a) a aplicação de modelos hidrológicos de base processual (*SWAT*, *MIKE SHE*, *PCR-GLOBWB*) para estimar respostas de vazão, recarga e escoamento frente a cenários de uso da terra; (b) a quantificação da propagação de incertezas decorrentes de erros de classificação dos mapas da cobertura da terra sobre as tendências estimadas; (c) a incorporação de dados de alta resolução (*Sentinel-2*, *PlanetScope*) para validação em pontos críticos e para detecção de mudanças de curta escala; (d) a estimativa de impactos sobre serviços ecossistêmicos, como sequestro de carbono e regulação de cheias, decorrentes das conversões observadas; e (e) a integração de análises socioeconômicas, fundiárias e culturais para explorar como estruturas produtivas e modos de vida modulam as pressões antrópicas sobre o território.

Deste modo a pesquisa validou a magnitude das pressões antrópicas e climáticas sobre a cobertura e o uso da terra no Centro-Oeste, evidenciou tendências críticas de perda de recursos hídricos e vegetação nativa, e destacou a necessidade de políticas estaduais integradas de gestão territorial e hídrica. Ao mesmo tempo, ressaltou os limites metodológicos e abriu caminhos para investigações futuras que aprimorem a atribuição causal e ampliem a integração entre ciência, gestão e sociedade.

3.1 Delimitações e condicionantes da pesquisa

Os resultados desta pesquisa oferecem evidências sólidas e reveladoras sobre as dinâmicas espaço-temporais de uso e cobertura da terra no Centro-Oeste brasileiro entre 1985 e 2023, com potencial para guiar ações futuras de forma exploratória, e com resultados com teor mais robusto. Os produtos de sensoriamento remoto como *Landsat* e *MapBiomas* proporcionam uma visão abrangente, embora resoluções espaciais e espectrais possam refinar ainda mais a detecção de detalhes finos, como distinções entre silvicultura e vegetação secundária. Processos de harmonização já mitigaram bem efeitos de nuvens, atmosfera e sazonalidade, garantindo séries temporais consistentes.

Os testes de *Mann-Kendall* e *Sen's Slope*, amplamente validados em estudos ambientais, capturam tendências lineares com precisão, abrindo caminhos para explorar

não linearidades em análises complementares. As conexões entre mudanças da cobertura da terra e dinâmica hidrológica, via tendências e sobreposições espaciais, geram insights iniciais promissores, prontos para expansão com modelos hidrológicos integrados.

A rica heterogeneidade climática e socioeconômica da região enriquece as descobertas em escala estadual, e calibrações adicionais com dados locais podem elevar a resolução para contextos ainda mais específicos. Esses aspectos reforçam o valor robusto dos achados, convidando a integrações inovadoras em estudos vindouros.

REFERÊNCIAS

ALENCAR, A. *et al.* Mapping three decades of changes in the Brazilian Savanna native vegetation using landsat data processed in the Google Earth Engine platform. **Remote Sensing**, v.12, n.6, p.924, 13 Mar. 2020. <https://doi.org/10.3390/rs12060924> Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/6/924> Acesso em: 17 maio 2025.

ALENCAR, A. A. *et al.* MapBiomias General Handbook - Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) - Collection 9 - Cerrado – Appendix. **MapBiomias Data**, v.1, 2025. <https://doi.org/10.58053/MapBiomias/WWCRLU> Disponível em: <http://data.mapbiomas.org/dataset.xhtml?persistentId=doi:10.58053/MapBiomias/WWCRLU> Acesso em: 19 maio 2025.

AGAPITO, L. A. Agricultura inteligente: revisão literária sobre a tendência global e evolução no Centro-Oeste Brasileiro. **Revista de Tecnologia & Gestão Sustentável**, [S.l.], v.3, n.8, p.82-97, 2024. <https://doi.org/10.17271/NKJ43888> Disponível em: <https://hdl.handle.net/10067/2114180151162165141>. Acesso em: 20 maio 2025.

ALVARES, C. A.; MAFIA, R. G. Mudança no uso da terra e crescimento da silvicultura no Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (SBSR), 20., 2021, Florianópolis. **Anais [...]**. São José dos Campos: INPE, v.20, p.837-840, 2023. Disponível em: <https://proceedings.science/p/164284?lang=pt-br> Acesso em: 16 set. 2025.

ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n.6, p.711-728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507> Disponível em: https://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/Koppen_s_climate_classification_map_for_Brazil?af=crossref Acesso em: 23 maio 2025.

ALVES, O. R.; PASQUALETO, A. A importância do diagnóstico de áreas de preservação permanente urbanas para gestão dos recursos hídricos em Goiás: estudo de caso em Itumbiara-Go]. **Revista Aracê**, São José dos Pinhais, v.7, n.5, p.23266-23287, 8 maio 2025. <https://doi.org/10.56238/arev7n5-138> Disponível em: <https://periodicos.newsciencepubl.com/arace/article/view/4973>. Acesso em: 12 dez. 2025.

ALVES, W. S.; CABRAL, J. B. P.; NASCIMENTO, D. T. F. Influências do El Niño oscilação sul (enos) e da oscilação decenal do Pacífico (odp) na variabilidade dos totais anuais de chuva em Goiás e no Distrito Federal. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v.24, n.95, p.321-338, out. 2023. <https://doi.org/10.14393/RCG249567458> Disponível

em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/67458> Acesso em: 19 dez. 2025.

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil). **Impacto da mudança climática nos recursos hídricos do Brasil**. Sumário Executivo. Brasília: ANA, 2024. 16p. Disponível em: https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/noticias-e-eventos/noticias/ana-lanca-estudo-sobre-impactos-da-mudanca-climatica-nos-recursos-hidricos-das-diferentes-regioes-do-brasil/resumo-executivo_26012024.pdf. Acesso em: 11 ago. 2025

ARAUJO, L. F. de *et al.* Análise da cobertura de abastecimento e da qualidade da água distribuída em diferentes regiões do Brasil no ano de 2019. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v.27, n.7, p.2935-2946, jul. 2022. <https://doi.org/10.1590/1413-81232022277.16472021> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csc/a/df4BcYHkpmXbth4pjypfmSp/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 12 ago. 2025

ASSIRATI, D. M. **Desenvolvimento de políticas públicas para regulação do aproveitamento econômico das águas minerais do Brasil**. 2022. 229p. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 19 maio 2022. <https://doi.org/10.11606/T.3.2022.tde-19052022-074235>. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3134/tde-19052022-074235/publico/DoraliceMeloniAssiratiCorr22.pdf>. Acesso em: 14 set. 2025.

BAIO, S. P. da S. **Impactos socioeconômicos e socioambientais da cultura da cana-de-açúcar no estado de Mato Grosso do Sul**. 2023. 138p. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional) - Universidade Anhangüera-Uniderp, Campo Grande, 2023. Disponível em: <https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789/58551/1/Tese%20Simone%20Baio.pdf>. Acesso em: 27 set. 2025

BARBOZA, A. A.; LIMA, J. R. O. Políticas públicas de acesso à água para a agricultura familiar: um breve olhar na perspectiva do semiárido brasileiro. **Revista DELOS**, [S.l.], v.18, n.66, p.1-16, 2025. Disponível em: <https://ojs.revistadelos.com/ojs/index.php/delos/article/view/4722/2635>. Acesso em: 27 set. 2025.

BARCELOS, S. T. V.; COSTA, L. S.; JIKIMURA, L. IV-1272-gestão de recursos hídricos: outorgas e enquadramentos para controle da poluição hídrica nas bacias hidrográficas do estado do Mato Grosso do Sul. In: CONGRESSO DA ABES [...], 32., **Anais** [...]. [s.n.], 2023. Disponível em: https://abes-dn.org.br/anais eletronicos/32cbesa/1272_tema_iv.pdf. Acesso em: 27 jul. 2025.

BATISTA, A.; LOPES, A. C. V.; COSTA, J. R. M. Gestão de custos na produção agrícola: um estudo na cultura da soja. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS, 29., 2022, João Pessoa. **Anais** [...]. João Pessoa: [s.n.], 2022. Disponível em: <https://anaiscbc.emnuvens.com.br/anais/article/view/4960>. Acesso em: 28 jul. 2025.

BEZERRA, B. P. de S. **Impactos dos eventos de El Niño e La Niña fortes no regime de precipitação no Nordeste brasileiro: uma revisão**. 2023. Disponível em:

<https://repositorio.ufrn.br/server/api/core/bitstreams/3a30b24e-2860-4d05-aabd-15908c38c066/content>. Acesso em: 1 ago. 2025

BREIMAN, L. Random Forests. **Machine Learning**, [S.l.], v.45, n.1, p.5-32, out. 2001. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324> Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1010933404324> Acesso em: 12 maio 2025.

BURKE, M.; LOBELL, D. B. Satellite-based assessment of yield variation and its determinants in smallholder African systems. *Agricultural Sciences*, **Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA**, v.114, n.9, p.2189-2194, 15 Feb. 2017. <https://doi.org/10.1073/pnas.1616919114>

CAETANO, L. R. *et al.* Influência do veranico na demanda hídrica da soja cultivada em três safras no Centro-Oeste brasileiro. **PEER REVIEW**, [S.l.], v.5, n.24, p.363-379, 2023. <https://doi.org/10.53660/1414.prw2932>. Disponível em: <https://www.mendeley.com/catalogue/1b6fa4cc-522c-3517-be92-67b245995fe4/>. Acesso em: 3 out. 2025.

CAMPOS, M. O. de *et al.* Impact of rural credit on sustainable transformation of Brazilian agriculture: the case of the low carbon agriculture (LCA) program in Minas Gerais, Brazil. **Environmental Development**, [S.l.], v.57, p.101317, [prelo], 2026. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2025.101317> Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211464525001836?via%3Dihub>. Acesso em: 4 nov. 2025.

CAPOANE, V. Expansão da fronteira agrícola no estado de Mato Grosso entre os anos de 1988 e 2018. **Caderno Prudentino de Geografia**, Presidente Prudente, v.1, n.44, p.73-98, jan./abr. 2022. Disponível em: <https://revista.fct.unesp.br/index.php/cpg/article/view/8076> Acesso em: 29 jun. 2025

CHOI, W. *et al.* Detecting plant physiological changes under stress using sun-induced chlorophyll fluorescence from mid-spectral resolution imagery. **Remote Sensing of Environment**, [S.l.], v.332, p.115085, [prelo], 2026. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2025.115085> Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425725004894?via%3Dihub>. Acesso em: 7 nov. 2025.

COELHO, L. F.; BRAGAGNOLO, C. Fatores determinantes da eficiência técnica da cana-de-açúcar nos polos de produção do sudeste e centro-oeste brasileiros. **Estudos Econômicos**, São Paulo, v.54, n.1, p.167-204, jan./mar. 2024. <https://doi.org/10.1590/1980-53575416lccb> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ee/a/cWPpRPxwdk9Qp3cgHMhjRWC/?lang=pt>. Acesso em: 13 jun. 2025.

COSTA, I. P.; RODRIGUES, G. S. de S. C. A Expansão de áreas de pastagem e da bovinocultura no Brasil: uma avaliação considerando o ordenamento territorial e o uso do solo atual. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA. FÍSICA APLICADA, 20., Uberlândia, MG. **Anais [...]**. [s.n.], 2024. Disponível em: https://editorarealize.com.br/editora/anais/sbgfa/2024/TRABALHO_COMPLETO_EV2_06_MD1_ID749_TB29_18072024223532.pdf. Acesso em: 18 jun. 2025.

CRUZ, J. E. *et al.* Expansão da silvicultura do eucalipto em áreas do Cerrado: fatores condicionantes e implicações econômicas, sociais e ambientais. **Revista Mirante**, Anápolis, v 16, n.1, p.241-262, jun. 2023. <https://doi.org/10.31668/mirante.v16i1.14041> Disponível em: <https://www.revista.ueg.br/index.php/mirante/article/view/14041>. Acesso em: 18 maio 2025.

CRUZ NETO, J. F. da *et al.* Validation of a desertification monitoring model in a semiarid region with the support of machine learning techniques. **Journal of South American Earth Sciences**, [S.l.], v.165, p.105715, 16 May 2025. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2025.105715> Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0895981125003773?via%3Dihub>. Acesso em: 16 maio 2025.

CORREIA, C. V. *et al.* Doenças de veiculação hídrica e seu grande impacto no Brasil: consequência de alterações climáticas ou ineficiência de políticas públicas? **Brazilian Medical Students Journal**, [S.l.], v.5, n.8, 2021. Disponível em: <https://revistas.ifmsabrazil.org/bms/article/view/100>. Acesso em: 23 ago. 2025.

DINIZ, J. A. O. *et al.* Crise Hídrica no Brasil: o uso das águas subterrâneas como reforço no abastecimento público. Produção Institucional, **Coleções Relatórios Técnicos**. Brasília: CPRM, ago. 2021. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/items/0b948b1e-cb27-4c9a-94ce-29b051d21041>. Acesso em: 28 ago. 2025.

DORNELAS, M. H. M.; TEIXEIRA, L. M. S. Mudança de uso e cobertura da terra causado pela inundação da usina hidrelétrica de serra da mesa. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 21., 2025, Salvador. **Anais eletrônicos...**, Galoá, 2025. Disponível em: <https://proceedings.science/sbsr-2025/trabalhos/mudanca-de-uso-e-cobertura-da-terra-causado-pela-inundacao-da-usina-hidreletrica?lang=pt-br>. Acesso em: 11 set. 2025.

DUARTE, V. N.; ALVES, L. R. Estrutura fundiária e dinâmica da produção agropecuária no Mato Grosso do Sul de 1980 a 2020. **Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana**, [S.l.], v.22, n.9, p.e6844, 2024. <https://doi.org/10.55905/oelv22n9-165>. Disponível em: <https://ojs.observatoriolatinoamericano.com/ojs/index.php/olel/article/view/6844>. Acesso em: 16 ago. 2025

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, Rio de Janeiro, RJ. **Súmula da 10. Reunião Técnica de Levantamento de Solos**. Rio de Janeiro, 1979. 83p. (EMBRAPA-SNLCS. Micelânea, 1). Disponível em: <https://www.ceivap.org.br/sesmarias/MAPA-SESMARIA-EMBRAPA-90-60.pdf> Acesso em: 24 maio 2025.

ESPÍNDOLA, G. M. de *et al.* Cropland expansion as a driver of land-use change: the case of Cerrado-Caatinga transition zone in Brazil. **Environment, Development and Sustainability**, v.23, p.17146-17160, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01387-z> Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10668-021-01387-z> Acesso em: 22 maio 2025.

FABBRI, F. Sai el niño, entra la niña: o que muda nos mercados agropecuários?. **AgroANALYSIS**, v.44, n.4, p.20-22, 2024. Disponível em: <https://periodicos.fgv.br/agroanalysis/article/download/91037/85538>. Acesso em: 12 jul. 2025.

FARHAN, M. *et al.* Monitoring and prediction of the LULC change dynamics using time-series remote sensing data with Google Earth Engine. **Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C**, v.136, art.103689, Dec. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2024.103689> Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1474706524001475?via%3Dihub>. Acesso em: 4 jun. 2025

FERRARINI, A. dos S. F. A expansão das áreas de soja e pastagens nas microrregiões de Mato Grosso. **Revista de Política Agrícola**, [S l.], v.30, n.4, p.5, 2021. Disponível em: <https://rpa.sede.embrapa.br/RPA/article/view/1677>. Acesso em: 20 jun. 2025.

FERRAZ, L. L. *et al.* Climate and land use changes impacts on streamflow in the Brazilian Cerrado basin. **Ecohydrology & Hydrobiology**, v.25, n.2, p.357-366, Apr. 2025. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2024.05.004> Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1642359324000612?via%3Dihub>. Acesso em: 12 jun. 2025.

FERREIRA Jr., L. G. *et al.* MapBiomias General Handbook - Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) - Collection 9 - Accuracy Assessment - Appendix, **MapBiomias Data**, v.1. 2025. <https://doi.org/10.58053/MapBiomias/SUYADO>. Disponível em: <http://data.mapbiomas.org/dataset.xhtml?persistentId=doi:10.58053/MapBiomias/SUYADO> Acesso em: 6 jun. 2025.

GAMON, J. A.; PEÑUELAS, J.; FIELD, C. B. A narrow-waveband spectral index that tracks diurnal changes in photosynthetic efficiency. **Remote Sensing of Environment**, v.41, n.1, p.35-44, Jul. 1992. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(92\)90059-S](https://doi.org/10.1016/0034-4257(92)90059-S)

GAO, B. C. NDWI—A Normalized Difference Water Index for Remote Sensing of Vegetation Liquid Water from Space. **Remote Sens. Environ.** v.58, p.257-266, 1996. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00067-3)

GILBERT, R. O. **Statistical methods for environmental pollution monitoring**. John Wiley & Sons, New York, 1987. 257p.

GORELICK, N. *et al.* Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. **Remote sensing of Environment**, v.202, p.18-27, 1 Dec. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031> Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425717302900?via%3Dihub> Acesso em: 21 fev. 2025

GUIDO, I. de A. **Variabilidade climática e ocorrência de queimadas no Quadrilátero Ferrífero: efeitos de El Niño e La Niña**. 2025. 83f. Monografia

(Graduação em Engenharia Ambiental) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2025. Disponível em: <https://www.monografias.ufop.br/handle/35400000/8461> Acesso em: 5 dez. 2025.

HALL, R. J. *et al.* Modeling forest stand structure attributes using Landsat ETM+ data: application to mapping of aboveground biomass and stand volume. **Forest ecology and management**, v.225 n.1-3, .378-390, 15 Apr. 2006. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.01.014>

HECK, C. R. A expansão produtiva agropecuária no estado De Mato Grosso e seus impactos fundiários e ambientais a partir dos anos 2000. **Informe GEPEC**, Toledo, v.25, n.2, p.62-84, 2021. <https://doi.org/10.48075/igepec.v25i2.26284> Disponível em: <https://e-revista.unioeste.br/index.php/gepec/article/view/26284> Acesso em: 24 dez. 2025.

HOUSMAN, I. W.; CHASTAIN, R. A.; FINCO, M. V. An evaluation of forest health insect and disease survey data and Satellite-Based Remote Sensing Forest Change Detection Methods: case studies in the United States. **Remote Sensing**, v.10, p.1184, 27 Jul. 2018. <https://doi.org/10.3390/rs10081184>

HUETE, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote sensing of environment**, v.25, n.3, p.295-309, 1988. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90106-X](https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90106-X)

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Banco de Dados e Informações Ambientais (BDiA) - Mapeamento de Recursos Naturais (MRN), Escala 1:250 000**. 2023. Disponível em: <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/home>. Acesso em: 26 fev. 2025

MAPBIOMAS PROJECT. MapBiomass General Handbook - Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) - Collection 9, **MapBiomass Data**, v.2, 2024. <https://doi.org/10.58053/MapBiomass/ICCL5B>. Disponível em: <http://data.mapbiomas.org/dataset.xhtml?persistentId=doi:10.58053/MapBiomass/ICCL5B> Acesso em: 12 maio 2025.

MAPBIOMAS PROJECT. **Collection 9 of the annual land cover and land use maps of Brazil (1985-2023)**. 2025. Disponível em: <https://mapbiomas.org/>. Acesso em: 8 jun. 2025.

MARTINS FILHO, J. B. **Modelagem da demanda hídrica atual e futura do cultivo da soja em Goiás utilizando produtos de sensoriamento remoto**. 2025. 104p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 15 maio 2025. <https://hdl.handle.net/11449/311344> Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/entities/publication/bfe767b8-0aba-48cc-baf2-ee89afb386a5>. Acesso em: 4 out. 2025

MELGES, F.; FIGUEIREDO, L. F.; BENINI, É. G. Pagamento por serviços Ambientais de recursos hídricos na região Centro-Oeste do Brasil: uma abordagem crítica da perspectiva coaseana. **Interações**, Campo Grande, v.22, n.3, p.907-924, Jul.-Sep. 2021. <https://doi.org/10.20435/inter.v22i3.2789> Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/inter/a/MBDJq7L9LzbswRW3LBTZXS/?lang=pt> Acesso em: 7 dez. 2025.

MENDES, A. T.; SANTOS, G. R. dos. **Drenagem e manejo sustentável de águas pluviais urbanas: o que falta para o Brasil adotar?** Rio de Janeiro: Ipea, ago. 2022. Texto para Discussão 2791. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/11420>. Acesso em: 1 dez. 2025.

MENDES, P. D. A. G. *et al.* Políticas públicas e adaptação às mudanças climáticas: três estudos de casos no semiárido brasileiro. **Sustentabilidade em Debate**, Brasília, v.13, n.3, p.204-225, dez. 2022. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/sust/article/view/46064>. Acesso em: 22 out. 2025.

MIRANDA, P. T. *et al.* Mudanças climáticas ameaçam a resiliência a extremos hidrológicos e a segurança hídrica no Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL DE DESASTRES, 4., 2024, [S.l.]. **Anais [...]**. Porto Alegre: ABRHidro, 2024. Disponível em: <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/241/IV-END0176-1-0-20240808-165836.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2025.

MIURA, Y.; NAKAEGAWA, T. Long-term experimental evaluation of a high-resolution atmospheric general circulation model from a hydrological perspective. **JGR Atmospheres**, v.129, n.3, p.e2023JD038786, 6 Feb. 2024. <https://doi.org/10.1029/2023JD038786> Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2023JD038786> Acesso em: 7 set. 2025.

MONTANHER, O. C.; PEREIRA FILHO, W.; NOVO, E. M. L. M. Major reductions in riverine suspended sediment levels caused by changes in agricultural practices and dams in Southern Brazil (1984-2024). **Science of the Total Environment**, v.1, n.997, p.180-195, 2025. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/40795496/>. Acesso em: 7 nov. 2025.

MORES, G. de V. *et al.* A Longitudinal study of Brazilian dood production dynamics. **Agriculture**, v.12, n.11, p.1811, 31 Oct. 2022. <https://doi.org/10.3390/agriculture12111811>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2077-0472/12/11/1811>. Acesso em: 12 ago. 2025.

MOURÃO, N.; LINO, E. N. da S. Expansão agrícola no cerrado: o desenvolvimento do agronegócio no estado de Goiás entre 2000 a 2019. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, MG, v.22, n.79, p.1-17, fev. 2021. <https://doi.org/10.14393/RCG227951217> Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/51217>. Acesso em: 11 set. 2025.

NAEEM, M. *et al.* Assessing and predicting Bojiang Lake area and LULC changes from 2000 to 2045. **Journal of Hydrology Regional Studies**, v.58, art.102216, Apr. 2025. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2025.102216> Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214581825000400?via%3Dihub>. Acesso em: 28 set. 2025.

NAGLER, P. L. *et al.* Cellulose absorption index (CAI) to quantify mixed soil-plant litter scenes. **Remote Sensing of Environment**, v.87, n.2-3, p.310-325, Oct. 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2003.06.001>. Acesso em: 21 jun. 2025.

NICOLLIER, V.; KIPERSTOK, A.; BERNARDES, M. E. C. A governança das águas no Brasil: qual o papel dos municípios? **Estudos Avançados**, v.27, n.109, p.279-302-22, 5 dez. 2023. <https://doi.org/10.1590/s0103-4014.2023.37109.017> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/SVDPHh74bVQJRpf86M4mfYp/?lang=pt>. Acesso em: 8 dez. 2025.

OLOFSSON, P. *et al.* Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. **Remote Sensing of Environment**, v.148, p.42-57, 25 May 2014. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.02.015> Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425714000704> Acesso em: 21 fev. 2025.

PARENTE, L.; FERREIRA, L. Assessing the spatial and occupation dynamics of the Brazilian pasturelands based on the automated classification of MODIS images from 2000 to 2016. **Remote Sensing**, v.10, n.4, p.606, 14 Apr. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs10040606>. Acesso em: 26 fev. 2025.

PONTIUS Jr., R. G.; MILLONES, M. Death to Kappa: birth of quantity disagreement and allocation disagreement for accuracy assessment. **International Journal of Remote Sensing**, v.32, n.15, p.4407-4429, 2011. <https://doi.org/10.1080/01431161.2011.552923> Disponível xem: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01431161.2011.552923> Acesso em 4 jun. 2025.

R CORE TEAM. R: A Language and Environment for Statistical Computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria, 2024. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 2 Jun. 2025.

RIBEIRO, J. A. *et al.* Território do Mato Grosso: mudanças na pastagem e cobertura arbórea. **Revista NEADS**, v.2, n.1, 23 nov. 2022. Disponível em: <http://neads.btv.ifsp.edu.br/ojs/index.php/revneads/article/view/46>. Acesso em: 19 dez. 2025.

RIBEIRO, U. M. *et al.* Dinâmicas espaço-temporais das formações florestal e savânica do Pantanal do Abobral, Mato Grosso do Sul. In: GEOPANTANAL, 8., 2024, Poconé. **Anais [...]**. Poconé: 2024. Disponível em: <https://shs.hal.science/halshs-04864234v1>. Acesso em: 4 nov. 2025.

ROSA, M. R. **Metodologia de classificação de uso e cobertura da terra para análise de três décadas de ganho e perda anual da cobertura florestal nativa na Mata Atlântica**. Tese. 2020. 292f. (Dourorado em Geografia Física) - Universidade de São Paulo, SP, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/T.8.2021.tde-16072021-150114> . Acesso em: 19 de junho de 2025.

ROUSE Jr., R. W. H.; HAAS, J. A. W.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. Third Earth Resources Technology Satellite

(ERTS) Symposium, 309-317, 1 Jan. 1974. Disponível em: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19740022614/downloads/19740022614.pdf>. Acesso em: 25 de junho de 2025.

SCHWAMBACK, D. *et al.* Assessment of water fluxes under the dual threat of changes in land cover and climate variability in the Brazilian Cerrado biome. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v.61, p.102699, Aug. 2025. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2025.102699> Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214581825005282>. Acesso em: 22 ago. 2025.

SILVA, Jhon L. B. da *et al.* Land use and land cover change patterns from orbital remote sensing products: spatial dynamics and trend analysis in northeastern Brazil. **Land**, Basel, v.14, n.10, p.1954, 29 Apr. 2025. <https://doi.org/10.3390/land14101954> Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-445X/14/10/1954>. Acesso em: 29 abr. 2025.

SILVA, Josiane S. da; LIMA, J. F. de. O desenvolvimento socioeconômico dos municípios da mesorregião diferenciada de águas emendadas. **Interação, Revista de Ensino, Pesquisa e Extensão**, Três Corações, v.23, n.1, p.61-75, Jul. 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/353042945_O_DESENVOLVIMENTO_SOCIOECONOMICO_DOS_MUNICIPIOS_DA_MESORREGIAO_DIFERENCIADA_DE_AGUAS_EMENDADAS. Acesso em: 29 abr. 2025.

SILVA, Marcos V. da *et al.* Remote sensing techniques via Google Earth Engine for land use and land cover change analysis in Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v.120, art.104061, Dec. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2022.104061>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0895981122003479>. Acesso em: 19 abr. 2025.

SINGH, R.; SARITHA, V.; PANDE, C. B. Dynamics of LULC changes, LST, vegetation health and climate interactions in wetland buffer zone: a remote sensing perspective. **Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C**, v.135, art.103660, Oct. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2024.103660>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1474706524001189>. Acesso em: 20 jun. 2025.

SOARES, S. C.; SIGNOR, A. **Research, Society and Development**, [S.l.], v.10, n.9, p.e1310917728, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i9.17728. Disponível em: <https://rsdjournal.org/rsd/article/view/17728> Acesso em: 8 dez. 2025.

SOUSA, J. S. de *et al.* Geotechnologies in the identification of areas suitable for the construction of underground dams in the Brazilian semiarid region. **Journal of Hydrology**, [S.l.], v.662, Part B, p.134017, Dec. 2025. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2025.134017>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022169425013551?via%3Dihub>. Acesso em: 13 jan. 2026.

SOUSA, L. de B. de *et al.* Monitoring soil conservation techniques via UAV for sustainable production of intercropped forage cactus with reuse water in the Brazilian

semiarid region. **Field Crops Research**, [S.l.], v.334, p.110120, 2 Dec. 2025. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2025.110120>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378429025003855?via%3Dihub>. Acesso em: 11 jan. 2026.

SOUZA Jr., C. M.; ROBERTS, D. A.; COCHRANE, M. A. Combining spectral and spatial information to map canopy damage from selective logging and forest fires. **Remote Sensing of Environment**, v.98, n.2-3, p.329-343, Oct. 2005. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.07.013>

STEHRMAN, S. V. Estimating area and map accuracy for stratified random sampling when the strata are different from the map classes. **International Journal of Remote Sensing**, v.35, p.4923-4939, 2014. <https://doi.org/10.1080/01431161.2014.930207>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01431161.2014.930207>. Acesso em: 7 jul. 2025.

STEHRMAN, S. V.; FOODY, G. M. Key issues in rigorous accuracy assessment of land cover products. **Remote Sensing of Environment**, v.231, p.111199, 15 Sep. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.05.018>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425719302111?via%3Dihub>. Acesso em: 9 jul. 2025.

STRÍKIS, N. M. *et al.* Seca antropogênica moderna no Brasil Central sem precedentes nos últimos 700 anos. **Comunicações da Natureza**, v.15, n.1728, 2024. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-45469-8>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41467-024-45469-8>. Acesso em: 13 jun. 2025

SUMBULERO, J. C. *et al.* Análise hidrológica para a gestão de recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio Amambá - Mato Grosso do Sul. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.11, n.5, p.e79.725, 16 maio 2025. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv11n5-049>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022169425013551?via%3Dihub>. Acesso em: 13 set. 2025.

SWARNIM, J. N. T.; SONKER, I.; SINGH, R. Combining MCDM and geospatial techniques to identify groundwater potential zones and trend analysis of rainfall and well water level data: an investigation in the Prayagraj and Kaushambi districts. **Geosystems and Geoenvironment**, v.5, n.1, p.100454, [prelo], 2026. <https://doi.org/10.1016/j.geogeo.2025.100454>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772883825001025?via%3Dihub>. Acesso em: 9 jan. 2026.

TAROLLI, P. *et al.* The hidden cultural impact of climate-driven food security threats to landscapes. **Cell Reports Sustainability**, v.2, n.5, p.100370, 23 May 2025. Disponível em: [https://www.cell.com/cell-reports-sustainability/fulltext/S2949-7906\(25\)00066-7](https://www.cell.com/cell-reports-sustainability/fulltext/S2949-7906(25)00066-7). Acesso em: 10 jul. 2025.

TADONO, T. *et al.* Precise Global DEM Generation by ALOS PRISM. ISPRS Annals of the Photogrammetry. **Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v.II-4, p.71-76, 2014. <https://doi.org/10.5194/isprsannals-II-4-71-2014>

USGS/NASA. **United States Geological Survey/National Aeronautics and Space Administration**. Landsat Satellite Missions, 2025. Disponível em: <https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-satellite-missions>. Acesso em: 3 jun. 2025.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. *In*: HILLEL, D. (ed.). **Applications of soil physics**. Academic Press, 1980. 350p.7