


Governança Ambiental e Degradação no Cerrado: Evidências Empíricas do Estado do Tocantins

Environmental Governance and Degradation Dynamics in the Cerrado – Brazilian Biome: Empirical and Institutional Evidence in the State of Tocantins


Silvânia Gonçalves de Carvalho¹ 

Daniela Mascarenhas de Queiroz Trevisan² 

David Prata³ 

Diego Rodrigues⁴ 

Waldecy Rodrigues⁵ 

Leonardo de Andrade Carneiro⁶ 

Gentil Barbosa⁷ 

Marcelo Lisboa⁸ 

Ana Flavia Moreira Pires⁹ 

Palavras-chave

Infrações Ecológicas
Supressão de Vegetação Nativa
Dinâmica Espaço-Temporal
Indicadores Territoriais
Monitoramento por Dados Públicos

Resumo

A degradação ambiental em biomas tropicais tem se consolidado como um dos principais desafios contemporâneos, exigindo respostas institucionais integradas e baseadas em evidências. Este artigo analisa a dinâmica da degradação ambiental no bioma Cerrado, com ênfase no estado do Tocantins, no período compreendido entre 2013 e 2023. A investigação parte da constatação de que os processos de desmatamento, queimadas e infrações ambientais apresentam recorrência significativa nesse território, configurando padrões espaço-temporais que demandam maior articulação institucional e fortalecimento da governança ambiental. A pesquisa adota uma abordagem metodológica mista, integrando análise de conteúdo e técnicas estatísticas, a partir de dados secundários extraídos de websites e plataformas governamentais e auditáveis com disponibilização de dados abertos. Os dados foram organizados em séries temporais, convertidos e padronizados para garantir a comparabilidade entre os indicadores analisados. Os resultados evidenciam a expressiva contribuição do Tocantins nos processos de supressão vegetal no Cerrado, tanto em área desmatada quanto em extensão queimada, além da concentração de autos de infração ambiental lavrados na unidade federativa. Verificaram-se ainda limitações na estrutura dos registros administrativos, como sobreposição de codificações e inconsistências terminológicas, que comprometem a categorização das condutas infracionais. A análise reforça a necessidade de fortalecimento da governança ambiental por meio da integração entre entes federativos, da qualificação dos sistemas de monitoramento e da formulação de políticas públicas com recorte territorial, baseadas em evidências técnicas e voltadas à conservação dos ecossistemas do Cerrado.

¹ Universidade Federal do Tocantins – UFT, Palmas, TO, Brasil. silvania.goncalves@mail.uft.edu.br
² Universidade Federal do Tocantins – UFT, Palmas, TO, Brasil. danielatrevisan@uft.edu.br
³ Universidade Federal do Tocantins – UFT, Palmas, TO, Brasil. ddnprata@uft.edu.br
⁴ Universidade Federal do Tocantins – UFT, Palmas, TO, Brasil. diego.rodrigues@iftto.edu.br
⁵ Universidade Federal do Tocantins – UFT, Palmas, TO, Brasil. waldecy@uft.edu.br
⁶ Universidade Federal do Tocantins – UFT, Palmas, TO, Brasil. leonardo.andrade@mail.uft.edu.br
⁷ Universidade Federal do Tocantins – UFT, Palmas, TO, Brasil. gentil@mail.uft.edu.br
⁸ Universidade Federal do Tocantins – UFT, Palmas, TO, Brasil. mlisboa@uft.edu.br
⁹ Universidade Federal do Tocantins – UFT, Palmas, TO, Brasil. flavia.pires@uft.edu.br

Keywords

Ecological infractions
Native vegetation suppression
Spatio temporal dynamics
Territorial indicators
Monitoring using public data

Abstract

Environmental degradation in tropical biomes has become one of the main contemporary challenges, requiring integrated institutional responses based on evidence. This article analyzes the dynamics of environmental degradation in the Cerrado biome, with an emphasis on the state of Tocantins, during the period between 2013 and 2023. The investigation is based on the finding that deforestation, wildfires, and environmental infractions show significant recurrence in this territory, forming spatiotemporal patterns that demand greater institutional coordination and the strengthening of environmental governance. The research adopts a mixed methodological approach, integrating content analysis and statistical techniques, based on secondary data extracted from government websites and platforms that provide auditable and open-access data. The data were organized into time series, converted and standardized to ensure comparability among the analyzed indicators. The results highlight the significant contribution of the state of Tocantins to vegetation suppression processes in the Cerrado (Brazilian biome), both in deforested area and in burned extent, in addition to the concentration of environmental infraction notices issued in the federative unit. Limitations were also identified in the structure of administrative records, such as overlapping codifications and terminological inconsistencies, which compromise the categorization of infringing conduct. The analysis reinforces the need to strengthen environmental governance through integration among federative entities, the qualification of monitoring systems, and the formulation of territorially focused public policies based on technical evidence and aimed at the conservation of the Cerrado (Brazilian biome) ecosystems.

¹ Universidade Federal do Tocantins – UFT, Palmas, TO, Brasil. silvania.goncalves@mail.uft.edu.br

² Universidade Federal do Tocantins – UFT, Palmas, TO, Brasil. danielatrevisan@uft.edu.br

³ Universidade Federal do Tocantins – UFT, Palmas, TO, Brasil. ddnprata@uft.edu.br

⁴ Universidade Federal do Tocantins – UFT, Palmas, TO, Brasil. diego.rodrigues@iftto.edu.br

⁵ Universidade Federal do Tocantins – UFT, Palmas, TO, Brasil. waldecy@uft.edu.br

⁶ Universidade Federal do Tocantins – UFT, Palmas, TO, Brasil. leonardo.andrade@mail.uft.edu.br

⁷ Universidade Federal do Tocantins – UFT, Palmas, TO, Brasil. gentil@mail.uft.edu.br

⁸ Universidade Federal do Tocantins – UFT, Palmas, TO, Brasil. mlisboa@uft.edu.br

⁹ Universidade Federal do Tocantins – UFT, Palmas, TO, Brasil. flavia.pires@uft.edu.br

INTRODUÇÃO

A intensificação da ação humana sobre os ecossistemas naturais tem exposto os biomas brasileiros a níveis críticos de degradação, demandando abordagens interdisciplinares capazes de integrar dados ambientais, arcabouços legais e mecanismos institucionais de mitigação. No contexto nacional, essa complexidade se acentua diante de obstáculos estruturais, como a desigualdade socioespacial, a descontinuidade das políticas públicas e a intrincada divisão de responsabilidades entre as esferas de governo (Vargas, 2021; Alves; Azevedo, 2023).

O Cerrado, por sua importância ecológica e extensão territorial, figura entre os biomas mais afetados por transformações paisagísticas aceleradas, sobretudo pela perda de vegetação nativa em decorrência do desmatamento e de incêndios. Tais dinâmicas comprometem não apenas a cobertura vegetal, mas também os serviços ecossistêmicos associados, como a regulação hídrica e o equilíbrio climático. Nesse cenário, o estado do Tocantins emerge como uma das unidades federativas mais pressionadas, localizado em região de transição ecológica marcada por intenso desmatamento (Silva, 2007).

Para compreender a degradação ambiental em sua complexidade, é necessário investigar não apenas os fatores biofísicos em curso, mas também as lacunas na fiscalização e os limites institucionais da proteção ambiental. Nessa perspectiva, o conceito de governança ambiental torna-se central para avaliar a efetividade do Estado na coordenação de ações integradas - desde o monitoramento à responsabilização - ancoradas em evidências técnicas e dados públicos auditáveis.

Este estudo tem por objetivo analisar a dinâmica da degradação no Cerrado tocantinense entre os anos de 2013 e 2023 e suas implicações sobre a governança ambiental, à luz dos dados públicos e da estrutura institucional vigente, utilizando informações secundárias sobre desmatamento, queimadas e autuações ambientais. Por meio de uma abordagem metodológica mista - que articula análise de conteúdo e técnicas estatísticas -, busca-se mapear padrões espaço-temporais de pressão antrópica, relacionando-os aos entraves institucionais da governança ambiental na construção de respostas adaptadas às especificidades territoriais.

A literatura nacional sobre governança ambiental evidencia que a fragmentação institucional e a descontinuidade das políticas

públicas são fatores recorrentes que comprometem a capacidade de resposta do Estado diante da degradação ecológica (Vargas, 2021). Em seu estudo, Vargas (2021) aponta que a ausência de articulação entre os entes federativos e a instabilidade normativa geram barreiras significativas à efetividade das ações ambientais, especialmente em contextos marcados por desigualdades territoriais.

De forma convergente, Alves e Azevedo (2023) argumentam que a governança ambiental exige não apenas a existência de marcos regulatórios, mas também a efetiva integração entre níveis de governo, com base em evidências técnicas e planejamento territorial. Essas análises permitem estabelecer um referencial crítico para a leitura da realidade tocantinense, possibilitando a identificação de convergências ou singularidades nos padrões de degradação ambiental e nos desafios institucionais para sua contenção.

A relevância deste estudo reside na articulação entre dados empíricos e os limites institucionais da governança ambiental, tema ainda pouco explorado em recortes subnacionais no bioma Cerrado. Ao evidenciar as pressões antrópicas e a capacidade estatal de resposta, a pesquisa contribui com subsídios técnicos para o aprimoramento de políticas públicas no plano estadual e federal. Ademais, interessa à academia, por aprofundar o debate sobre indicadores de desempenho ambiental, e à sociedade civil, ao fomentar mecanismos de responsabilização e participação. Para o setor corporativo, os achados oferecem base para práticas produtivas sustentáveis e alinhadas à legislação ambiental, sobretudo em regiões críticas como o MATOPIBA.

METODOLOGIA

A delimitação espacial da pesquisa recaiu sobre o estado do Tocantins, unidade federativa situada na região Norte do Brasil, integrante da porção setentrional do bioma Cerrado. Essa escolha decorre da expressiva contribuição do território estadual nos indicadores de desmatamento, queimadas e infrações ambientais, conforme demonstrado nos dados secundários extraídos das plataformas INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis) e MAPBIOMAS (Plataforma de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil). Tal recorte justifica-se pela necessidade de compreender os padrões territoriais da

degradação ecológica em uma área de transição ecológica e intensa pressão antrópica.

A escolha do Tocantins como universo empírico da presente pesquisa fundamenta-se na sua relevância territorial para a compreensão dos limites operacionais da governança ambiental no Cerrado brasileiro. Com uma área total de 277.423,627 km², e população estimada em 1.577,342 habitantes, segundo o último Censo (IBGE, 2024), o Estado está inserido majoritariamente no bioma Cerrado, com significativa presença de áreas de transição ecológica, conforme lecionam Porto *et al.* (2013), com destaque na produção de grãos e na expansão da fronteira agrícola do MATOPIBA (MAPBIOMAS, 2024b).

A investigação adota uma abordagem metodológica mista, conjugando procedimentos qualitativos e quantitativos, de forma a capturar a complexidade dos processos ambientais analisados. A etapa inicial consistiu em uma revisão bibliográfica exploratória, a qual, conforme Dermeval *et al.* (2020), permite identificar o estado atual da produção científica e localizar lacunas ainda pouco abordadas.

A seleção de fontes priorizou materiais recentes e relevantes, extraídos de bases reconhecidas como SciELO (2025), *Web of Science* (UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS, 2024) e *Google Scholar* (2024). Foram igualmente analisados documentos institucionais produzidos por entidades como o IBAMA, INPE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), MAPBIOMAS e o *World Bank Group* (BANCO MUNDIAL). No processo de busca, foram utilizados operadores booleanos, com combinações como “governança ambiental” AND “indicadores ambientais” e “desmatamento” AND “fiscalização”, com o objetivo de refinar os resultados e garantir a aderência ao objeto de estudo.

Para a abordagem qualitativa, adotou-se a técnica de análise de conteúdo conforme os pressupostos de Bardim (Valle; Ferreira, 2024). Os documentos e relatórios públicos extraídos das plataformas institucionais (IBAMA, INPE, MAPBIOMAS, etc.), foram organizados em corpus temático, estruturado em torno das categorias: infrações ambientais, pressões antrópicas, governança federativa e desafios informacionais. A análise seguiu três etapas principais: (a) pré-análise, com leitura flutuante e definição das categorias; (b) exploração do material, com codificação manual e recorrência em termos e padrões; e (c) tratamento dos resultados, com identificação de inferências e interpretação crítica, possibilitando a ampliação

da capacidade interpretativa diante das fragilidades institucionais observadas no Tocantins.

Esse procedimento analítico permitiu captar significados latentes nos discursos institucionais e evidenciar os limites operacionais da governança ambiental.

Complementarmente, foram aplicadas técnicas estatísticas para o tratamento de dados sobre desmatamento e queimadas no bioma Cerrado, com ênfase no estado do Tocantins. Conforme argumentam Leal *et al.* (2010), a utilização de procedimentos quantitativos contribui para a identificação de padrões e tendências, oferecendo suporte empírico à interpretação dos fenômenos ambientais.

A análise estatística baseou-se em dados secundários extraídos de plataformas institucionais públicas, como TerraBrasilis/INPE, MapBiomias, BANCO MUNDIAL, IBGE e IBAMA. Esses dados foram organizados em séries temporais compreendendo majoritariamente o período de 2013 a 2023, com exceção da Figura 2, referente à cobertura florestal no Brasil, que utiliza série histórica mais extensa (1990 a 2022), conforme disponibilizado pelo Banco Mundial. Essa ampliação pontual visou permitir uma leitura de longo prazo sobre a tendência nacional de retração florestal, complementando o foco decenal adotado nas demais análises centradas no Tocantins.

Procedimentos como interpolação linear, harmonização territorial por unidade federativa e tratamento de registros compostos foram utilizados para assegurar a comparabilidade e a confiabilidade dos dados ao longo do tempo, bem como, a padronização quanto às nomenclaturas e unidades de medida (com conversão de hectares para quilômetros quadrados).

A triangulação entre fontes científicas, bases geoespaciais e documentos administrativos consolidou a robustez metodológica da pesquisa. Tal estratégia de integração favoreceu uma abordagem crítica, multiescalar e tecnicamente fundamentada sobre os desafios atuais relacionados à conservação ambiental, à governança e às pressões antrópicas no bioma Cerrado.

RESULTADOS

Os resultados apresentados nesta seção estão organizados em torno de três eixos principais: (i) indicadores empíricos de desmatamento e queimadas no bioma Cerrado, com ênfase no estado do Tocantins, durante o período de 2013

a 2023; (ii) incidência e distribuição dos autos de infração ambiental lavrados no território estadual; e (iii) limitações estruturais dos registros administrativos, especialmente quanto à codificação das condutas e à padronização terminológica.

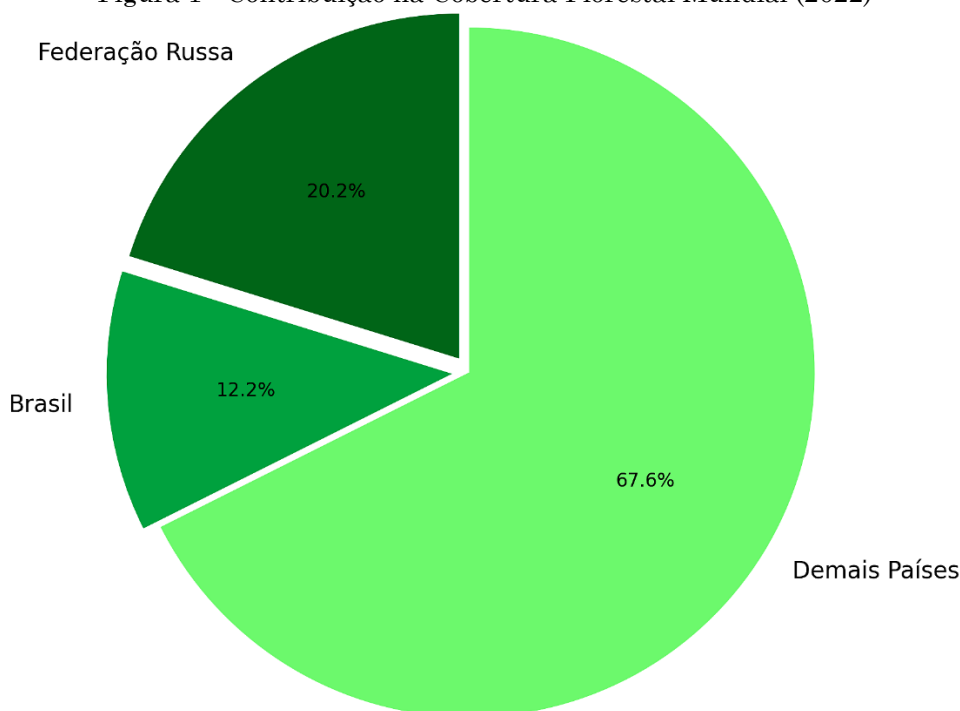
Inclui-se, ainda, de forma preliminar, uma análise pontual da série histórica de cobertura florestal no Brasil, baseada em dados do Banco Mundial, abrangendo o período de 1990 a 2022, com o objetivo de contextualizar o padrão nacional de retração vegetacional no qual o caso tocantinense se insere. As análises que seguem foram conduzidas a partir de dados secundários

auditáveis, extraídos de plataformas públicas, padronizados e organizados em séries temporais para garantir a comparabilidade entre os indicadores.

Com base nos dados de 2022 do Banco Mundial, foram identificados os países com maior extensão de cobertura florestal, a partir de um processo de padronização que incluiu a tradução dos nomes, a exclusão de variáveis não pertinentes e a interpolação de valores ausentes.

A Figura 1 apresenta a distribuição relativa entre os dois principais países contribuidores e o restante do mundo (Banco Mundial, 2024).

Figura 1 - Contribuição na Cobertura Florestal Mundial (2022)

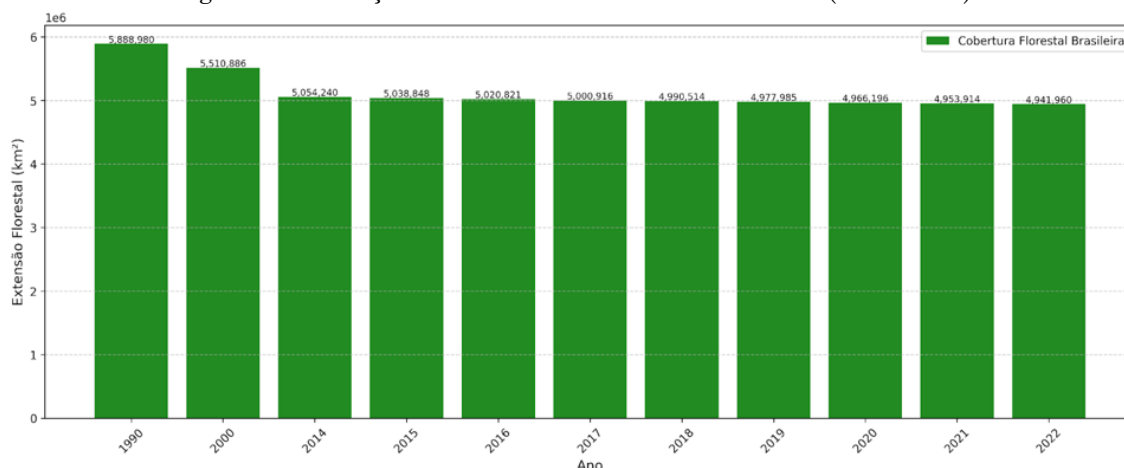


Fonte: Banco Mundial (2024). Elaborado pelos autores (2025).

A análise gráfica demonstra que a Federação Russa concentra 20,2% da cobertura florestal mundial, ocupando a primeira posição global, enquanto o Brasil responde por 12,2%, figurando como o segundo maior detentor de áreas florestais. Os demais países, somados, representam 67,6% do total. Os dados evidenciam a concentração significativa da cobertura florestal global em apenas duas nações.

A evolução da cobertura florestal brasileira no intervalo de 1990 a 2022, com base nos dados disponibilizados pelo Banco Mundial (2024) está representada na Figura 2. Para garantir a consistência temporal e facilitar a leitura comparativa, os registros foram organizados em série histórica contínua, permitindo a observação de variações graduais ao longo das três últimas décadas. O gráfico reflete a extensão de áreas florestadas no país em valores absolutos, expressos em quilômetros quadrados.

Figura 2 - Variação da Cobertura Florestal no Brasil (1990-2022)



Fonte: Banco Mundial (2024). Elaborado pelos autores (2025).

Ao longo do período de 1990 a 2022, os dados evidenciam uma redução contínua da cobertura florestal no território brasileiro. Embora a tendência de decréscimo ocorra de forma não abrupta, observa-se uma oscilação negativa persistente na extensão das áreas florestadas. A trajetória descendente, ainda que sutil em determinados períodos, é marcada pela constância na diminuição anual da vegetação nativa, sugerindo uma dinâmica de perda acumulada ao longo do tempo. A linearidade dessa tendência reforça a importância de sua

análise em séries temporais longas, com vistas à identificação de padrões estruturais associados à supressão florestal. (Banco Mundial, 2024).

Para compreender a dinâmica apresentada na Figura 2, que ilustra a regressão percentual da cobertura florestal no território brasileiro ao longo do tempo, foi necessário segmentar os dados por períodos. Essa abordagem permitiu analisar o percentual de redução acumulada entre 1990 e 2022, com base nos dados disponíveis, conforme detalhado na Tabela 1.

Tabela 1 - Redução percentual da cobertura florestal no Brasil por períodos de análise (1990-2022)

| Década (ou Período) | Ano Início | Ano Fim | Redução (%) |
|---------------------|------------|---------|-------------|
| 1990-1999 | 1990.0 | 2000.0 | 6.42% |
| 2010-2019 | 2014.0 | 2019.0 | 1.51% |
| 2020-2022 | 2020.0 | 2022.0 | 0.49% |

Fonte: Banco Mundial (2024). Elaborado pelos autores (2025).

Os valores apresentados correspondem à área de cobertura florestal em quilômetros quadrados (km²), considerando o primeiro e o último ano com dados disponíveis em cada período. Para a década de 1990, foi considerada a variação entre os anos de 1990 e 2000, devido à ausência de registros intermediários entre 1991 e 1999. Para a década de 2010, a análise foi realizada entre os anos de 2014 e 2019, pois os dados disponíveis na base concentram-se nesse período. Já para o período de 2020 a 2022, foram utilizados os dados dos respectivos anos, por apresentarem registros completos. Embora esse intervalo não caracterize uma década completa, foi incluído na tabela com o objetivo de possibilitar a comparação temporal com os demais períodos analisados. A redução percentual foi calculada com base na diferença relativa entre os valores inicial e final de cada intervalo, refletindo a tendência de perda da cobertura florestal ao longo das últimas décadas.

No total acumulado de 1990 a 2022, a perda florestal brasileira foi de aproximadamente 16,1%.

Para estimar a redução da cobertura florestal brasileira ao longo dos períodos analisados, foi utilizada a fórmula da variação percentual relativa ao valor inicial, amplamente empregada em estudos de séries temporais ambientais:

$$\text{Redução (\%)} = \frac{(\text{Valor Inicial} - \text{Valor Final})}{\text{Valor Inicial}} \times 100$$

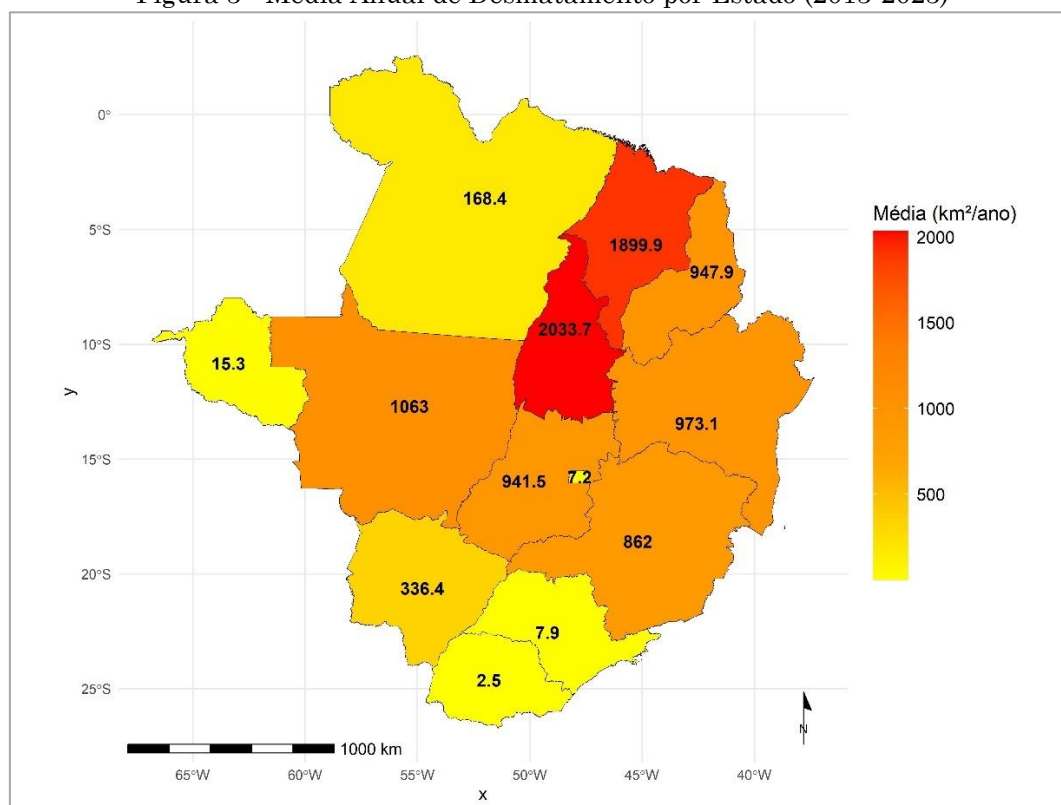
Nessa equação, o Valor Inicial corresponde à área de cobertura florestal registrada no primeiro ano do período analisado, enquanto o Valor Final refere-se ao último ano com dados disponíveis no respectivo intervalo. Esse método permite quantificar, de forma padronizada, a perda proporcional da vegetação, levando em consideração a base inicial de cada período.

Destaca-se que os percentuais calculados para períodos distintos não são cumulativos, uma vez que cada redução é relativa ao valor inicial específico daquele intervalo. Por isso, a redução total entre 1990 e 2022 foi calculada de forma independente, com base exclusivamente nos valores de cobertura florestal registrados nos anos de 1990 e 2022.

Já a média anual de desmatamento no bioma Cerrado, por unidade federativa, no período de

2013 a 2023, pode ser observada na Figura 3. Os dados, extraídos da base do INPE (2024b), foram organizados com recorte espacial por Estado e agregados temporalmente para compor uma média por unidade da federação. A consolidação das informações permite avaliar a contribuição relativa de cada Estado na dinâmica de supressão da vegetação nativa no Cerrado ao longo do intervalo de onze anos.

Figura 3 - Média Anual de Desmatamento por Estado (2013-2023)



Fonte: INPE (2024b). Elaborado pelos autores (2025).

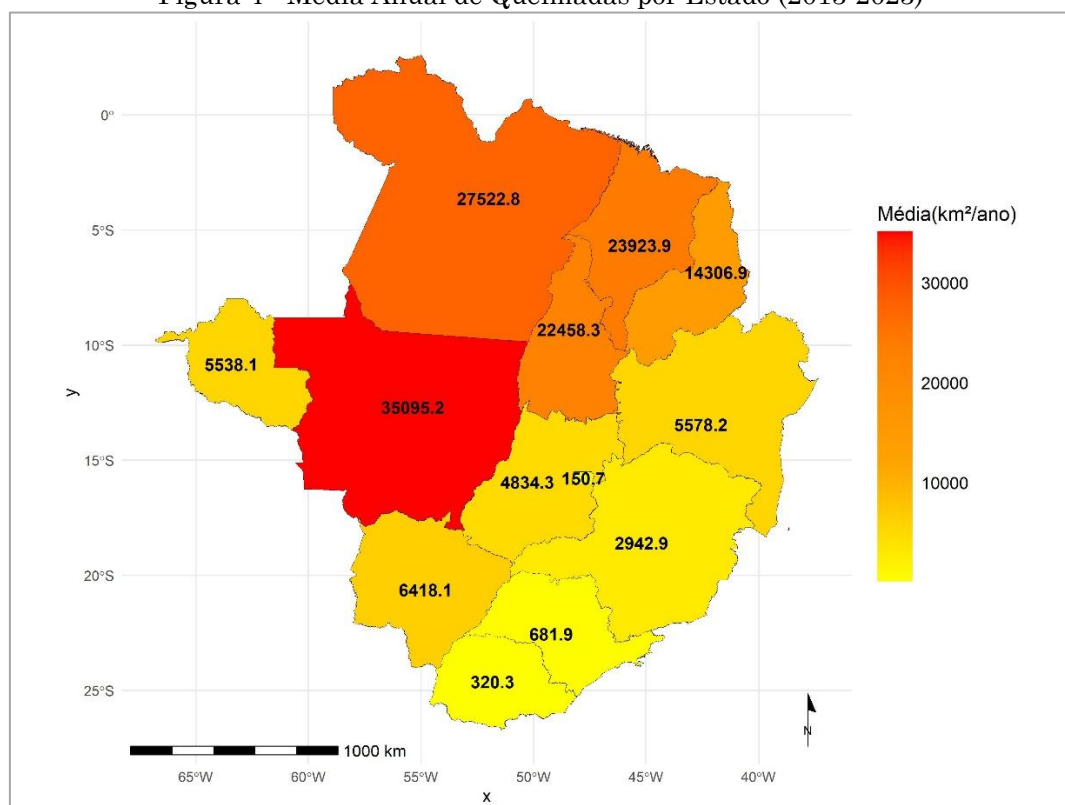
No recorte temporal analisado (2013 e 2023), os dados consolidados indicam um total de aproximadamente 101.845 km² de vegetação nativa suprimida no bioma Cerrado. O Estado do Tocantins apresentou média anual de 22.370 km² desmatados, o que corresponde a 21,97% do total observado no bioma durante o período analisado. Essa proporção posiciona o Tocantins entre os estados com maior contribuição individual para a perda de vegetação no Cerrado. A distribuição espacial das médias evidencia disparidades significativas entre as unidades federativas, sugerindo a existência de zonas de maior pressão antrópica e dinâmicas territoriais diferenciadas quanto à exploração dos recursos vegetais nativos.

Para identificar a média anual da área queimada por Estado no bioma Cerrado, da Figura 4, utilizou-se a base de dados contida na série Cicatrizes do Fogo disponibilizados pela

plataforma MapBiomas (2024a). Os dados originais, expressos em hectares, foram convertidos para quilômetros quadrados, assegurando a padronização das unidades de medida e viabilizando a comparação direta com os dados de desmatamento previamente analisados. A consolidação das médias anuais para o período de 2013 a 2023 permite identificar padrões territoriais na recorrência de eventos de fogo.

Para assegurar a uniformidade nas unidades de medida, os dados originalmente fornecidos em hectares foram convertidos para quilômetros quadrados (1 ha = 0,01 km²), a fim de viabilidade a comparação com as métricas de desmatamento discutidas anteriormente. A partir dessa adaptação, foi calculada a média anual da área queimada em cada estado integrante do bioma Cerrado.

Figura 4 - Média Anual de Queimadas por Estado (2013-2023)

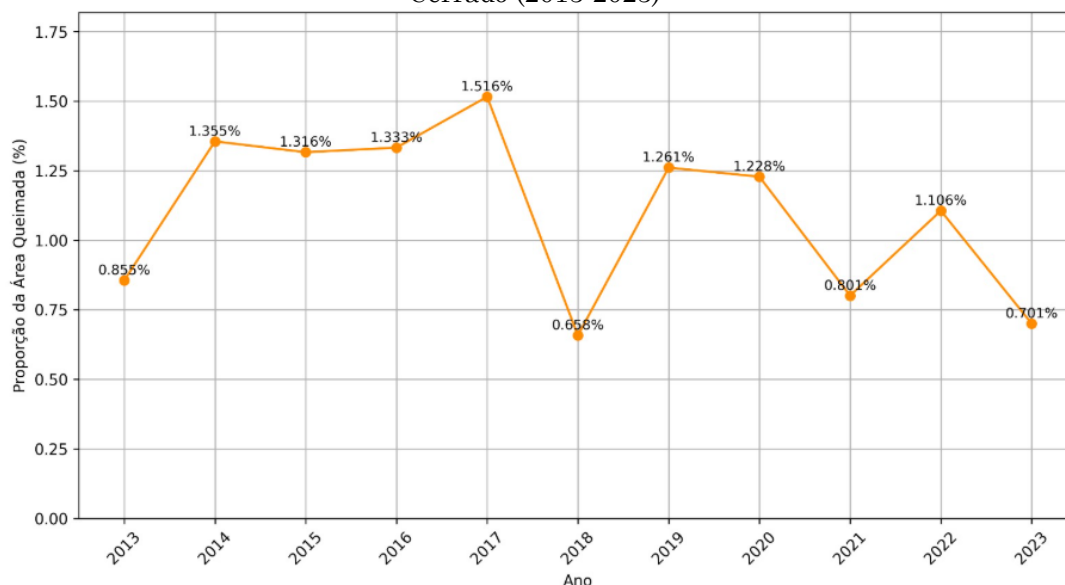


Fonte: MAPBIOMAS (2024a). Elaborado pelos autores (2025).

No período de 2013 a 2023, observa-se variação nas médias anuais de área queimada entre os estados inseridos no bioma analisado. A distribuição dos dados evidencia concentrações expressivas de fogo em determinados territórios, apontando para a existência de focos recorrentes de queimadas. A adaptação das unidades métricas utilizada na padronização dos dados permitiu a harmonização metodológica com os indicadores de desmatamento, possibilitando uma leitura integrada da dinâmica de perda de cobertura vegetal por diferentes agentes de pressão. A estrutura da série revela a extensão média anual das áreas afetadas por fogo, sem distinção de categorias de uso e cobertura, o que confere abrangência à análise da distribuição dos eventos.

Na etapa seguinte, calcula-se a proporção da área queimada no estado do Tocantins em relação ao total de áreas afetadas por fogo no bioma Cerrado, no intervalo entre 2013 e 2023 (Figura 5). Os dados foram extraídos da série Cicatrizes do Fogo, desenvolvida pela plataforma MapBiomas (2024a), e organizados anualmente por unidade federativa. Para garantir a comparabilidade, adotou-se como referência espacial a área oficial do bioma, de 2.036.448 km², conforme os limites definidos pelo IBGE (2019). A conversão das unidades originais de hectare para quilômetros quadrados (1 ha = 0,01 km²) e a padronização dos identificadores das unidades federativas permitiram consolidar o cálculo proporcional entre os estados.

Figura 5 - Proporção da área queimada no estado do Tocantins em Relação ao Total do Bioma Cerrado (2013-2023)

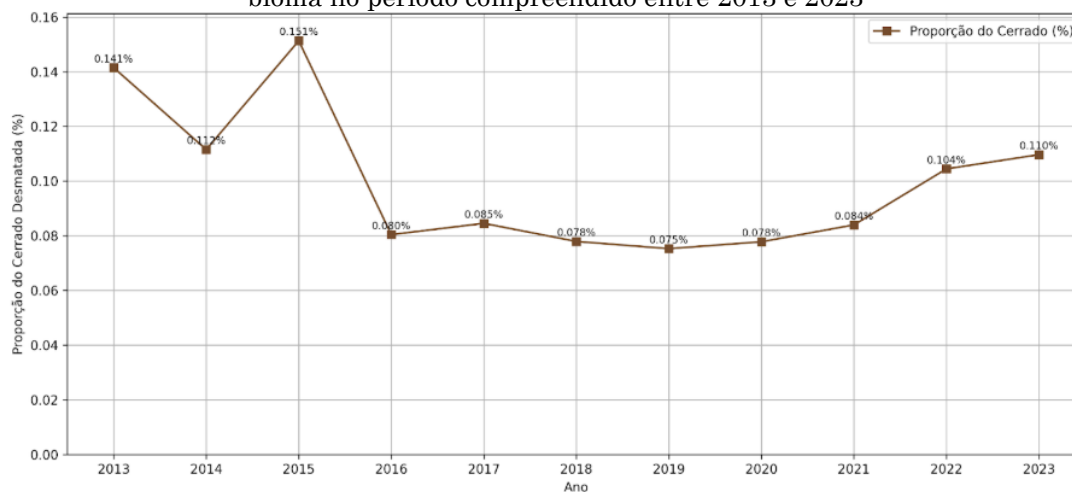


Fonte: MAPBIOMAS (2024a). Elaborado pelos autores (2025).

Os dados tratados revelam que o Tocantins respondeu por uma fração substancial da área queimada no Cerrado ao longo do período considerado. A delimitação metodológica adotada viabilizou a identificação da contribuição percentual do estado no contexto das queimadas registradas em todo o bioma. A organização temporal e espacial das informações assegura a fidedignidade dos cálculos, permitindo uma análise precisa da magnitude das perdas pôr fogo no território tocantinense em relação ao total acumulado no Cerrado.

Já a proporção da área desmatada no estado do Tocantins, em relação ao total desmatado no bioma Cerrado entre 2013 e 2023 (Figura 6), foi calculada com base nos dados disponibilizados pela plataforma TerraBrasilis, mantida pelo INPE (2024b). Os registros foram organizados por ano e por unidade federativa, permitindo a quantificação anual da área desmatada por estado. Para a análise proporcional, adotou-se a área oficial do bioma Cerrado, estimada em 2.036.448 km² conforme os limites geográficos do IBGE (2019). A padronização das unidades e a organização temporal dos dados conferem uniformidade metodológica à série.

Figura 6 - Proporção da área desmatada no estado do Tocantins em relação ao total desmatado nesse bioma no período compreendido entre 2013 e 2023

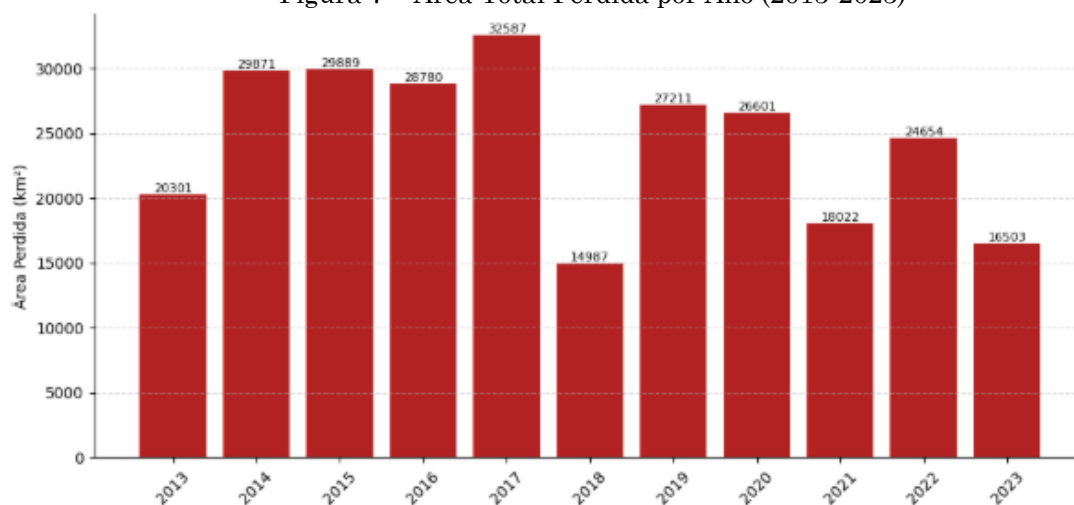


Fonte: INPE (2024b); IBGE (2019). Elaborado pelos autores (2025).

A distribuição temporal dos dados evidencia que o estado do Tocantins apresentou participação expressiva na dinâmica de desmatamento do bioma Cerrado durante o período analisado. A consolidação anual das áreas desmatadas permite observar a variação da contribuição proporcional do estado ao longo da série decenal. O critério de cálculo utilizado assegura coerência com os demais indicadores gráficos apresentados, possibilitando a comparação entre diferentes métricas de perda de vegetação nativa. A estabilidade da metodologia empregada sustenta a confiabilidade da estimativa proporcional atribuída ao Tocantins.

Com base em registros anuais entre 2013 e 2023, foi sistematizada a área total de vegetação suprimida no bioma Cerrado, permitindo a visualização das perdas acumuladas ano a ano, conforme aponta a Figura 7. A série foi construída a partir da soma das áreas desmatadas em quilômetros quadrados, conforme estimativas do INPE (2024b) organizadas com base nos limites geográficos definidos pelo IBGE (2019). O tratamento dos dados seguiu critérios de padronização espacial e temporal, viabilizando a análise contínua da variação anual da cobertura vegetal suprimida.

Figura 7 – Área Total Perdida por Ano (2013-2023)



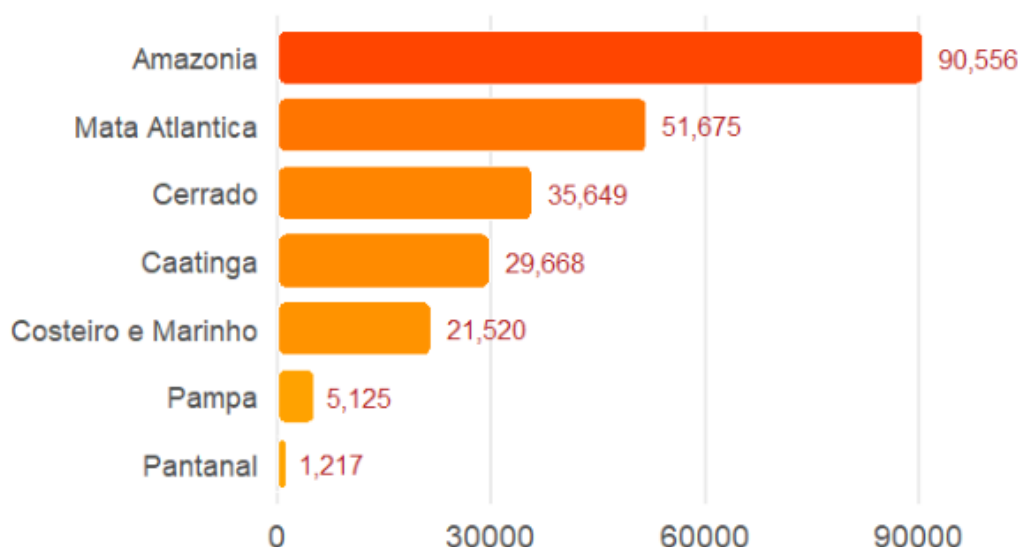
Fonte: INPE (2024b); IBGE (2019). Elaborado pelos autores (2025).

Os dados revelam oscilações na quantidade de área desmatada anualmente no bioma Cerrado, ao longo da série analisada. Embora não se observe um padrão linear de crescimento ou declínio, alguns anos destacam-se por registrar volumes superiores de perda de vegetação nativa, enquanto outros apresentaram redução relativa. Essa variação interanual sugere a influência de fatores conjunturais diversos, como alterações no regime climático, na dinâmica fundiária e na intensidade das ações de fiscalização, que podem impactar diretamente a taxa de supressão florestal em cada exercício. Dessa forma, é notável que, entre os anos de 2013 e 2023, um total aproximado de 269.412,14 km² de cobertura vegetal foi perdido no Tocantins.

A fim de verificar a existência de correlação entre a supressão vegetal decorrente de desmatamentos e queimadas, procedeu-se à análise das infrações ambientais registradas pelo IBAMA (2024) (Figura 8).

A base de dados utilizada foi extraída da seção de autos de infração da plataforma de dados abertos do IBAMA (2024), respeitando o recorte temporal vigente no momento do download. Foram considerados apenas os registros cujo status do formulário consta como “Lavrado e Impresso” e cuja situação é diferente de “Cancelado”, o que significa que apenas infrações formalizadas e vigentes foram incluídas na análise. Durante o pré-processamento, os dados passaram por um filtro para exclusão de registros com campos nulos na variável DS_BIOMAS_ATINGIDOS, que indica os biomas impactados por cada infração. Em seguida, aplicou-se a técnica de explosão de registros, uma abordagem que desmembra valores compostos – nos quais dois ou mais biomas estavam listados em um único campo, separados por vírgula – em múltiplas linhas. Esse procedimento assegurou uma contabilização precisa das ocorrências por bioma, mesmo quando uma única infração incide sobre mais de um ecossistema.

Figura 8 - Quantidade de Autos de Infração por Bioma brasileiros (2013 e 2023)



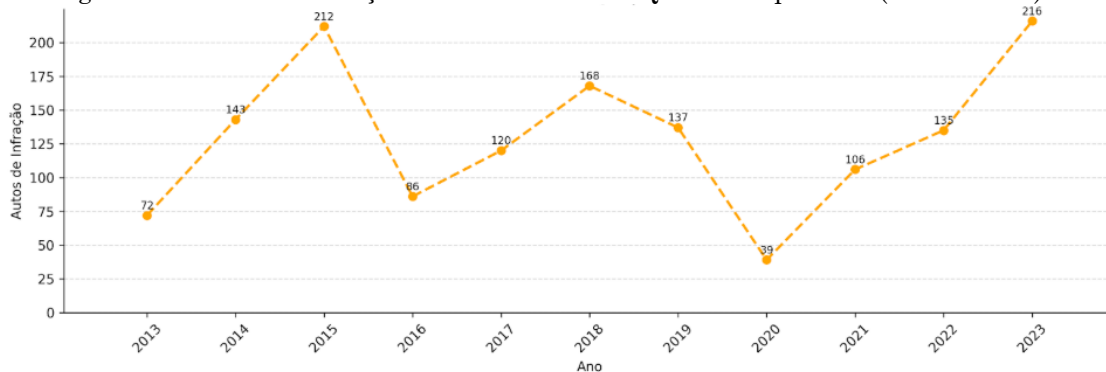
Fonte: IBAMA (2024). Elaborado pelos autores (2025).

A distribuição das infrações por bioma no Brasil evidencia uma concentração expressiva na Amazônia, que totalizou 90.556 ocorrências. Em seguida, a Mata Atlântica apresentou 51.675 infrações, enquanto o Cerrado contabilizou 35.649 registros. A Caatinga, por sua vez, registrou 29.668 infrações, seguida pelo bioma Costeiro e Marinho, com 21.520 casos. O Pampa somou 5.125 infrações, e o Pantanal apresentou o menor número de ocorrências entre os biomas analisados, com 1.217 registros.

No cenário analisado, a evolução dos autos de infração ambiental lavrados no Estado do Tocantins entre os anos de 2013 e 2023 revela variações expressivas ao longo do período

avaliado (Figura 9). Em 2013, foram registrados 72 autos de infração, número que aumentou para 143 em 2014 e atingiu o pico de 212 autos em 2015. No ano seguinte, 2016, observou-se uma redução significativa, com 66 autos registrados. Em 2017, o total subiu para 120, mantendo tendência de crescimento em 2018, com 168 autos, e apresentando leve queda em 2019, com 137 registros. O ano de 2020 marcou o menor número da série, com apenas 39 autos de infração. A partir de 2021, verifica-se nova trajetória de alta, com 106 autos naquele ano, 135 em 2022 e, por fim, 216 autos de infração em 2023, configurando o maior valor da série histórica analisada.

Figura 9 – Autos de Infrações Desmatamento e Queimada por Ano (2013 e 2023)



Fonte: IBAMA (2024). Elaborado pelos autores (2025).

A base de dados utilizada foi submetida a um processo rigoroso de filtragem, considerando exclusivamente os registros com status de formulário “Lavrado e Impresso” e com situação “Cancelado” igual a “Não”, a fim de garantir que apenas infrações formalizadas e ativas fossem incluídas na análise. Além disso, foram selecionados apenas os registros referentes ao

Tocantins, excluindo-se autos lavrados em outras unidades federativas.

Durante o pré-processamento dos dados, foram identificadas inconsistências relevantes, como campos incompletos e erros de digitação nas colunas de descrição e codificação das infrações, notadamente em DES_AUTO_INFRACAO, COD_INFRACAO e

DES_INFRACAO. A ausência de padronização afetou diretamente a categorização das condutas infracionais, exigindo um trabalho manual de triagem e revisão das informações. Respeitando a margem para erro humano, o resultado consolidado é o seguinte: 17 infrações por queimada, 1.418 infrações por desmatamento, perfazendo um total de 1.435 infrações no período.

É importante destacar que a planilha de dados analisada (IBAMA, 2024), permite a distinção entre pessoas físicas e jurídicas, com base na natureza do documento (CPF – Cadastro de Pessoas Físicas e CNPJ – Cadastro Nacional da Pessoa Jurídica), por meio das colunas NOME_INFRATOR e CPF_CNPJ_INFRATOR. Contudo, não há classificação direta quanto ao perfil fundiário ou socioeconômico dos autuados.

Adicionalmente, a materialização das infrações merece consideração. Embora a base de dados contenha as colunas TIPO_MULTA, PATRIMONIO_APURADO e DES_RECEITA, não dispõe de campos que indiquem o desfecho processual do auto, como pagamento, anulação ou conversão de penalidade, o que limita a análise da efetividade punitiva. Além disso, a coluna TIPO_AUTO, apesar de contemplar o tipo forma de auto lavrado, não detalha penalidades acessórias ou medidas compensatórias aplicadas no curso do processo administrativo ambiental. Consequentemente, conforme observado na coluna VAL_AUTO_INFRACAO, os valores monetários apresentados na base correspondem à previsão inicial das multas e não indicam arrecadação efetiva, o que inviabiliza a estimativa dos ingressos financeiros nos cofres públicos decorrentes das penalizações.

Por fim, ressalta-se a existência das colunas EFEITO_MEIO_AMBIENTE e EFEITO_SAUDE_PUBLICA. Apesar da ausência de preenchimento na maioria dos registros, algumas células contêm as seguintes classificações: “desprezível”, “potencial”, “moderada”, “significativo” e “fraca”.

DISCUSSÕES

Governança ambiental no Brasil e no Tocantins: desafios e articulações territoriais

A governança ambiental no Brasil revela a tensão entre a vasta diversidade de recursos naturais e as limitações institucionais para sua gestão. A complexidade ecológica dos biomas, somada às desigualdades regionais e à

fragmentação das políticas públicas, compromete a formulação de diretrizes ajustadas às realidades locais (Banco Mundial, 2024; Vargas, 2021). Concebida como processo coletivo, a governança ambiental exige integração de saberes, fortalecimento da cooperação federativa e ancoragem em evidências técnicas (Alves; Azevedo, 2023).

Os dados analisados ao longo da pesquisa ilustram essa assimetria estrutural entre potencial ecológico e capacidade institucional. O Brasil, que detém a segunda maior extensão de cobertura florestal do planeta, com 12,2% das florestas mundiais (Figura 1), enfrenta uma trajetória de redução progressiva de vegetação nativa (Figura 2). Esse paradoxo, no qual a magnitude dos ativos ambientais contrasta com a persistência de pressões antrópicas e fragilidades administrativas, ilustra os limites de uma governança ambiental ainda predominantemente reativa e setorializada.

No Tocantins, essas dificuldades assumem contornos específicos, em razão da sua inserção em zonas ecológicas de transição e no “arco do desmatamento”, onde a pressão antrópica se intensifica (Silva, 2007). Os resultados empíricos confirmam essa vulnerabilidade: o Estado apresentou uma das maiores médias anuais de desmatamento no bioma Cerrado no período entre 2013 e 2023, com 22.370 km² suprimidos por ano (Figura 3). Além disso, observou-se também uma das maiores médias anuais de área queimada, com 22.458,3 km²/ano (Figura 4), e contribuição proporcional expressiva em relação ao total do Cerrado, tanto para desmatamentos quanto para queimadas (Figuras 5 e 6).

De forma complementar aos achados empíricos, no que tange ao alto índice de queimada no ano de 2017, apontado na Figura 5, segundo informações do Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (IMAZON, 2018), a “estiagem prolongada”, que configura um cenário climático extremamente adverso, foi um dos principais fatores que contribuíram para a escalada da área queimada no Tocantins. Esse comportamento intensificado é agravado pela expansão das atividades produtivas no âmbito do MATOPIBA, que concentrou cerca de 74% do desmatamento do Cerrado em 2016–2017, reforçando o vínculo entre pressão antrópica e condições climáticas extremas (IPAM, 2017).

Esses indicadores reforçam a necessidade de estratégias que reconheçam as peculiaridades do território, associando conhecimento técnico, participação social e planejamento integrado para promover a conservação ambiental. A governança, nesse contexto, deve ser entendida como um mecanismo institucional adaptativo e

multiescalar, capaz de articular ações entre diferentes níveis de governo e setores sociais. O caso do Tocantins, cuja participação destacada nos processos de degradação territorial é comprovada empiricamente, evidencia a urgência de ações coordenadas e sustentadas por dados confiáveis para reverter a trajetória atual.

A Degradação Ambiental e o Papel Estratégico do Brasil na Conservação Florestal: escalas globais, nacionais e regionais

A degradação ambiental no Brasil manifesta-se de maneira irregular, mostrando diferentes dinâmicas de uso e ocupação do território, conforme apontado por Silva (2007), em seu estudo sobre a bacia Tocantins-Araguaia. Tais processos locais de desmatamento e queimadas não operam isoladamente, mas revelam tendências globais de deterioração ambiental, compondo um cenário crescente de vulnerabilidade ecológica.

Na esfera internacional, os dados reiteram a relevância estratégica do país para a conservação do planeta (Talamone; Ferraz Junior, 2024; *et al.*, PNUMA, 2019; Banco Mundial, 2024). Essa condição privilegiada, no entanto, coexiste com uma tendência contínua de retração florestal, evidenciada pelas análises, o que compromete os equilíbrios ecológicos e climáticos em escala planetária.

A preservação ambiental, como demonstrado por Kossoy (2018) e pela FAO (2020), está diretamente vinculada a funções ecológicas vitais, tais como: regulação hídrica, absorção de carbono e conservação dos solos que, uma vez comprometidas, geram impactos que extrapolam as fronteiras nacionais. A análise empírica reforça que, embora o Brasil detenha um vasto patrimônio ambiental (Figura 1), a distância entre os compromissos assumidos internacionalmente e a efetividade das políticas de conservação interna permanece significativa.

Segundo Vargas (2021), parte expressiva dessa lacuna decorre da fragilidade institucional da gestão ambiental brasileira, marcada pela fragmentação de competências entre os entes federativos. Essa limitação também é enfatizada por Alves e Azevedo (2023), que apontam a desarticulação normativa e administrativa como barreiras à construção de políticas públicas consistentes.

No âmbito regional, os dados do Tocantins reiteram esse diagnóstico. O Estado apresentou, entre 2013 e 2023, indicadores alarmantes tanto de desmatamento (Figura 3) quanto de queimadas (Figura 4), além de uma contribuição

proporcional expressiva para as perdas de vegetação no bioma (Figuras 5 e 6).

Esse panorama evidencia que os compromissos ambientais não se concretizam sem capacidade institucional de planejamento, controle e ação coordenada. A governança ambiental, nesse contexto, revela como uma condição necessária para a articulação entre potencial ecológico e efetividade normativa. Superar os modelos fragmentados exige, portanto, sistemas de governança integrados, capazes de articular evidências técnicas, cooperação federativa e territorialização das políticas públicas (Alves; Azevedo, 2023; Giovanella, *et al.* 2008).

Assim, no Estado tocantinense, a consolidação de um sistema de governança ambiental eficaz demanda, sobretudo, planejamento territorial integrado, fortalecimento dos mecanismos de monitoramento e responsabilização, além do enfrentamento das lacunas institucionais que comprometem a resposta pública diante da degradação crescente.

Variação da Cobertura Florestal no Brasil (1990–2022): uma tendência que exige atenção

A análise da cobertura florestal brasileira (Figura 2) evidenciou tendência contínua de retração, com supressão vegetal persistente ao longo da última década. Embora não abrupto, esse processo revela perdas acumuladas com efeitos graduais sobre a biodiversidade, os regimes hídricos e a estabilidade climática.

Conforme pode-se observar na Tabela I, evidencia-se de forma mais precisa uma retração progressiva da cobertura florestal brasileira ao longo das últimas três décadas. Entre 1990 e 2000, a redução foi de aproximadamente 6,42%, indicando uma perda média anual significativa no contexto marcada por expansão agrícola intensiva e fragilidade institucional na proteção ambiental.

Na década seguinte, entre 2014 e 2019, a retração foi de 1,51%, com leve desaceleração em relação ao período anterior, possivelmente relacionada à consolidação de políticas de comando e controle, bem como à intensificação dos sistemas de monitoramento por satélite.

Por fim, no intervalo entre 2020 e 2022, observou-se uma redução acumulada de 0,49%, refletindo a retomada de pressões antrópicas sobre os remanescentes florestais, especialmente nos biomas Cerrado e Amazônia, diante do enfraquecimento de mecanismos de fiscalização. No total acumulado de 1990 a 2022, a perda florestal brasileira foi de

aproximadamente 16,1%, evidenciando um declínio estrutural que reforça a urgência de políticas integradas de conservação e governança ambiental territorializada.

Apesar de iniciativas como o Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm), instituído em 2004, ainda persistem desafios à sua consolidação. Segundo a Climate Policy Initiative (2023b), faltam avanços na articulação entre fiscalização eficiente e incentivos à conservação, cenário agravado pela fragmentação institucional e ausência de cooperação federativa contínua, à semelhança do que ocorre em outras políticas sociais descentralizadas (Giovanella, *et al.*, 2008).

Nesse contexto, a governança ambiental exige fortalecimento técnico e político, com estruturas integradas e responsivas às evidências. Conforme Vargas (2021) e Alves e Azevedo (2023), a dificuldade de articulação entre os entes federativos segue como entrave central à efetividade das políticas ambientais. A leitura da série histórica reafirma a urgência de arranjos institucionais mais coesos e territorializados.

Área Queimada e desmatada no Bioma Cerrado (2013–2023)

Entre os anos de 2013 e 2023, o bioma Cerrado apresentou um cenário marcado por múltiplas pressões sobre seus ecossistemas, com destaque para a recorrência de queimadas e o avanço do desmatamento. A distribuição dessas pressões ao longo da série histórica revela padrões espaciais heterogêneos, que evidenciam vulnerabilidades regionais e indicam limitações nos mecanismos de controle e prevenção.

No caso do Tocantins, os dados apontam para uma das médias anuais mais elevadas do bioma em relação às áreas queimadas, alcançando 22.458,3 km²/ano. Em diversos momentos da série, a contribuição do estado superou a média proporcional esperada segundo sua participação na extensão territorial do Cerrado, sugerindo a recorrência de eventos intensos de fogo. Essa frequência elevada pode estar associada a fatores climáticos, à estrutura fundiária e à presença de atividades antrópicas em larga escala, que favorecem a propagação do fogo como vetor de degradação ambiental.

Paralelamente, o Tocantins também se destacou nos indicadores de desmatamento, mantendo participação expressiva nos totais anuais registrados para o bioma (Figura 6), o que se confirma pela série consolidada (Figura 7). As flutuações observadas ao longo do período indicam influência de fatores conjunturais, como

a variabilidade nas políticas públicas de controle ambiental, a dinâmica econômica local e a intensificação das atividades agropecuárias. Estudos sobre a região do MATOPIBA - da qual o Tocantins faz parte - apontam a conversão de áreas nativas em lavouras, especialmente de soja, como principal motor do desmatamento no período analisado (IMAFLOA, 2018).

A consolidação dessas análises permite delimitar com clareza a participação do Tocantins nos processos de transformação territorial do Cerrado. As proporções registradas oferecem subsídios técnicos para o delineamento de políticas públicas com foco territorial, voltadas à regulação do uso da terra, à fiscalização das pressões antrópicas e ao monitoramento dos serviços ecossistêmicos associados à vegetação nativa.

Autos de Infração Ambiental: convergências entre pressão antrópica, desmatamento, queimadas e governança

A análise dos dados consolidados evidencia que a Amazônia concentrou o maior número de autos de infração ambiental no período de 2013 a 2023. Esse resultado reflete não apenas a intensidade das pressões antrópicas nesse bioma, mas também a presença de estruturas institucionais mais robustas de fiscalização. O Cerrado e a Mata Atlântica também apresentaram volumes expressivos de infrações, demonstrando desafios ambientais relevantes nesses territórios. Já os biomas da Caatinga, Pampa e Pantanal registraram números relativamente menores de autos, o que pode estar associado a fatores como menor densidade populacional, distintos usos do solo e cobertura institucional menos abrangente. Ainda assim, a existência de registros mesmo em biomas com menor visibilidade pública reforça a urgência de estratégias regionalizadas de controle e responsabilização ambiental.

A distribuição espacial dessas infrações (Figura 8) contribui para a delimitação de áreas prioritárias à atuação estatal, tanto no que diz respeito à fiscalização e responsabilização quanto à recuperação ambiental. A utilização de uma base pública, atualizável e auditável, como a do IBAMA (2024), confere transparência e legitimidade ao processo analítico, além de oferecer subsídios técnicos concretos à formulação de políticas ambientais mais efetivas e territorializadas.

No caso específico do Tocantins, os dados revelam flutuações significativas nos autos de infração ambiental lavrados entre 2013 e 2023, com destaque para o aumento expressivo dos registros entre 2021 e 2023, após um ponto mínimo em 2020 - ano marcado por restrições

operacionais nos órgãos públicos em razão da pandemia da COVID-19. Esse comportamento indica não apenas variações na capacidade de fiscalização, mas também o agravamento de processos degradantes como desmatamento e queimadas no território estadual, conforme apontado nas figuras anteriores.

Durante o tratamento da base de dados do IBAMA, foram identificadas dificuldades operacionais relacionadas à ausência de um dicionário oficial de dados que esclarecesse a lógica de codificação e os critérios de categorização das infrações. Em virtude disso, tornou-se necessário validar manualmente os termos e códigos constantes nos registros. Mesmo diante dessas limitações, estima-se uma margem de erro de aproximadamente 5% nos dados processados - índice considerado aceitável

em estudos quantitativos com base populacional, conforme Lamattina *et al.* (2024).

Além disso, constatou-se a existência de incongruências entre os textos descritivos das infrações e os códigos numéricos a elas associados. Embora o IBAMA disponibilize orientações sobre a estrutura de codificação de seu sistema, verificou-se que diferentes condutas, como desmatamento e queimada, apareciam vinculadas a um mesmo código (Quadro 1), o que comprometeu a precisão na classificação. Para mitigar essa limitação, foram aplicados filtros manuais a partir da ocorrência de termos específicos nas descrições, como “desmatar”, “danificar”, “explorar”, “queimada” e “fogo”, a fim de recuperar com maior fidedignidade os registros pertinentes às tipologias analisadas.

Quadro 1 – Códigos de Infração e respectivas descrições informados pelo IBAMA

| Código de Infração | Descrição |
|--------------------|--|
| 509999 | Infração de Fauna |
| 409999 | Infração de Flora |
| 910004 | Infração de Administração Ambiental |
| 910002 | Infração de Biopirataria |
| 910005 | Infração de Licenciamento |
| 910003 | Infração de Ordenamento Urbano e Patrimônio Cultural |
| 709999 | Infração de Pesca |
| 910001 | Infração de Unidade de Conservação |
| 910000 | Infração de CTF |
| 609999 | Infração de Qualidade Ambiental |

Fonte: IBAMA (2025). Elaborado pelos autores (2025).

As representações gráficas derivadas desse esforço analítico revelam não apenas o padrão de incidência das infrações, mas também as limitações estruturais enfrentadas na etapa de categorização. A sobreposição de códigos e a inconsistência terminológica expõem a complexidade da estrutura informacional do IBAMA e reforçam a necessidade urgente de aprimoramento da qualidade dos registros administrativos. Esse desafio, por sua vez, está diretamente ligado aos pressupostos da governança ambiental, tal como discutidos por Alves e Azevedo (2023), que destacam a importância da organização interinstitucional e da solidez das bases informacionais para a formulação de políticas públicas eficazes e responsivas.

Quando confrontados com os indicadores de desmatamento e queimadas no Cerrado - particularmente no Tocantins -, os dados de autos de infração revelam padrões de sobreposição espacial e temporal, o que aponta para a atuação recorrente de agentes de degradação e para lacunas na prevenção e na responsabilização, os quais demandam estudos científicos sólidos. Essa correlação reforça os

limites de uma governança fragmentada, ainda pouco articulada entre os diferentes níveis federativos e insuficientemente orientada por evidências sistematizadas (Vargas, 2021; Alves; Azevedo, 2023).

Adicionalmente, os dados extraídos da base do IBAMA (2024) revelaram que, no Tocantins, entre 2013 e 2023, foram registradas 1.435 infrações ambientais, das quais 1.418 foram relacionadas ao desmatamento e apenas 17 à queimada. A concentração dessas condutas tipificadas, esbarra em um obstáculo analítico: a base não permite verificar a efetiva aplicação das penalidades, tampouco sua conversão, anulação ou arrecadação. Embora haja campos sobre valores de multas previstas e tipologia do auto, não existem colunas relativas à conclusão do processo administrativo ambiental ou à efetivação de medidas compensatórias. Essa limitação compromete a estimativa de retorno financeiro ao erário ou a avaliação da eficácia punitiva, dificultando, portanto, a retroalimentação de estratégias de fiscalização.

Observou-se também que a base permite distinguir os autuados entre pessoas físicas e jurídicas - com base na identificação por CPF ou

CNPJ -, mas não há categorização fundiária ou socioeconômica, o que inviabiliza análises voltadas à responsabilização diferenciada ou à aplicação de instrumentos de justiça ambiental. Tais lacunas reforçam a importância de se aprimorar os sistemas de registro e integração de dados, com vistas a subsidiar políticas públicas mais precisas, transparentes e voltadas à equidade na responsabilização ambiental (Porto *et al.*, 2013).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados apresentados ao longo deste estudo demonstram a relevância da análise articulada entre dados ambientais, registros de infrações e fundamentos da governança ambiental para compreender os processos de degradação no bioma Cerrado. A partir da abordagem metodológica mista adotada, foi possível identificar padrões consistentes de supressão vegetal por desmatamento e queimadas, com destaque para a expressiva participação do estado do Tocantins entre os anos de 2013 e 2023.

A sobreposição dessas pressões, aliada à concentração proporcional de eventos, indica a presença de dinâmicas territoriais associadas a fatores estruturais, como a conversão de áreas nativas em lavouras, especialmente para o cultivo de soja, conforme apontado por estudos sobre a região do MATOPIBA. Esses elementos ajudam a compreender o papel persistente do Tocantins nos processos de transformação ambiental do Cerrado e reforçam a necessidade de instrumentos institucionais que operem com base em evidências e critérios técnico-territoriais.

A análise dos autos de infração ambiental revelou limitações importantes na estrutura dos registros administrativos do IBAMA, como a ausência de padronização terminológica e a sobreposição de categorias infracionais. Ainda assim, tais dados se mostraram fundamentais para identificar áreas prioritárias de fiscalização e regiões com recorrência de condutas lesivas ao meio ambiente.

Neste contexto, a governança ambiental, conforme definida por Alves e Azevedo (2023) e Vargas (2021), revela-se elemento central para o enfrentamento da degradação ambiental no Brasil. A fragmentação das competências entre os entes federativos e a desarticulação das políticas públicas comprometem a capacidade do Estado de responder de forma eficaz às pressões antrópicas que afetam os biomas.

Dessa forma, conclui-se que o aprimoramento da governança ambiental demanda, para além de marcos legais sólidos, a qualificação técnica dos instrumentos de monitoramento, a integração entre instituições e a valorização de dados públicos auditáveis. A articulação entre essas dimensões é fundamental para a formulação de políticas públicas territoriais, baseadas em evidências, capazes de assegurar a conservação ambiental, o uso sustentável dos recursos naturais e a responsabilização por condutas infracionais.

Como desdobramento, recomenda-se que pesquisas futuras se debrucem sobre a análise dos desfechos dos processos administrativos ambientais, considerando a efetividade das penalidades aplicadas, os mecanismos de conversão de multas e a reincidência por perfil de autuado. Ademais, estudos comparativos entre diferentes unidades federativas poderiam ampliar a compreensão sobre os mecanismos institucionais mais eficazes na mitigação da degradação ambiental no Cerrado.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam sinceros agradecimentos à Escola Superior da Magistratura Tocantinense (ESMAT) pelo inestimável apoio institucional prestado para a tradução do artigo “Governança Ambiental e Dinâmica de Degradação no Cerrado: Evidências Empíricas e Institucionais no Estado do Tocantins” para a língua inglesa. Essa colaboração foi essencial para viabilizar a submissão internacional desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ALVES, R. A.; AZEVEDO, A. M. Governança ambiental e desafios socioambientais contemporâneos: uma análise da evolução da gestão pública. **Revista de Desenvolvimento Econômico – RDE**, Salvador, 2023. <http://dx.doi.org/10.36810/rde.v2isaru20.8774>
- Banco Mundial. **Forest area (sq. km). DataBank**, 2024. Disponível em: <https://databank.worldbank.org/reports.aspx?source=2&series=AG.LND.FRST.K2&country=#>. Acesso em: 01 mar. 2025.
- BRASIL. **Decreto nº 9.073, de 5 de junho de 2017**. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato201

- 5-2018/2017/Decreto/D9073.htm. Acesso em: 1 abr. 2025.
- CLIMATE POLICY INITIATIVE. **O efeito dominó da Amazônia:** como o desmatamento pode desencadear uma degradação generalizada. São Paulo: CPI, 2023a. Disponível em: <https://www.climatepolicyinitiative.org/pt-br/publication/o-efeito-domino-da-amazonia-como-o-desmatamento-pode-desencadear-uma-degradacao-generalizada/>. Acesso em: 1 abr. 2025.
- CLIMATE POLICY INITIATIVE. **Combate ao desmatamento ilegal:** fortalecimento do comando e controle é fundamental. São Paulo: CPI, 2023b. Disponível em: <https://www.climatepolicyinitiative.org/publication/combating-illegal-deforestation/white-paper-combate-ao-desmatamento-illegal-fortalecimento-do-comando-e-controle-e-fundamental-2/>. Acesso em: 1 abr. 2025.
- DERMEVAL, D.; COELHO, J. A. P. D. M.; BITTENCOURT, Ig I. Mapeamento Sistemático e Revisão Sistemática da Literatura em Informática na Educação. In: BITTENCOURT, Ig I. *et al.* (Org.). Metodologia de Pesquisa Científica em Informática na Educação: Abordagem Quantitativa. Brasília: Sociedade Brasileira de Computação, 2020. Disponível em: <https://ceie.sbc.org.br/metodologia/index.php/livro-2/>. Acesso em: 29 mar. 2025.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **The State of Food and Agriculture:** Overcoming water challenges in agriculture. Rome: 2020. Disponível em: <https://www.fao.org/interactive/state-of-food-agriculture/2020/en/>. Acesso em: 11 abr. 2025.
- GOOGLE SCHOLAR. 2024. Disponível em: <https://scholar.google.com.br/>. Acesso em: 11 abr. 2025.
- GIOVANELLA, L.; ESCOSTEGUY, C. C.; MENDES, A.; VIEIRA DA SILVA, L. M. (orgs.). **Políticas e sistemas de saúde no Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: Editora Fiocruz, 2008. Disponível em: <https://books.scielo.org/id/c5nm2>. Acesso em: 04 jul. 2025.
- IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis. **Dados abertos – Fiscalização:** Autos de infração. 2024. Disponível em: <https://dadosabertos.ibama.gov.br/dataset/fiscalizacao-auto-de-infracao>. Acesso em: 29 mar. 2025.
- IBAMA - INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Resposta ao Pedido de Acesso à Informação – Processo SEI nº 02303.005265/2025-81.** Brasília, DF. Disponível em: <https://buscalai.cgu.gov.br/PedidosLai/Detail?ePedido?id=8504840>. Acesso em: 29 mar. 2025.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Biomass e Sistema Costeiro-Marinho do Brasil – PGI**. 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/apps/biomass/#/home>. Acesso em: 29 mar. 2025.
- IBGE - Instituto Brasileiro De Geografia e Estatística. **Cidades e Estados. Tocantins (código: 17)**. 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/to.html>. Acesso em: 06 jul. 2025.
- IMAFLORA - Instituto de Manejo e Certificação Florestal e Agrícola. **Relatório mapeia em detalhes a cadeia produtiva da soja e contribui para a transparência no setor**. 2018. Disponível em: <https://imaflora.org/noticias/relatorio-mapeia-em-detalhes-cadeia>. Acesso em: 1 abr. 2025.
- IMAZON – Instituto Do Homem E Meio Ambiente Da Amazônia. **Brasil termina 2017 com número recorde de queimadas desde 1999**. Belém, 11 jan. 2018. Disponível em: <https://imazon.org.br/imprensa/brasil-termina-2017-com-numero-recorde-de-queimadas-desde-1999/>. Acesso em: 06 jul. 2025.
- INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Monitoramento do Desmatamento no Brasil por Satélite**. São José dos Campos: INPE, 2024a. Disponível em: <https://terrabilis.dpi.inpe.br/app/map/deforestation>. Acesso em: 28 mar. 2025.
- INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Sistema de monitoramento da cobertura vegetal – Bioma Cerrado**. 2024b. Disponível em: <https://terrabilis.dpi.inpe.br/>. Acesso em: 1 abr. 2025.
- IPAM – Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia. **Nota sobre o anúncio de desmatamento no Cerrado em 2016 e 2017**. IPAM Amazônia, 2017. Disponível em: <https://ipam.org.br/nota-sobre-o-anuncio-de-desmatamento-no-cerrado-em-2016-e-2017/>. Acesso em: 04 jul. 2025.
- KOSSOY, A. **Qual é a importância do Brasil no Acordo do clima de Paris**. ONU Brasil, 19 nov. 2018. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/81635-artigo-qual-C3%A9-import%C3%A2ncia-do-brasil-no-acordo-do-clima-de-paris>. Acesso em: 1 abr. 2025.
- LAMATTINA, A. D. A.; PERALTA, M. C.; PAULINO, C. E.; OLIVEIRA, D. D. S.

- Quantificando Realidades:** Técnicas de Pesquisa Quantitativa. Brasília: Editora MultiAtual, 2024. Disponível em: <https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/869503/2/Quantificando%20Realidades%20T%C3%A9cnicas%20de%20Pesquisa%20Quantitativa.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2025.
- LEAL, G. S.; SILVA, D. A. O.; SOPELETE, M. C. Conceitos básicos de bioestatística. In: MINEO, J. R. (Org.). Introdução à estatística: análise exploratória de dados com o software R. Uberlândia: EDUFU, 2010. Disponível em: <https://books.scielo.org/id/wh35j/pdf/mineo-9788570785237-07.pdf>. Acesso em: 31 mar. 2025.
- MAPBIOMAS - Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil. **Cicatrizes de Fogo (Coleção 3)**. 2024a Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/estatisticas/>. Acesso em: 28 mar. 2025.
- MAPBIOMAS - Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil. **MATOPIBA passa a Amazônia e assume a liderança do desmatamento no Brasil**. 2024b. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/2024/05/28/matopiba-passa-a-amazonia-e-assume-a-lideranca-do-desmatamento-no-brasil/>. Acesso em: 04 jul. 2025.
- PORTO, M. F. S.; PACHECO, T.; LEROY, J. P. **Injustiça ambiental e saúde no Brasil:** o mapa de conflitos. Rio de Janeiro: Editora Fiocruz, 2013. Disponível em: <https://books.scielo.org/id/468vp/pdf/porto-9788575415764.pdf>. Acesso em: 06 jul. 2025.
- PNUMA – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. **Brasil possui entre 15% e 20% da diversidade biológica mundial**. ONU News, 22 mar. 2019. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2019/03/1662482>. Acesso em: 9 nov. 2024.
- SILVA, L. A. G. C. **Biomias presentes no Estado do Tocantins**. Brasília: Câmara dos Deputados, Consultoria Legislativa, 2007. Disponível em: <https://bd.camara.leg.br/bd/items/16ed57de-03d8-4f66-8ee0-58766e19de43/full>. Acesso em: 4 abr. 2025.
- SCIELO – Scientific Electronic Library Online. 2025. Disponível em: <https://www.scielo.br/>. Acesso em: 31 mar. 2025.
- TALAMONE, R.; FERRAZ JUNIOR. **A complexa geografia da água no Brasil e no mundo**. Jornal da USP, 18 mar. 2024. Disponível em: <https://jornal.usp.br/campus-ribeirao-preto/a-complexa-geografia-da-agua-no-brasil-e-no-mundo/>. Acesso em: 9 nov. 2024.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS. **Biblioteca Comunitária**. Web of Science. São Carlos. 2024. Disponível em: <https://www.bco.ufscar.br/servicos-informacoes/web-of-science>. Acesso em: 18 mar. 2024.
- VALLE, P. R. D.; FERREIRA, J. D. L. Análise de conteúdo na perspectiva de Bardin: contribuições e limitações para a pesquisa qualitativa em educação. **Educar em Revista**, 2024. <https://doi.org/10.1590/0102-469849377>
- VARGAS, D. L. Na contramão da sustentabilidade: a pauta da governança ambiental no Brasil. Colóquio - **Revista do Desenvolvimento Regional**, Taquara, 2021. <https://doi.org/10.26767/2026>

CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Silvânia Gonçalves de Carvalho: Conceitualização; Metodologia; Investigação; Análise formal; Curadoria de dados; Redação — rascunho original; Visualização; Administração do projeto.

Daniela Mascarenhas de Queiroz Trevisan: Supervisão; Análise formal; Curadoria de Dados; Escrita — revisão e edição; Supervisão.

David Prata: Análise formal; Validação.

Diego Rodrigues: Investigação; Validação.

Waldecy Rodrigues: Supervisão; Escrita — revisão e edição.

Leonardo de Andrade Carneiro: Escrita — revisão e edição.

Gentil Barbosa: Escrita — revisão e edição.

Marcelo Lisboa: Curadoria de dados; Visualização.

Ana Flavia Moreira Pires: Investigação; Curadoria de dados; Visualização.



Este é um artigo de acesso aberto distribuído nos termos da Licença de Atribuição Creative Commons, que permite o uso irrestrito, distribuição e reprodução em qualquer meio, desde que o trabalho original seja devidamente citado.