

ANÁLISE MULTITEMPORAL DO USO E COBERTURA DO SOLO, LÂMINA D'ÁGUA E FREQUÊNCIA DE FOGO DA REGIÃO HIDROGRÁFICA DO TOCANTINS-ARAGUAIA

Multitemporal analysis of the soil use and coverage, water slide and fire frequency in the hydrographic region of Tocantins-Araguaia

Tales Emanuel Silva Bernardino ¹ Hugo José Ribeiro ²



PALAVRAS CHAVE:

Região Hidrográfica
Tocantins-Araguaia;
Sensoriamento Remoto;
Mapbiomas;
Frequência de Fogo;
Recursos Hídricos;
Uso e Cobertura do Solo;

KEYWORDS:

*Tocantins - Araguaia
Hydrographic Region;
Remote sensing;
Mapbiomas;
Fire Frequency;
Water resources;
Land Use and Cover.*

RESUMO: A Região Hidrográfica do Tocantins – Araguaia é uma importante região de desenvolvimento socioeconômico do país, corresponde por 11% da área territorial nacional e é a segunda maior região em disponibilidade hídrica. Nas últimas décadas tem se um aumento na demanda desse recurso, o que levanta um alerta acerca dos impactos negativos advindo de seu manejo inadequado. O objetivo desse estudo consistiu em analisar o comportamento multitemporal do uso e cobertura do solo, dimensões de lâmina d'água e frequência de fogo da macrorregião hidrográfica do Tocantins- Araguaia - MHTA e suas mesorregiões, utilizando dados disponibilizados pela Plataforma Mapbiomas entre os anos de 1985 e 2020. Para tanto, foram utilizados os dados *raster* disponibilizados na plataforma, os quais foram classificados e processados a partir das ferramentas de SIG, a fim de se extrair as informações necessárias ao estudo. Os resultados demonstraram uma diminuição significativa na lâmina de água na mesorregião hidrográfica do Araguaia – MHA, processo que tem se intensificado devido aumento da conversão das classes de uso do solo, principalmente para as atividades de pastagem e cultivo. As demais regiões apesar de não apresentaram alterações significativas na lâmina de água, sofreram grandes processos de conversão do uso do solo que impactaram no aumento da frequência de fogo, provocando importantes perdas a diversidade biológica da região.

ABSTRACT: The Hydrographic Region of Tocantins – Araguaia is an important region of socioeconomic development in the country, corresponding to 11% of the national territorial area and is the second largest region in terms of water availability. In recent decades there has been an increase in the demand for this resource, which raises an alert about the negative impacts arising from its inadequate management. The objective of this study was to analyze the multitemporal behavior of land use and cover, water depth dimensions and fire frequency of the Tocantins- Araguaia - MHTA hydrographic macro-region and its mesoregions, using data made available by the Mapbiomas Platform between the years of 1985 and 2020. For this, raster data available on the platform were used, which were classified and processed using GIS tools, in order to extract the information necessary for the study. The results showed a significant decrease in the water depth in the Araguaia hydrographic mesoregion – MHA, a process that has intensified due to the increase in the conversion of land use classes, mainly for pasture and cultivation activities. The other regions, despite not showing significant changes in water depth, had undergone major land use conversion processes that impacted the increase in fire frequency, causing significant losses to the region's biological diversity.

* Contato com os autores:

¹ e-mail: tales266@hotmail.com (T. E. S. Bernardino)

Engenharia Ambiental e Sanitária, Mestrando, Universidade Federal de Goiás (UFG).

² e-mail: hgribeirogeo@gmail.com (H. J. Ribeiro)

Geoprocessamento, Doutor, Docente da Escola de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Goiás (EECA/UFG).

1. INTRODUÇÃO

O território brasileiro é dividido em 12 Regiões Hidrográficas – (RHs), estabelecidas pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH, por meio da Resolução nº 32 de 15 de outubro de 2003, que as definiu como espaços territoriais compreendidos por uma bacia, grupo de bacias ou sub-bacias hidrográficas com características naturais, sociais e econômicas homogêneas, com o objetivo de orientar o planejamento e o gerenciamento dos recursos hídricos (Brasil, 2003).

Nesse contexto, convém observar a importância desses recortes hidrográficos, uma vez que, são a partir deles que a sociedade obtém grande parte dos serviços ambientais essenciais ao abastecimento humano, dessedentação animal, irrigação e a continuidade das atividades dos setores secundários e terciários. Nesse cenário, os recursos hídricos passam a apresentar um papel vital na análise do estado de conservação das RHs, pois os diversos impactos antrópicos e as progressivas alterações de uso e ocupação do solo refletem diretamente no balanço hídrico das bacias hidrográficas (Laurentis, 2012).

Com isso, as tecnologias de captação de imagens e dados da superfície terrestre como o sensoriamento remoto, tornam-se ferramentas de grande importância aos estudos que visam mapear e monitorar as mudanças na superfície de água, como os exemplificados nas pesquisas de Duan e Bastiaanssen (2013), Li et al. (2013), Fang-Fang et al. (2011), Bhangale et al. (2020) e Souza et al. (2022).

Os avanços tecnológicos para obter informações das características superficiais da terra no Brasil passaram a contar com um importante projeto conhecido como Mapeamento Anual de Cobertura e Uso do Solo no Brasil (Mapbiomas), o qual possibilitou realizar o monitoramento, a partir dos mais avançados métodos de processamento, dos dados anuais e mensais de cobertura e uso do solo, área superficial do espelho de água, cicatrizes de fogo e desmatamento (Rosa, Shimbo e Azevedo, 2019; Souza Junior et al. 2019; Alencar et al. 2022; Ribeiro, 2022).

Bayer et al. (2020) já apresentou evidências na estreita relação entre as mudanças na cobertura vegetal e o acelerado aumento no aporte de sedimentos nos sistemas fluviais nas últimas décadas, processo que tem notáveis impactos de redução de volume e vazões máximas nas bacias hidrográficas da porção goiana do Araguaia. O mesmo se conclui nos estudos de Santos e Martins (2016) na porção da bacia hidrográfica do alto Tocantins, onde o assoreamento provocado por erosões em regiões que não possuem vegetação riparia, tem facilitado o escoamento de compostos orgânicos, afetando e comprometendo a diversidade biológica da região.

Outro importante fator a ser considerado é a ação do fogo, que segundo Rocha e Nascimento (2021) também está intrinsecamente associada às alterações da cobertura vegetal do solo, principalmente para a implantação de atividades antrópicas, as quais promovem o fortalecimento de variáveis climáticas adversas que tendem a diminuir a variabilidade de precipitação e aumentar a temperatura do ar, o que consequentemente amplia a distribuição espacial das queimadas em toda a região do Cerrado.

Nesse sentido, analisar essas informações temporais sobre o uso e cobertura da terra, bem como dos processos antrópicos a elas associados pode trazer importantes considerações acerca das alterações de funcionamento dos ecossistemas naturais e consequentemente promover a melhoria na gestão dos recursos hídricos. A partir desse cenário, menciona-se a RH do Tocantins – Araguaia, área estratégica de desenvolvimento socioeconômico ao país, principalmente devido ao seu potencial hídrico que atende as mais diversas atividades econômicas. A demanda desses recursos tem se intensificado nas últimas décadas, o que levanta um alerta a potencialização dos impactos negativos advindos de seu manejo inadequado (Gomes et al., 2018).

Segundo dados da ANA (2015), a RH do Tocantins – Araguaia possui 409 municípios, com população total de aproximadamente 8,6 milhões de habitantes segundo o último censo demográfico de 2010. A maior concentração populacional se encontra nas mesorregiões hidrográficas do Alto e Baixo Tocantins, cerca de

76% do total, principalmente por englobar parte do entorno do Distrito Federal e algumas das principais cidades do Tocantins e Pará.

2. OBJETIVO

O objetivo desse estudo consiste em analisar o comportamento multitemporal do uso e cobertura do solo, dimensões de lâmina d'água e frequência de fogo da macrorregião hidrográfica do Tocantins – Araguaia - MHTA e suas mesorregiões, utilizando dados disponibilizados pela Plataforma Mapbiomas entre os anos de 1985 e 2020.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 SENSORIAMENTO REMOTO E ANÁLISE MULTITEMPORAL DE DADOS

O sensoriamento remoto é uma tecnologia que permite a obtenção de dados e informações a partir da captação por sensores da energia emitida ou refletida pela superfície terrestre. Esses dados permitem compreender a dinâmica de comportamento de diversas regiões do planeta, garantindo imagens com certa frequência e periodicidade. (Moreira, 2001; Florenzano, 2007).

Tais avanços tecnológicos possibilitaram a identificação e o monitoramento sistêmico de importantes fatores de conservação e preservação de áreas de relevantes interesses econômicos e socioambientais, como é o caso das bacias hidrográficas. Nesse contexto, exemplificam-se o estudo de Morais (2006) que utilizaram em sua pesquisa produtos do projeto LANDSAT (*Land Remote Sensing Satellite*), para analisar os processos geomorfológicos do canal da planície aluvial do médio Araguaia. Os resultados desse estudo demonstraram que o aumento das conversões do uso do solo de áreas de vegetação natural para usos agrícolas, influenciaram diretamente no aumento do PIB dos municípios e consequentemente o aumento do volume e massa de sedimentos armazenados no sistema fluvial.

Nesse sentido, segundo Mascarenhas, Ferreira e Ferreira (2009) o sensoriamento remoto tem apresentado um amplo leque de aplicações relativas aos recursos hídricos, sejam eles no monitoramento do estado de conservação da qualidade da água, dos processos hidrológicos e erosivos, bem como nas estimativas de áreas inundadas.

Em relação aos estudos de áreas queimada Carvalho et al. (2017) e Mascarenhas e Vidal (2021), utilizaram dados dos satélites LandSat-8 e Sentinel-2B para auxiliar na identificação dos processos de distribuição espacial de áreas queimadas e em processos de queima. Os resultados apresentados pelos estudos também demonstraram uma forte relação do aumento de incidência de áreas queimadas em ambientes com baixa atividade fotossintéticas, ou seja, a maior incidência está representada por formações savânicas e campestres, o que segundo Rocha e Nascimento (2021) corroboram com a hipótese do uso das queimadas para conversão do solo em usos antrópicos.

Ferreira et al. (2008) e Mascarenhas, Ferreira e Ferreira (2009), por sua vez, utiliza em seus estudos as imagens do *China Brazil Earth Resource Satellite – CERBS II – CCD*, que apresenta uma resolução espacial de até 20 metros, fornecendo dados à análises que requeiram um maior nível de detalhamento, como por exemplos a quantificação de forma precisa do uso e cobertura do solo. A partir dos resultados produzidos por esses estudos notou-se a ocorrência de sérios impactos as matas ciliares, verificando que as áreas sobre a influência da rede hidrográficas do Araguaia já estão em grande parte desprotegidas.

3.2. MAPBIOMAS

O Projeto Mapbiomas, uma iniciativa criada em 2015 por universidades, ONGs e empresas para desenvolver um método rápido, confiável e de baixo custo para produção de mapas de uso e cobertura do

solo. Os dados desse projeto são obtidos a partir de análises de mosaicos de imagens do satélite LandSat disponíveis na plataforma *Google Earth Engine* (<https://code.earthengine.google.com/>), no período de 1985 a 2020 e com resolução espacial de 30 metros.

O sistema de classificação das imagens é feito de forma automática pela utilização de algoritmos de aprendizagem de máquina e processamento em nuvem. Além disso, em alguns produtos é feita a composição de bandas a partir de modelos espectrais de mistura (MEM) e aplicação de regras de decisão de *fuzzy* para se obter dados de probabilidade de ocorrência de determinado pixel. O projeto é uma ferramenta de grande importância e tem possibilitado diversos estudos (Brito e Silva, 2019; Gomes et al. 2021; Rocha e Nascimento, 2021) a compreender os fatores que tem contribuído no dinamismo do território no decorrer dos anos.

3.4 BIOMAS AMAZÔNICO E CERRADO

O bioma amazônico é o maior bioma brasileiro, cobre uma área de mais de 4 milhões de km², sendo possivelmente o maior em diversidade biológica do mundo. Nesse contexto, a preservação desse vasto ecossistema tem sustentado processos cruciais de regulação do clima, que influencia significante em escala regionais e globais (MMA, 2022).

A conversão do uso do solo desse bioma tem sido utilizada principalmente para a criação de áreas de pastagem, o que tem resultado mudanças nas características físicas e químicas do solo e no aumento do aporte de gases de efeito estufa devido as operações de queima (Araújo et al. 2011).

O Cerrado, no que lhe concerne, é o segundo maior bioma em extensão territorial, estado presente em todas grandes regiões brasileiras, sendo o Centro-Oeste a região mais expressiva, com 56, 1% da superfície (IBGE,2019). Segundo Oliveira et al. (2020), as principais causas de supressão da vegetação do Cerrado estão na expansão agrícola, principalmente pela produção de grãos e a criação de gado.

O bioma Cerrado possui uma posição estratégica em relação aos demais, além disso é considerado o berço natural das águas e, portanto, deve ser monitorado, fiscalizado e preservado para que sua degradação não ocasione mudanças climáticas, e perdas a biodiversidade, pois essa cadeia de processos pé prejudicial a alimentação das principais bacias hidrográficas da América do Sul (Brito e Silva, 2019).

4. MATERIAIS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A MHTA possui área de 937 mil km² e corresponde a aproximadamente 11% da área do território nacional. Está localizada entre 8 estados, Bahia (0,12%), Distrito Federal (0,08%), Goiás (21,01%), Maranhão (3,29%), Minas Gerais (0,01%), Mato Grosso (14,52%), Tocantins (29,70%) e Pará (31,27%). A MHTA é formada pelas Mesorregiões Hidrográficas do Araguaia (MHA), Alto Tocantins (MHAT) e Baixo Tocantins (MHBT), conforme apresentado na Figura 1.

A MHA representa 41 % da área total da Macrorregião, seu principal rio o Araguaia possui extensão de 2.600 km, nasce na serra dos Caiapós, na divisa dos estados de Goiás e Mato Grosso, e é considerado o mais importante tributário do Rio Tocantins. Além disso, a MHA apresenta a maior ilha fluvial do mundo, a Ilha do Bananal, que possui 350 km de comprimento e 80 km de largura (ANA, 2015; Penereiro, Martins e Beretta, 2016).

O Rio Tocantins com extensão total de 1.960 km, nasce no Planalto de Goiás, sendo formado pelos rios das Almas e Maranhão. Sua extensão é dividida em duas Mesorregiões, MHAT (33%) que segue até a divisa dos estados do Tocantins/Maranhão com o Pará onde recebe as águas do Rio Araguaia (região conhecida como Bico do Papagaio) e a MHBT (26%), que vai da confluência de tais rios até sua foz, englobando grande parte do estado do Pará (Ferreira e Tokarski, 2007; Oliveira, 2008).

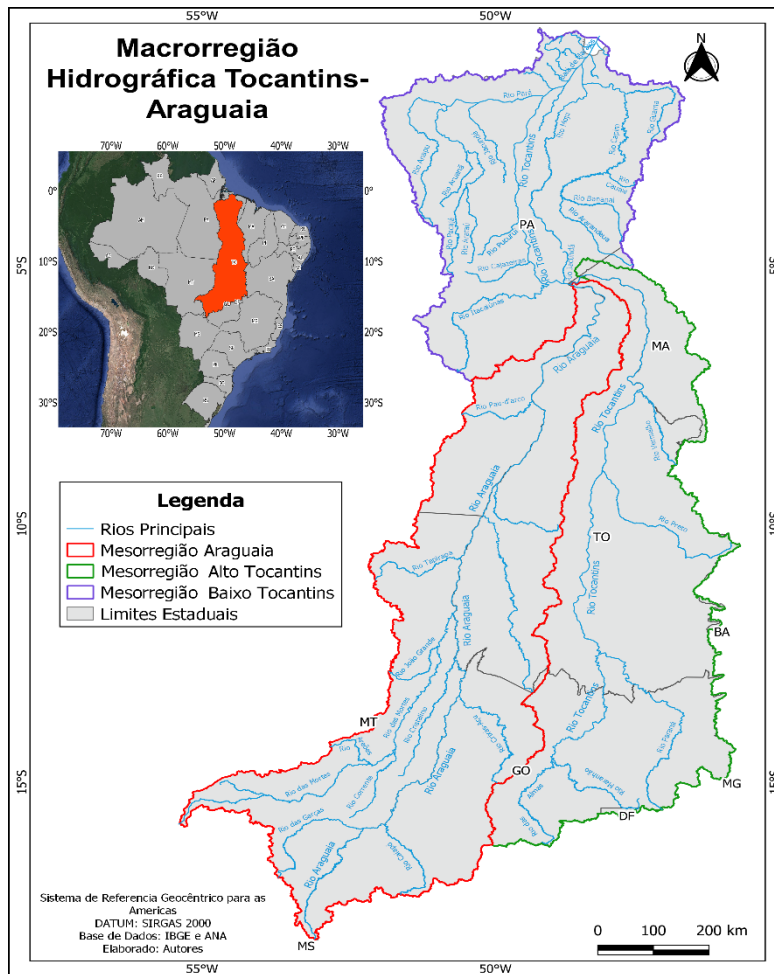


FIGURA 1: Macrorregião Hidrográfica Tocantins-Araguaia.

FONTE: Elaborado pelos Autores.

A RH do Tocantins-Araguaia é uma importante área de desenvolvimento econômico ao país, possuindo destaque nas áreas da agropecuária, mineração, navegação e produção de energia, pesca, aquicultura e o turismo. Neste aspecto, a agricultura é a agropecuária são as atividades econômicas de maior importância, principalmente devido à alta disponibilidade hídrica dessa região, o que possibilitou o aumento de 116% nas áreas irrigadas entre os anos de 2006 e 2012, em relação a pecuária, em 2006 essa região já somava cerca de 16% (27,526 milhões) do número de cabeças do país (ANA, 2009).

A mineração é outro importante setor para a economia da região, segundo dados da ANA (2015) a região é responsável por cerca de 50% da produção de ouro do país, 92% de amianto, 88% níquel, entre outros minerais. Destaque-se nesse setor mineral as regiões de Niquelândia (GO) e Marabá (PA). Outro aspecto importante a ser considerado é que esta atividade apresentou os maiores valores de retiradas de água do país no ano de 2019, totalizando 10,11 m³/s (ANA, 2020).

O setor energético também se apresenta como um dos destaques de desenvolvimento da região, em 2013 a região possuía um aproveitamento hidrelétrico de 13,14 GW, cerca de 15% da capacidade hidroelétrica do país, o rio Tocantins sozinho é responsável por 27,033 MW (ANA, 2015; Gomes et al. 2018). Em relação a pesca, estima-se uma produção de 11.000 ton/ano, com maiores contribuições nos estados do Pará, Mato Grosso e Tocantins. Além disso, estima-se que cerca de 8.500 ribeirinhos sobrevivam dessa atividade. A aquicultura por sua vez chega a produzir 25.000 ton/ano, o que representa 15% da produção nacional. O turismo na região também está fortemente vinculado as atividades de pesca esportiva, turismo ecológico e as praias fluviais (ANA, 2009).

4.1 DADOS UTILIZADOS

Para esse estudo utilizou-se dados vetoriais e matriciais, os quais são descritos na Tabela 1. Além disso, convencionou-se utilizar a codificação estabelecida na Documentação Técnica da Divisão Hidrográfica Nacional - DHN250 (IBGE, 2021), que alterou os títulos das RHs de modo a indicar a hierarquia entre os três diferentes níveis: macro, meso e micro.

TABELA 1: Dados Utilizados		
Fonte	Tipo de dado	Descrição
IBGE	Vetorial	Limites territoriais do Brasil
ANA	Vetorial	Regiões Hidrográficas, rios, Barragens e Hidrelétricas
MAPBIOMAS	Matricial	Superfície anual de água; Frequência anual de fogo; Uso e ocupação do solo coleção 6.0.

FONTES: Autoria Própria.

5. MÉTODOS

Utilizando programas gerenciamento de Sistemas de Informações Georreferenciadas - SIG realizou-se a classificação em valores únicos das camadas *raster* de água e fogo, os quais retornaram dois tipos de pixels (0 e 1). Após a classificação, foi feito o recorte pelas camadas vetoriais das mesorregiões hidrográficas e a partir disso, calculado a área em hectares utilizando a ferramenta *r. report*. Os dados foram tabulados no *software* de planilhas eletrônicas e as análises estatísticas e produção de gráficos foram feitas com o auxílio do *software R*. Para os dados de uso e ocupação do solo, optou-se por realizar o agrupamento de classes equivalentes em cinco valores únicos, como apresentados na Tabela 2.

TABELA 2: Reclassificação das camadas		
ID	Nomenclatura	Classes agrupadas
1	Formação Florestal	1-3-4-5 e 49
2	Formação natural não florestal	10-11-12-13-29 e 32
3	Agropecuária	9-14-15-18-19-20-21-36-39-40-41-46-47 e 48
4	Área não vegetada	22-23-24-25-30
5	Corpos d'água	26-27-31-33

FONTES: Autoria Própria.

Após a reclassificação foi realizado o corte dos mosaicos pelas três mesorregiões e o cálculo das áreas, seguindo os procedimentos já exemplificados. Com as matrizes classificadas foram realizadas análises de transição de lâmina de água e de uso e ocupação do solo entre os anos de 1985 e 2020, utilizando um *plugin* de classificação apresentado por Congedo (2014, 2016). A Figura 2, apresenta o fluxograma das etapas realizadas para obtenção dos resultados.

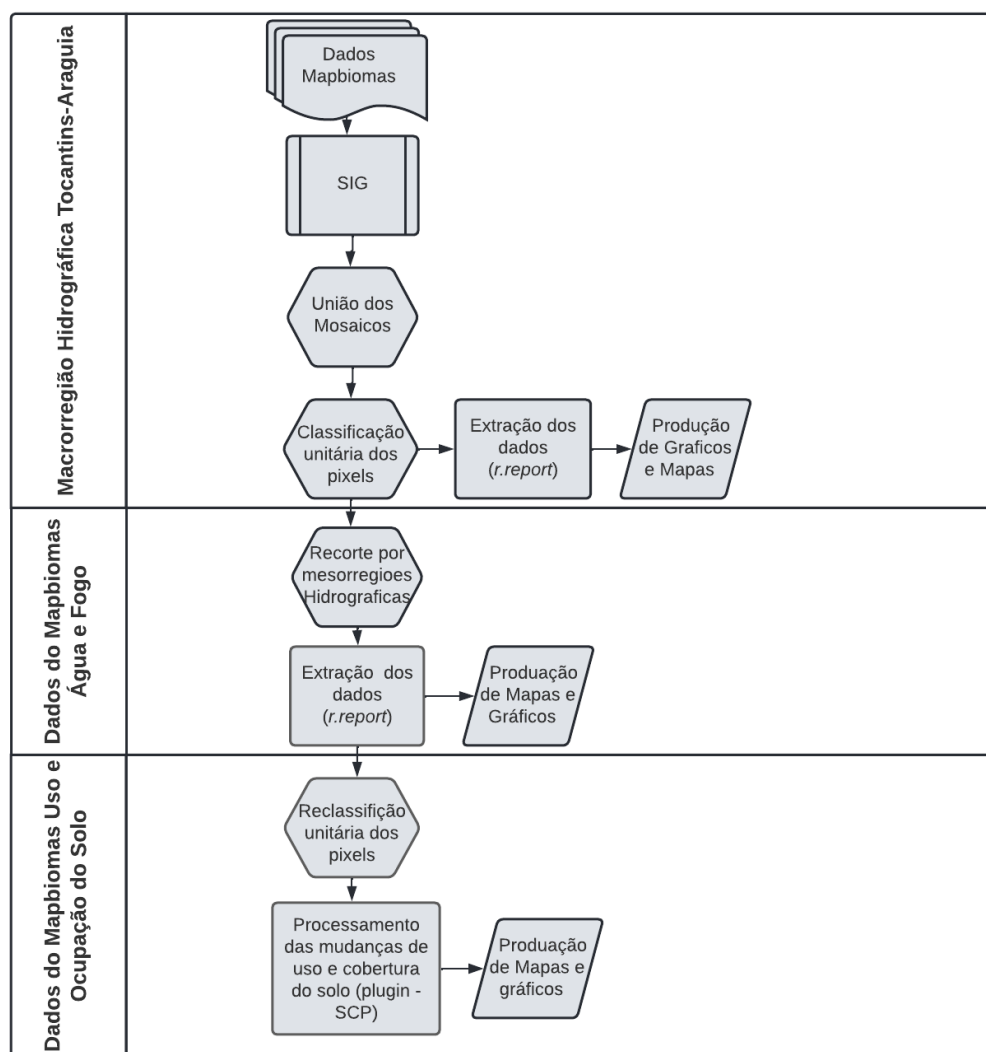


FIGURA 2: Fluxograma de projeto.

FONTE: Elaborado pelos Autores.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

De acordo com as análises de uso e ocupação do solo da MHTA e suas mesorregiões, apresentado na Figura 3 e com os dados presentes no gráfico da Figura 4, obtidos com o auxílio das ferramentas de SIG, nota-se que a agropecuária é atividade que mais apresentou crescimento no decorrer dos anos. No ano de 2020 cerca de 40 % da área da MHTA estava ocupada por atividades de agricultura e pecuária. Ao se analisar as mesorregiões, observa-se que a região que apresenta os maiores valores de área destinada a essa atividade é a MHA, com 49%, 38,7% para MHBT e 31% para a MHAT.

Analisando a evolução do processo de alteração das classes de uso e ocupação do solo no decorrer dos anos, observa-se que a MHBT é a que apresentou os maiores valores de alteração, uma diminuição de 27% para as áreas de cobertura florestal e um aumento de 26,9 % para as áreas de agropecuária. As demais classes não apresentaram diferenças significativas.

Outra região a ser considerada de importante análise é a MHA, uma vez que, é a segunda em valores de alteração de classes, ou seja, no decorrer dos 35 anos analisados, a região perdeu cerca de 21% de sua área de florestas, que foram convertidas em área de pastagem e cultivos (aumento de 22%), que ocorrem principalmente na forma de culturas anuais e perenes (Bayer et al., 2020).

A MHAT foi a que apresentou os menores valores de conversão, uma diminuição de cerca de 10,5% para florestas, e um aumento de 11,2% para agropecuária, porém como observado por Santos e Martins (2016) existe uma tendência de que áreas de pastagem cresçam, em relação as áreas de vegetação natural.

A Figura 5, ilustra o processo de conversão de classes na MHTA, que a partir de uma análise macro, apresentou uma redução de 18% na área de florestas, e consequentemente o aumento de 19% para áreas destinadas as atividades antrópicas, nessa análise as demais classes apresentaram diferenças que não chegam a ultrapassam 1%.

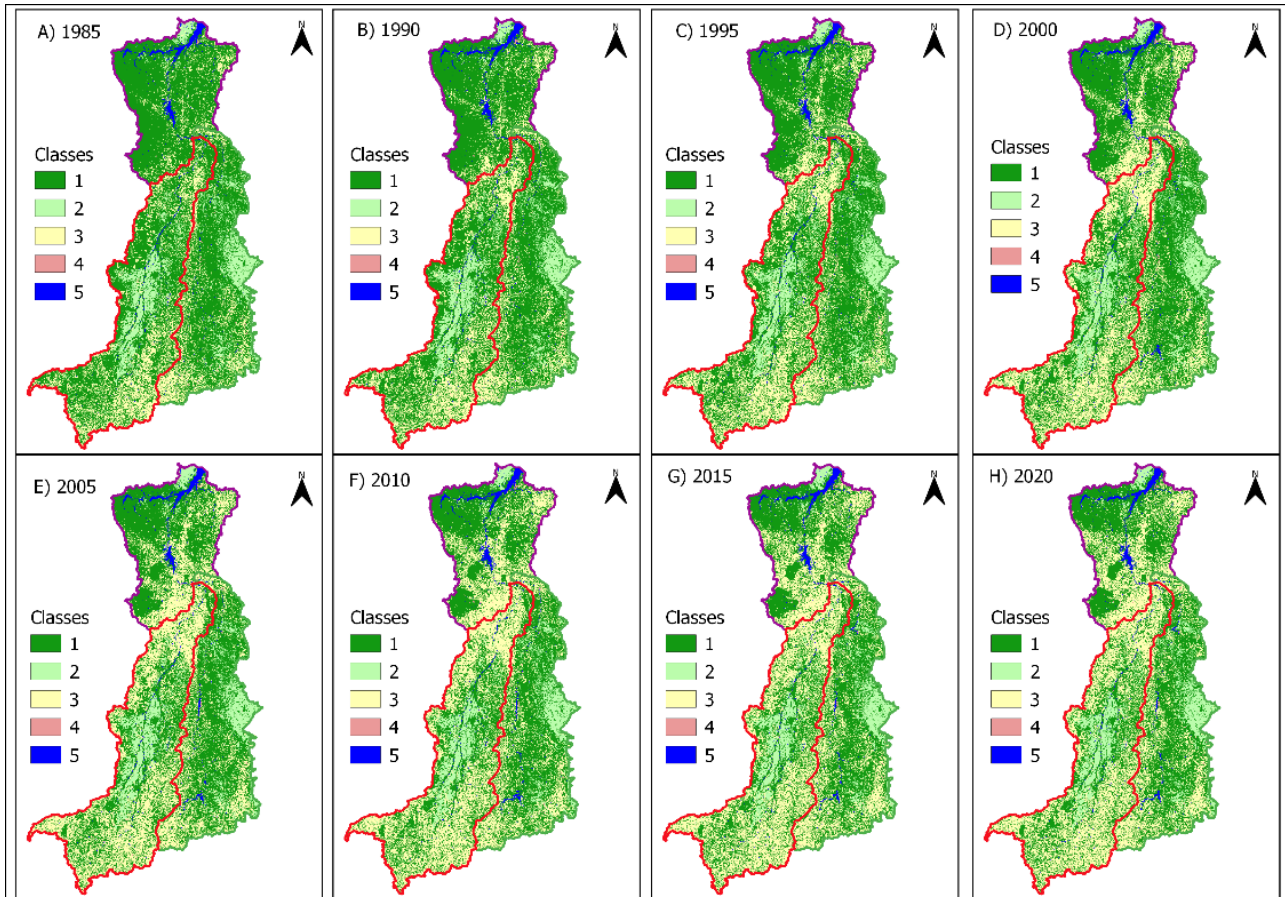


FIGURA 3 - Mapas de distribuição temporal de uso e ocupação do solo nas mesorregiões hidrográficas. 1 – Florestas; 2 – Formação natural não florestal; 3- Agropecuária; 4- Área não vegetada; 5 – Corpos d’água.

FONTE: Elaborado pelos Autores.

A respeito desse cenário, o forte processo de conversão do solo para o desenvolvimento das atividades de agricultura e pecuária na MHA, tem sido acompanhada pelo crescimento econômico dos municípios que a compõe (Morais, 2006), gerando também o aumento de áreas degradadas no bioma cerrado, provocando a perda de biodiversidade, diminuição da fertilidade dos solos, aumento do aporte de gases do efeito estufa, bem como o assoreamento e a eutrofização de rios e lagos da região (Bayer et al. 2020).

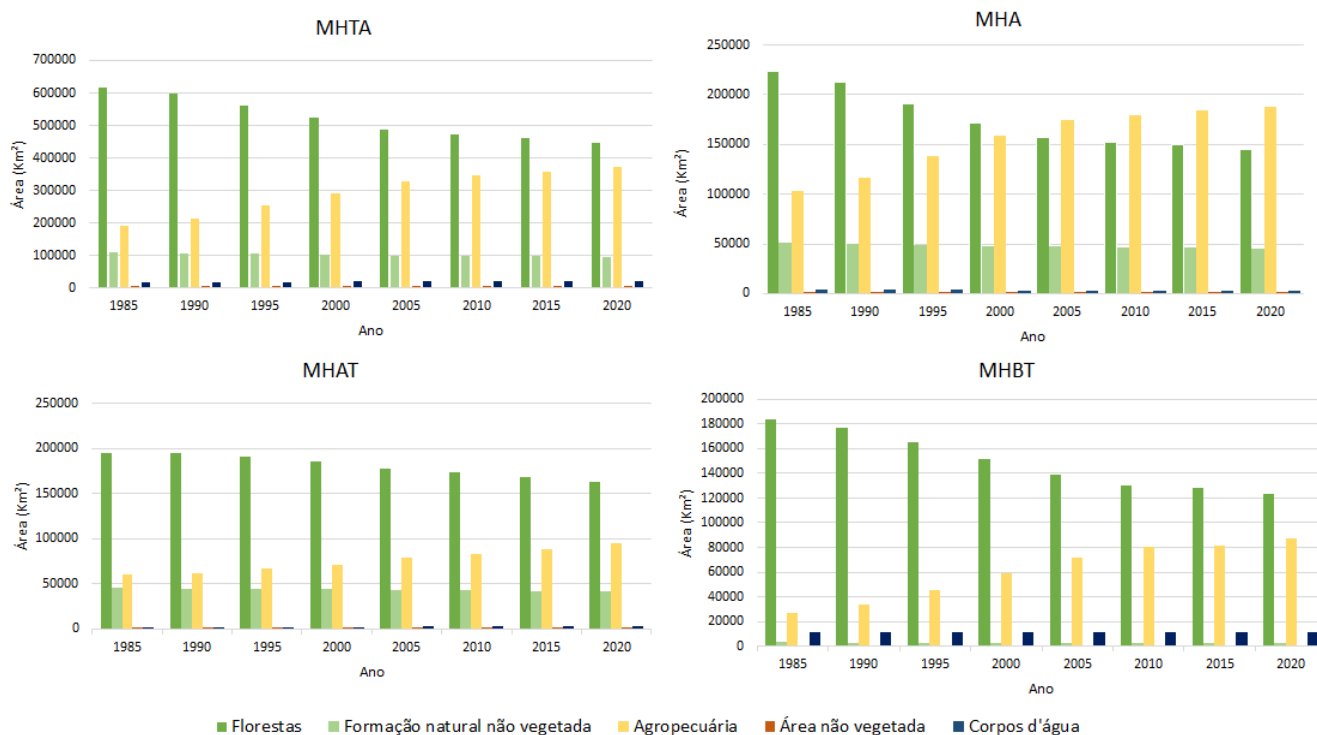


Figura 4 – Dados de distribuição temporal de uso e ocupação do solo nas regiões de estudo.

FONTE: Elaborado pelos Autores.

Além disso, a devastação das paisagens naturais dos biomas que compõe a MHTA compromete a fauna dessa região, que tem sofrido com o aumento da frequência de fogo, intensificado pelo processo de expansão agrícola na região de encontro entre os municípios do Tocantins, Maranhão, Piauí e Bahia, conhecida como MATOPIBA (Rocha e Nascimento, 2021). Destaca-se que apesar do fogo fazer parte do regime natural do cerrado, sua recorrência e maior intensidade tem o tornado indesejado aos sistemas ecológicos, repercutindo em impactos negativos, principalmente na poluição do ar com o aumento de gases do efeito estufa.

Esse ciclo vicioso de degradação, tem afetado também os processos climatológicos, e por essa razão torne-se um fator a ser considerado, pois para que se garanta a estabilidade da produção agrícola e a continuidade do fortalecimento econômico, é necessário que se mantenham os regimes sazonais de precipitação, garantindo volume e disponibilidade hídrica para a irrigação das culturas (Bayer et al., 2020). Esse aspecto deve ser considerado, e vai de encontro a necessidade de processos mais sustentáveis para exploração da terra.

Os resultados de frequência anual de área queimada, estão apresentados na Figura 6 e 7. A análise dos dados indicam que a MHA e a MHAT apresentam comportamento semelhante a MHTA, com picos nos anos de 1985 e 2010. Em relação a proporção média de recorrência de área queimada, observa-se que cerca de 55,5 % de toda a área queimada concentra-se na área da MHA, 33,6 % na MHAT e 10,9% na MHBT.

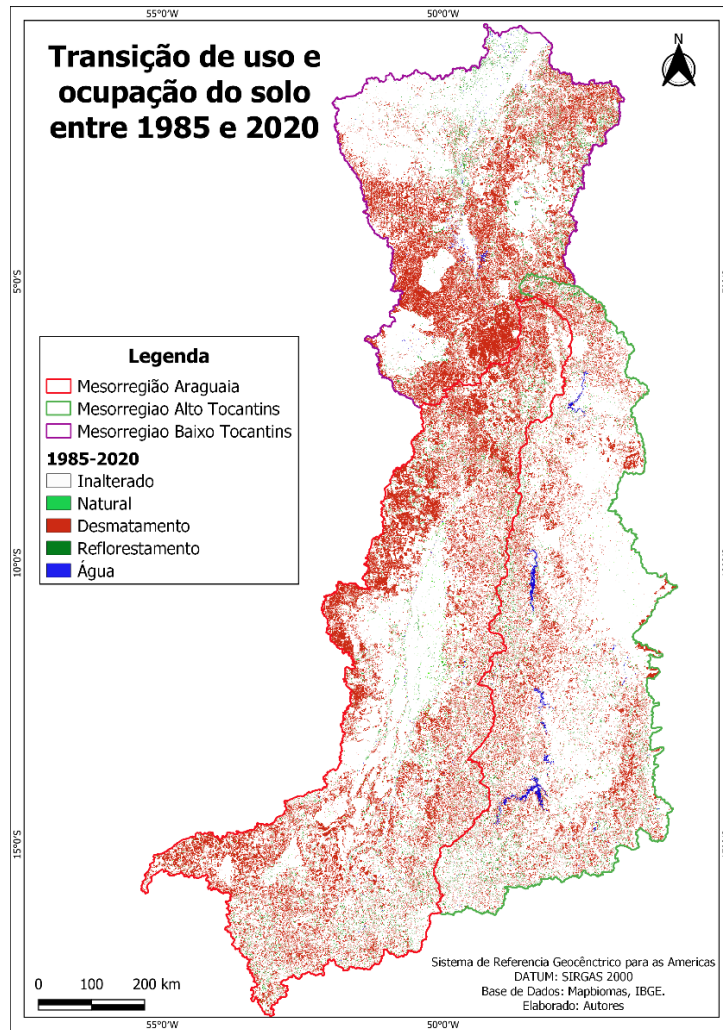


Figura 5 - Mapa de transição de uso e cobertura do solo de 1985 a 2020.

FONTE: Elaborado pelos Autores.

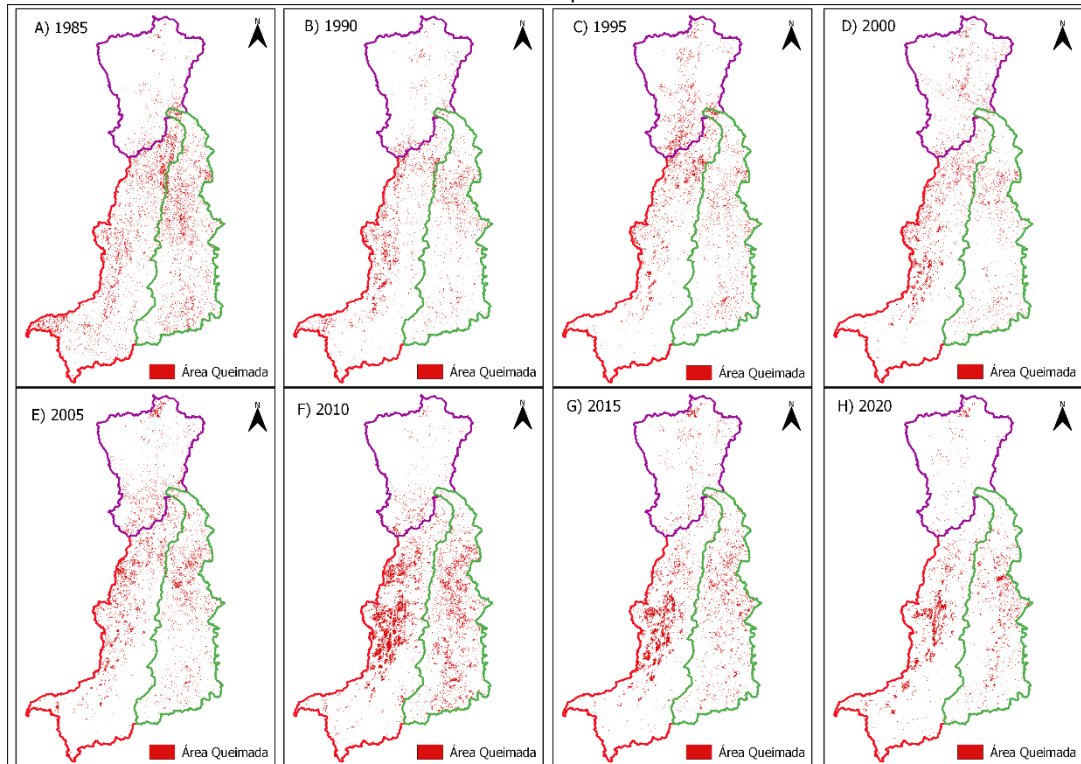


Figura 6- Mapas de distribuição temporal de áreas queimadas nas mesorregiões hidrográficas.

FONTE: Elaborado pelos Autores.

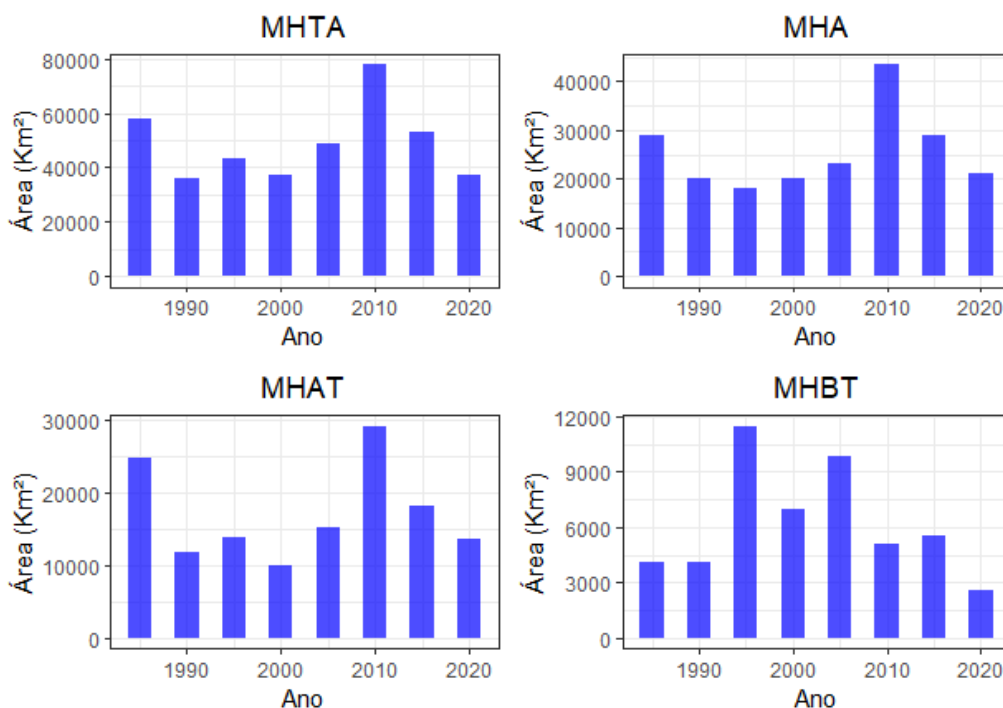


Figura 7 – Valores de frequência de área queimada entre os anos 1985 e 2020 em km².

FONTE: Elaborado pelos Autores.

Na MHBT os picos de área queimada ocorreram nos anos de 1995 com 11.475 km² e 2005 com uma área de 9.827 km². Essa região por estar presente no bioma mata atlântica, apresenta altos valores de pluviosidade, o que limita o uso do fogo na limpeza de áreas e justifica os menores valores proporcionais de área queimada em relação a MHTA (Fanin e Van Der Werf, 2015).

Nesse sentido, os dados apresentados não demonstram tendência significativas de aumento ou diminuição de área anual queimada, no entanto observa-se que uma possível diminuição a partir de 2010 nas MHA e MHTA, possa ser fruto da implantação de programas governamentais como o dos Planos de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Cerrado (PPCerrado), implementado em 2010 (MMA, 2010).

Além disso, percebe-se que a distribuição anual de áreas queimadas tem forte associação com a sazonalidade pluviométrica e com o uso e ocupação do solo, ou seja, regiões com intenso processo de ocupação antrópica, despontam em proporção de área queimada (Rocha e Nascimento, 2021). Ainda segundo Araújo et al. (2011), a MHTA é a região mais afetada pelas consequências negativas advindas da queima indiscriminada utilizada pelas atividades antrópicas, as quais afetam diretamente os processos de evapotranspiração, precipitação, e potencializam os efeitos erosivos.

Em relação as análises dos gráficos de transição da lâmina de água da MHTA, apresentado na Figura 8, observa-se que a MHA é a única que apresenta uma redução significativa da área de lâmina de água a partir do ano de 1995, resultado de um forte processo de uso e ocupação do solo que tem aumentado consideravelmente o aporte de sedimentos que modificam a dinâmica fluvial e consequentemente diminuem a área ocupada pela massa de água (Bayer e Carvalho, 2008; Bayer, 2020; Assis e Bayer, 2020).

Já na MHAT é possível observar o processo inverso, com o aumento da lâmina a partir do ano 2000, justificado pelo acréscimo de 85% no número de usinas hidrelétricas nessa região, estimuladas por programas governamentais, que transformaram o Rio Tocantins em um dos mais importantes rios do setor energético (Maldaner e Akama, 2019). Apesar disso, segundo Penereiro et al. (2015), os dados de comportamento climáticos e hidrológicos da MHTA já apresentam tendências de aumento das temperaturas médias anuais na região, os quais devem afetar os índices de vazão, especialmente ao longo do rio Tocantins e seus afluentes.

Nos dados da MHBT não é possível observar alterações significativas da lâmina de água, pois a região possui contato direto com a massa de água do mar, na zona de descarga do Rio Tocantins e Pará (Baía do Marajó), o que faz com que mesmo nos períodos de menor vazão dos rios, a região de contato se desloque para o continente, mantendo sempre a área da lâmina constante (Barthem, 1985, Monteiro, 2009). Por esse fator, e por possuir uma das maiores usinas hidrelétricas brasileiras, a do Tucuruí, essa mesorregião detinha cerca de 66,5% da área total de água da MHTA, no ano de 2020.

Nesse contexto, as demais regiões apresentam para o mesmo ano de análise, 19,4% (MHA) e 13,9% (MHAT) da área total de lâmina de água, e esses valores quando somados, representam apenas cerca de 2% da área territorial da macrorregião hidrográfica. Apesar disso, Segundo Gomes et al. (2018) a MHTA é segunda maior região em disponibilidade hídrica, possuindo cerca de 8% dos recursos hídricos superficiais do território brasileiro.

Além disso, segundo dados da ANA (2010), a MHTA apresentou anomalias negativas em sua série de precipitação, que ficaram abaixo da média histórica e influenciaram diretamente na redução da vazão média anual. Entre os dados de 2010 e 2020 notou-se uma redução de 14,74% no valor das vazões médias anuais (13.799 m³/s - 2010 e 11.764,5 m³/s – 2020), dados que são disponibilizados anualmente pelos Relatórios de Conjuntura dos Recursos Hídricos (ANA, 2020).

A Figura 9 apresenta o processo de transição da lâmina de água no decorrer dos anos, de forma a ilustrar o processo as regiões onde a lâmina de água sofreu aumento ou redução de sua área, bem como das áreas onde não se observam alterações

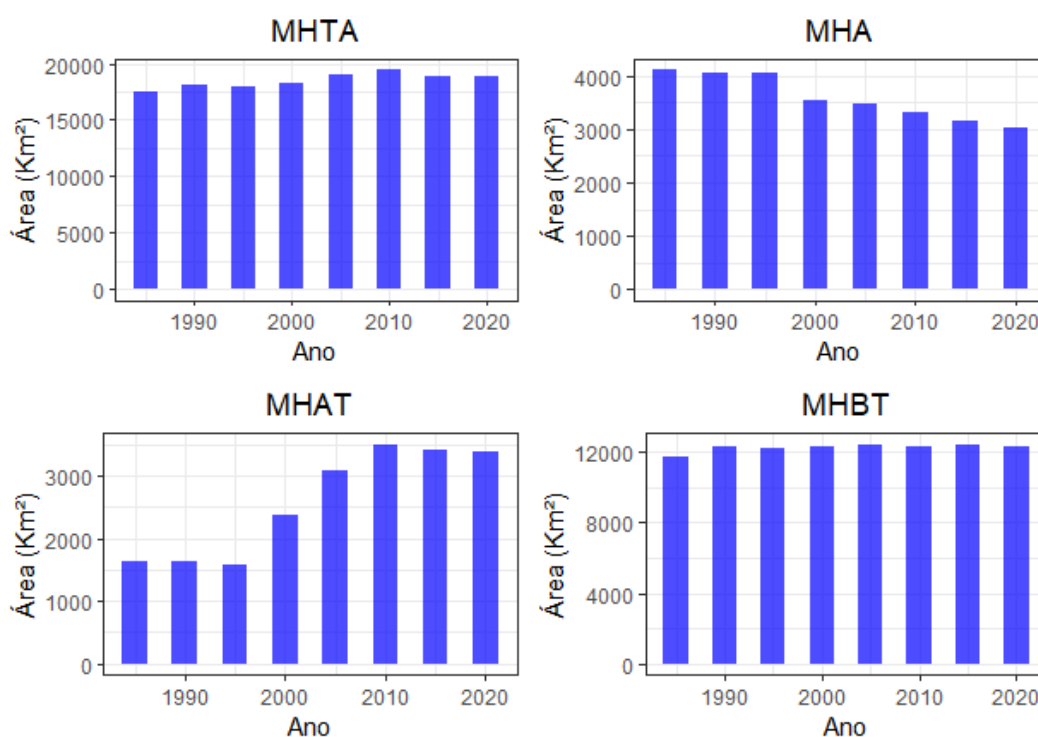


Figura 8- Valores de área da lâmina d'água entre os anos 1985 e 2020 em km².

FONTE: Elaborado pelos Autores.

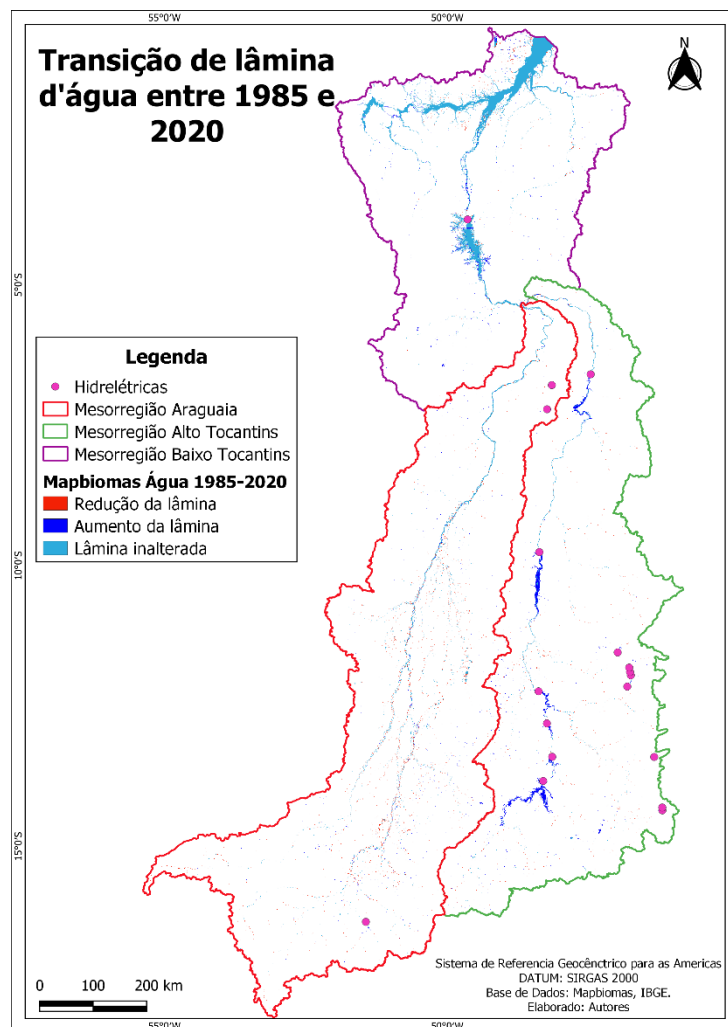


Figura 9: Mapa de transição da lâmina d'água de 1985 a 2020.

FONTE: Elaborado pelos Autores.

7. CONCLUSÕES

A partir dos resultados expostos, é possível concluir que a MHA e MHBT foram as mais afetadas com os impactos ambientais advindos do processo de transformação do uso e ocupação do solo, afetando a flora, fauna, os recursos hídricos, o solo e o ar. Além disso, nota-se que a região de encontro entre as bacias (MHA e MHBT) foi a que mais perdeu área de cobertura florestal, indicando um aumento nas áreas susceptíveis a queimadas, maior exposição do solo a processos erosivos, conseqüentemente um maior aporte de sedimentos aos rios, que se tornam mais largos e rasos, perdendo vazão e volume de água.

A perda de área de lâmina de água já é possível ser notada na MHA, o que levanta uma alerta acerca da forma como estão sendo gerenciado os recursos hídricos da região. Nesse contexto, o conhecimento das variações de volumes, em rios, lagos e reservatórios torna-se essencial para o planejamento de estratégico de liberação dos usos consultivos e não consultivos pelos órgãos ambientais (Duan e Bastiaanssen, 2013).

Ademais, nota-se uma grande gama de estudos relacionados ao aumento do aporte de sedimentos nessa bacia (Bayer e Carvalho, 2008; Assis e Bayer, 2020; Bayer et al., 2020) o que pode contribuir com os resultados apresentados nesse estudo, e evidenciam que quanto maior o grau de degradação ambiental nessas bacias, maior será o aporte de sedimentos aos sistemas fluviais, podendo assim, provocar alterações significativas nos processos socioeconômicos das regiões.

Observa-se também que devido ao aumento do número de Usinas Hidrelétricas na MHAT e o contato com o mar na MHBT, não é possível concluir que as regiões estejam sofrendo com a diminuição de

sua lâmina de água, no entanto é possível concluir que isso tende a mudar no decorrer dos próximos anos, principalmente devido a alterações climáticas, cada vez mais intensas e que vem reduzindo a vazão de diversos reservatórios da região sul do país.

Nesse sentido, observa-se que apesar dos dados de fogo não terem apresentados tendências significativas, é possível concluir que as queimadas quando realizadas de forma indiscriminadas e associadas ao desmatamento, provocam consequências ao meio ambiente e a sociedade, aumentando o volume de gases do efeito estufa lançados na atmosfera e potencializando efeitos adversos ao meio ambiente. Portanto, é importante que se fortaleça os programas governamentais de monitoramento de áreas queimadas, promovendo uma maior fiscalização e monitoramento.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALENCAR, A. A., ARRUDA, V. L., SILVA, W. V. D., CONCIANI, D. E., COSTA, D. P., CRUSCO, N., & VÉLEZ-MARTIN, E. **Long-Term Landsat-Based Monthly Burned Area Dataset for the Brazilian Biomes Using Deep Learning**. *Remote Sensing*, v. 14, n. 11, p. 2510, 2022.
- ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2020**: informe anual / Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. -- Brasília: Agência Nacional das Águas, 2020.
- ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**: informe 2010 / Agência Nacional de Águas (ANA). -- Brasília: ANA, 2010.
- ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos: regiões hidrográficas brasileiras – Edição Especial**. Brasília: Agência Nacional das Águas, 2015, 164 p.
- ANA. **Plano estratégico de recursos hídricos da bacia hidrográfica dos rios Tocantins e Araguaia: relatório síntese**. Brasília: ANA; SPR, 2009. 256 p
- ARAÚJO, E. A. D., KER, J. C., MENDONÇA, E. D. S., SILVA, I. R. D., & OLIVEIRA, E. K. **Impacto da conversão floresta-pastagem nos estoques e na dinâmica do carbono e substâncias húmicas do solo no bioma Amazônico**. *Acta amazônica*, v. 41, p. 103-114, 2011.
- ASSIS, Pâmela Camila; BAYER, Maximiliano. **Análise multitemporal do sistema fluvial do rio Araguaia, Aruanã–Goiás, Brasil**. *Elisée-Revista de Geografia da UEG, Cidade de Goiás*, v. 9, n. 02, p. 01-18, 2020.
- BARTHEM, R. B. **Ocorrência, distribuição e biologia dos peixes da Baía de Marajó, Estuário Amazônico**. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Série Zoologia*, Belém, v. 2, n. 1, p. 49-69, dez. 1985.
- BAYER, M., ASSIS, P. C., SUIZU, T. M., & GOMES, M. C. **Mudança no uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Araguaia e seus reflexos nos recursos hídricos, o trecho médio do rio Araguaia em Goiás**. *Confins. Revue franco-brésilienne de géographie/Revista franco-brasileira de geografia*, n. 48, 2020.
- BAYER, M.; CARVALHO, T. M. **Processos morfológicos e sedimentos no canal do rio Araguaia**. *Revista de estudos ambientais*, v. 10, n. 2, p. 24-31, 2008.
- BHANGALE, U.; MORE, S.; SHAIKH, T.; PATIL, S.; MORE, N. **Analysis of surface water resources using Sentinel-2 imagery**. *Procedia Computer Science*, v. 171, p. 2645- 2654, 2020.
- BRASIL. **Resolução n. 32, de 15 de outubro de 2003. Institui a Divisão Hidrográfica Nacional**. *Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, ano 140, n. 245, p. 142-143, 17 dez. 2003*. Disponível em: < <https://www.ceivap.org.br/legislacao/Resolucoes-CNRH/Resolucao-CNRH%2032.pdf> > Acesso em: 08 out. 2022.
- BRITO, B. N. D., & SILVA, E. B. D. **Análise multitemporal de uso e cobertura da terra na Reserva da Biosfera do Cerrado**. *Ateliê Geográfico*, v.13,p 73-91, Goiânia, 2019.
- CARVALHO, E. V., BATISTA, A. C., COELHO, M. C. B., NEVES, C. O. M., DOS SANTOS, G. R., & GIONGO, M. **Caracterização de áreas queimadas no estado do Tocantins no ano de 2014**. *Floresta*, v 47 n 3, 2017.
- CONGEDO, L. **Land cover classification of cropland: a tutorial using the semi-automatic classification plugin for QGIS**. *Rome [ITL]: Sapienza University*, p. 1-25, 2014.

- CONGEDO, L. **Semi-automatic classification plugin documentation**. Release, v. 4, n. 0.1, p. 29, 2016.
- DUAN, Z.; BASTIAANSEN, W.G.M. **Estimating water volume variations in lakes and reservoirs from four operational satellite altimetry databases and satellite imagery data**. *Remote Sensing of Environment*, v. 134, p. 403- 416, 2013.
- FANG-FANG, Z.; BING, Z.; JUN-SHENG, Li.; QIAN, S.; YUANFENG, W.; YANG, S. **Comparative analysis of automatic water identification method based on multispectral remote sensing**. *Procedia Environmental Sciences*, v. 11, p. 1482-1487, 2011.
- FANIN, T.; VAN DER WERF, G. R. **Relationships between burned area, forest cover loss, and land cover change in the Brazilian Amazon based on satellite data**. *Biogeosciences*, v. 12, n. 20, p. 6033-6043, 2015.
- FERREIRA, E. A. B., TOKARSKI, D. J. **Bacia hidrográfica do Alto Tocantins: retrato e reflexões**. ECODATA. WWF, p. 102, 2007.
- FERREIRA, M. E., FERREIRA, L. G., LATRUBESSE, E. M., & MIZIARA, F. **High resolution remote sensing based quantification of the remnant vegetation cover in the Araguaia River basin, Central Brazil**. In IGARSS 2008-2008 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (Vol. 4, pp. IV-739). 2008. IEEE.
- FLORENZANO, T. G. **Iniciação em sensoriamento remoto**. 3. Ed. ampl. e atual. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.
- GOMES, D. J. C., SOUSA, É. V. S., FERREIRA, N. S., DA COSTA LOBATO, R. R., RIBEIRO, B. F., & DE MORAIS DIAS, G. F. **Vulnerabilidade à erosão hídrica do solo, bacia hidrográfica do rio Araguaia**. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 14, n. 2, p. 816-833, 2021.
- GOMES, E. P., PESSOA, F. C. L., SANTANA, L. R., & DA SILVA CRUZ, J. **Avaliação da Degradação Hídrica na Bacia Hidrográfica Tocantins Araguaia**. *Anuário do Instituto de Geociências*, v. 41, n. 3, p. 503-513, 2018.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística **Divisão Hidrográfica Nacional, escala 1:250 000 - DHN250: versão 2021**. Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: < https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/fb87343a-cc52-4a36-b6c5-1fe05f4fe98c/attachments/Documentacao_Tecnica_DHN250.pdf>. Acesso em: set. 2022.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2019. **Biomass e sistema costeiro-marinho do Brasil: compatível com a escala 1:250.000. Rio de Janeiro, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais**. 168 p. (Relatórios metodológicos, v. 45). Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/apps/biomass/#/home>> . Acesso em: out.2022.
- LAURENTIS, G. L. **Modelo de transferência de riscos hidrológicos como estratégia de adaptação às mudanças globais segundo cenários de vulnerabilidade dos recursos hídricos**. 2012. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- LI, Z.; SUN, W.; CHEN, H.; XUE, B.; YU, J.; TIAN, Z. **Interannual and seasonal variations of hydrological connectivity in a large shallow wetland of north China estimated from Landsat 8 images**. *Remote Sensing*, v. 13, p. 1214, 2021.
- MALDANER, K. S. L.; AKAMA, A. **Os atingidos por barragens do rio Tocantins: perdas simbólicas e materiais dos afetados pela UHE Peixe Angical**. *Desarrollo local sostenible*, n. junho, 2019.
- MASCARENHAS, L. M. A.; FERREIRA, M. E.; FERREIRA, L. G. **Sensoriamento remoto como instrumento de controle e proteção ambiental: análise da cobertura vegetal remanescente na bacia do rio Araguaia**. *Sociedade & natureza*, v. 21, p. 5-18, 2009.
- MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **O Bioma Amazônico**. Disponível em:<<https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/ecossistemas-1/biomass/amazonia>> Acesso em: out.2022.
- MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Plano de Ação para prevenção e controle do desmatamento e das queimadas no Cerrado: 1ª fase (2010-2011)**. MMA, Brasília, 2010.
- MONTEIRO, Sury de Moura. **Dinâmica dos parâmetros abióticos na zona de mistura do estuário do rio Paracauari, ilha do Marajó-Pa**. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2009, 152 p.
- MORAIS, R. P. **A Planície Aluvial do médio Rio Araguaia: processos geomorfológicos e suas implicações ambientais**. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) – Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia. 2006. 178 p.
- MOREIRA, M. A. **Fundamentos de sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. São Jose dos Campos. Instituto Nacional de Pesquisas (INPE). 208p, 2001.

OLIVEIRA, M. T., CASSOL, H. L. G., GANEM, K. A., DUTRA, A. C., PRIETO, J. D., ARAI, E., & SHIMABUKURO, Y. E. **Mapeamento da Vegetação do Cerrado—Uma Revisão das Iniciativas de Sensoriamento Remoto**. Revista Brasileira de Cartografia, 72, 1250–1274, 2020.

OLIVEIRA, M.F. **Rio Tocantins: lugar de memórias e identidades**. Revista Mosaico-Revista de História, v. 1, n. 2, p. 163-168, 2008.

PENEREIRO, J. C., MARTINS, L., & BERETTA, V. **Identificação de tendências sazonais dos regimes climático e hidrológico na bacia hidrográfica dos rios Tocantins e Araguaia, Brasil**. Revista Geográfica Acadêmica, v. 9, p. 52-72, 2015.

PENEREIRO, J. C.; MARTINS, L. S.; BERETTA, V. Z. **Identificação de variabilidades e tendências interanuais em medidas hidro-climáticas na região hidrográfica do Tocantins-Araguaia, Brasil**. Revista Brasileira de Climatologia, v. 18, 2016.

PROJETO MAPBIOMAS – **Mapeamento da superfície de água (Coleção 1)**, acessado em: 05/07/2022 através do link: <https://code.earthengine.google.com/>

PROJETO MAPBIOMAS – **Mapeamento das áreas queimadas no Brasil (Coleção 1)**, acessado em: 05/07/2022 através do link: <https://code.earthengine.google.com/>

PROJETO MAPBIOMAS – **Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil (Coleção 6)**, acessado em:05/07/2022 através do link: <https://code.earthengine.google.com/>

RIBEIRO, F. O. **O uso do MapBiomias na análise de perda de vegetação natural e apoio a Legislação Florestal atual em Bragança (Pará)**. Revista Brasileira de Meio Ambiente, v. 10, n. 3, 2022.

ROCHA, M. I. S.; NASCIMENTO, D. T. F. **Distribuição espaço-temporal das queimadas no bioma Cerrado (1999/2018) e sua ocorrência conforme os diferentes tipos de cobertura e uso do solo**. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 14, n. 03, p. 1220-1235, 2021.

ROCHA, M.I. S.; NASCIMENTO, D. T. F. **Distribuição espaço-temporal das queimadas no bioma Cerrado (1999/2018) e sua ocorrência conforme os diferentes tipos de cobertura e uso do solo**. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 14, n. 03, p. 1220-1235, 2021.

ROSA M.; SHIMBO, J. Z. & AZEVEDO, T. **Que é a iniciativa mapbiomas, O. MapBiomias-Mapeando as transformações do território brasileiro nas últimas três décadas**. Restauração Ecológica: Desafio do processo frente à crise ambiental Coordenação geral: Luiz Mauro Barbosa, 2019, p. 95.

SANTOS MASCARENHAS, A. L. S.; VIDAL, M. R. **Identificação de vetores de desmatamento em região hidrográfica por meio de imagens Sentinel-2B** (Paper 526). Papers do NAEA, v. 30, n. 1, 2021.

SANTOS, L. P.; MARTINS, P. T. A. **Mudanças temporais no uso e cobertura do solo na bacia do reservatório de Peixe Angical, Tocantins**. Ciência e Natura, v. 38, n. 1, p. 137-145, 2016.

SOUSA, A. A. D., LIRA, M. A. T., DE OLIVEIRA, U. C., & MENDES JÚNIOR, C. A. **Análise Multitemporal do Espelho d'água do Açude Jaburu I por Meio de Ferramentas de Sensoriamento Remoto nos Anos de 2013 a 2020**. Revista Brasileira de Meteorologia, v 37, p. 233-241, 2022.

SOUZA JR, C. M., KIRCHHOFF, F. T., OLIVEIRA, B. C., RIBEIRO, J. G., & SALES, M. H. **Long-term annual surface water changes in the Brazilian Amazon Biome: Potential links with deforestation, infrastructure development and climate change**. Water, v. 11, n. 3, p. 566, 2019.

SOUZA JÚNIOR, T. G., MEIRELES, A. C. M., OLIVEIRA, C. W., DE PAULA FILHO, F. J., MENEZES, J. M. C., & NETO, B. S. **Inferência sobre a perda histórica da qualidade da água de um açude urbano utilizando o sensoriamento remoto**. Revista Brasileira de Geografia Física, v 14 n. 5, p. 3138-3355, 2021.