

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL  
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS NATURAIS

CATARINE TAMBURINI

**ANÁLISE MULTITEMPORAL DA VEGETAÇÃO DE MATA CILIAR DOS RIOS  
AQUIDAUANA E MIRANDA**



MARÇO / 2025  
CAMPO GRANDE - MS

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL  
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS NATURAIS

CATARINE TAMBURINI

**ANÁLISE MULTITEMPORAL DA VEGETAÇÃO DE MATA CILIAR DOS RIOS  
AQUIDAUANA E MIRANDA**

Dissertação submetida ao Programa de Pós Graduação em Recursos Naturais da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Recursos Naturais junto à Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia (FAENG).

Orientadora: Camila Aoki

Coorientador: Alisson André Ribeiro

MARÇO / 2025  
CAMPO GRANDE - MS

## DEDICATÓRIA

À minha família,  
Romeo, minha fortaleza  
Victor Hugo, pelo apoio e incentivo incondicional

Dedico...

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a toda família, Victor Hugo, Romeo, Vera e Valéria pelo suprimento emocional proporcionado durante a fase de disciplinas e na elaboração do estudo. O Apoio de cada um foi fundamental para a conclusão deste trabalho.

Aos bons amigos que fiz neste percurso da vida, Laura e Jéssica obrigada pelas conversas, risadas e auxílio mútuo em todos os momentos do Mestrado.

Agradeço imensamente a minha orientadora prof. Dr<sup>a</sup>. Camila Aoki por confiar no meu trabalho, e ao prof. Dr. Alisson André Ribeiro pelos auxílios nas análises.

Aos professores do Programa de Pós Graduação em Recursos Naturais por todo o conhecimento passado, em especial ao prof. Dr. Toni Paranhos pelos ensinamentos em campo, em sala e fora dela, regados a muito café.

À CAPES pelo auxílio financeiro através da concessão da bolsa de estudos.

## RESUMO

As matas ciliares são florestas nativas que se desenvolvem as margens dos rios. Possuem diversas funções ambientais, dentre elas, a preservação dos recursos hídricos, da paisagem, da biodiversidade por facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteção do solo contra a erosão e também contribuem para o equilíbrio climático. Agem diretamente na retenção de sedimentos evitando assim, o assoreamento nas margens dos rios, resultando na estabilização dos terrenos, e ainda servem de abrigo e fonte de alimentação para a fauna terrestre e aquática. Por meio de dois capítulos objetivou-se inicialmente com esta pesquisa realizar uma análise bibliométrica a respeito do índice NDVI voltado para análises de vegetação em Mata Ciliar. Através da análise do conteúdo de 23 artigos pode-se atribuir alta qualidade na elaboração dos artigos, bem como de seus conteúdos e resultados, devido ao maior rigor dos periódicos com melhores classificações. A temperatura é a variável que mais influencia os valores de NDVI, seguido da variável precipitação e período seco mostrou-se importante para a manutenção dos níveis de NDVI. Ao utilizar a análise de semivariograma com a adição de recursos de textura aumentou-se a precisão da classificação da vegetação. No segundo capítulo foi proposto analisar a cobertura do solo na Mata Ciliar de toda a extensão do Rio Aquidauana e parte do Rio Miranda em escala temporal (2003, 2013 e 2023). Através de subdivisões quanto aos diferentes cursos do Rio (alto, médio e baixo). Foram identificadas as principais alterações ocorridas ao longo deste período e o *status* de qualidade e conservação da vegetação da Mata Ciliar, que foi obtido pela análise do índice de vegetação (NDVI). Há diferenças quanto à cobertura do solo entre as áreas dos cursos do Rio Aquidauana e Miranda, porém o fato mais marcante foi a grande redução de áreas florestais no baixo curso, correspondendo à região do Município de Miranda. Contudo, nesta região ainda ocorrem as maiores áreas compostas por Florestas Nativas, assim é imprescindível a ratificação de subsídios para uma preservação efetiva.

**PALAVRAS CHAVE:** NDVI, FLORESTA RIPÁRIA, SENSORIAMENTO REMOTO

## ABSTRACT

Riparian forests are native forests that develop along riverbanks. They have many environmental functions, including the preservation of water resources, landscape, and biodiversity by facilitating the gene flow of fauna and flora, soil protection against erosion, and contributing to climate balance. They act directly in sediment retention, thus preventing siltation along riverbanks, resulting in the stabilization of the terrain. They also serve as shelter and food sources for terrestrial and aquatic fauna. Through two chapters, this research initially aimed to conduct a bibliometric analysis regarding the NDVI index focused on vegetation analyses in Riparian Forests. By analyzing the content of 23 articles, it was observed high quality in the elaboration of the articles, as well as their contents and results, due to the greater rigor of the journals with better classifications. Temperature is the variable that most influences NDVI values, followed by precipitation, and the dry period proved important for maintaining NDVI levels. Using semivariogram analysis with the addition of texture resources increases the accuracy of vegetation classification. In the second chapter, it was proposed to analyze land cover in the Riparian Forest of the entire stretch of the Aquidauana and Miranda River on a temporal scale (2003, 2013, 2023). Through subdivisions regarding the different courses of the river (upper, middle, lower), the main changes that occurred over this period and the status of the quality and conservation of the Riparian Forest vegetation of the Aquidauana and Miranda River – MS were identified, which was obtained by analyzing the vegetation index (NDVI). There are differences in land cover among the areas along the rivers course, but the most notable fact was the significant reduction of forest areas in the lower course, corresponding to the Miranda Municipality region. However, in this region, the largest areas composed of Native Forests still occur, making it essential to ratify subsidies for effective preservation.

**KEYWORDS:** NDVI; Riparian Forest, Remote Sensing.

## LISTA DE FIGURAS E TABELAS

### FIGURAS:

Figura 1 - Fluxograma dos critérios e etapas de seleção (Identificação, triagem e elegibilidade) dos artigos em cada base de dados e via Snowball. ....	21
Figura 2 - País dos Autores.....	22
Figura 3 - Artigos publicados por ano após a avaliação de conteúdo.....	25
Figura 4 - Artigos publicados em relação ao Qualis dos periódicos.....	26
Figura 5 - Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Aquidauana.....	38
Figura 6 - Chave de Interpretação da imagem Landsat 5 na composição colorida 4R5G3B .....	42
Figura 7 - Áreas de recorte da extensão do Rio Aquidauana e do Rio Miranda. ....	43
Figura 8 - Alto curso do Rio Aquidauana (2003).....	45
Figura 9 - Médio curso do Rio Aquidauana (2003).....	46
Figura 10 - Baixo curso do Rio Miranda (2003). ....	47
Figura 11 - Alto curso do Rio Aquidauana (2013). ....	48
Figura 12 - Médio curso do Rio Aquidauana (2013). ....	50
Figura 13 - Baixo curso do Rio Miranda (2013). ....	51
Figura 14 - Alto curso do Rio Aquidauana (2023). ....	53
Figura 15 - Médio curso do Rio Aquidauana (2023). ....	54
Figura 16 - Baixo curso do Rio Miranda (2023). ....	55

### TABELAS:

Tabela 1 - Notas de corte atribuídas aos artigos. ....	19
Tabela 2 - Relação dos artigos aceitos para a revisão sistemática após a avaliação dos conteúdos. ....	23
Tabela 3 - Valores de NDVI das imagens Landsat em cada ano analisado.....	44
Tabela 4 - Valores de área e porcentagem para cada classe de cobertura nos três cursos analisados (2003).....	45
Tabela 5 - Valores de área e porcentagem, para cada classe de cobertura do solo nos três cursos analisados (2013). ....	48
Tabela 6 - Valores de área e porcentagem, para cada classe de cobertura nos três cursos analisados (2023).....	52
Tabela 7 - Valores de área e porcentagens totais do buffer da Mata Ciliar do Rio Aquidauana para cada classe de cobertura nos três períodos analisados. ....	56

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL.....	9
1.1. OBJETIVO GERAL.....	13
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
REVISÃO SISTEMÁTICA: O ÍNDICE NDVI NO ESTUDO DE MATAS CILIARES .....	14
2.1. INTRODUÇÃO.....	16
2.2. METODOLOGIA .....	18
2.2.1. Protocolo de Busca.....	18
2.2.2. Critérios de Exclusão e Inclusão .....	18
2.2.3. Avaliação da Qualidade dos Artigos e Extração de Dados.....	20
2.3. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	21
2.3.1. Análise dos Artigos .....	21
2.3.2. País dos Autores.....	21
2.3.3. Distribuição Anual de Artigos Publicados.....	24
2.3.4. Qualis dos Periódicos .....	25
2.3.5. Parâmetros de Avaliação da Qualidade da Vegetação de Matas Ciliares .....	26
2.3.6. Identificação dos Níveis de Degradação .....	27
2.3.7. Influência da Vegetação nos Processos de Inundação e Enchentes .....	29
2.3.8. Oportunidades de Pesquisa.....	29
2.4. CONCLUSÕES.....	31
2.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	32
ANÁLISE MULTITEMPORAL DA VEGETAÇÃO DE MATA CILIAR DOS RIOS AQUIDAUANA E MIRANDA.....	34
3.1. INTRODUÇÃO.....	36
3.2. METODOLOGIA .....	38
3.2.1. Área de Estudo .....	38
3.2.2. Aquisição e Processamento das Imagens .....	39
3.2.3. Análise dos Dados .....	41
3.3. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	44
3.3.1. Análise dos Dados da Cobertura Vegetal no Ano de 2003.....	44
3.3.2. Análise dos Dados da Cobertura Vegetal no Ano de 2013.....	47
3.3.3. Análise dos Dados da Cobertura Vegetal no Ano de 2023.....	52
3.3.4. Análise Total do Buffer da Mata Ciliar do Rio Aquidauana .....	56
3.4. CONCLUSÕES.....	57
3.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	58

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil possui uma das maiores biodiversidades do mundo, entretanto, existem grandes desafios em relação à manutenção de seus diferentes ecossistemas (AYACH et al., 2014). Segundo o levantamento de Silva et al. (2010), o Estado de Mato Grosso do Sul abrange os biomas do Cerrado, Pantanal e Mata Atlântica, na ordem de 61%, 25% e 14% da área total, respectivamente. Sendo assim, os órgãos do governo possuem responsabilidade de estabelecer e seguir diretrizes para a gestão desse território que compreende diversas fitofisionomias e formações florestais. Partindo do contexto da importância da biodiversidade, torna-se imprescindível o conhecimento das fragilidades e dos potenciais de cada bioma a fim de subsidiar políticas públicas voltadas à conservação e ao uso sustentável do meio ambiente.

No que tange as áreas protegidas, que envolvem reservas legais, áreas de preservação permanente e unidades de conservação, a preservação da biodiversidade está ligada à capacidade de manter os processos ecológicos (BELLON et al., 2020). Os benefícios referentes aos serviços ecossistêmicos proporcionados por estes habitats ultrapassam as fronteiras da delimitação destas áreas. A Lei Nº 12.651/2012 que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa, considera que as florestas que ocorrem às margens dos rios, também chamadas de matas ciliares ou florestas ripárias estão compreendidas na categoria de APP (Área de Preservação Permanente). Podem estar cobertas ou não por vegetação nativa, e suas funções ambientais são a preservação dos recursos hídricos, da paisagem, da estabilidade geológica e da biodiversidade, favorecimento do fluxo gênico de fauna e flora, proteção do solo e asseguramento do bem-estar das populações humanas (BRASIL, 2012).

Com o avanço do desmatamento nas áreas do Cerrado e Pantanal, as matas ciliares cumprem uma função importante, pois servem de corredor ecológico de forma a interligar os fragmentos florestais, deste modo, promovem a manutenção de diversos habitats garantindo o fluxo gênico para as espécies da fauna e da flora (AZEVEDO; COSTA, 2014).

Os impactos causados nessas áreas estão relacionados principalmente com a urbanização, acúmulo de resíduos sólidos, desmatamento, queimadas, escassez de água, erosão e assoreamento, e a poluição das águas superficiais e subterrâneas (BEZERRA; CARVALHO, 2022).

Os processos de fragmentação florestal ou desmatamento são uma consequência do uso indiscriminado dos recursos naturais, baseados em uma cultura europeia que perdura nos países colonizados de que estes recursos estão à disposição para serem extraídos e substituídos por áreas agrícolas, sem uma perspectiva de proteção dos ambientes naturais ao longo prazo (ODALIA-RÍMOLI et al., 2000). O avanço descontrolado do desmatamento coloca em risco a sobrevivência de espécies e a estabilidade dos recursos hídricos (PARANHOS FILHO et al., 2008). Deste modo, torna-se imprescindível a implantação e o gerenciamento de áreas protegidas que permitam a preservação e conservação dos recursos naturais, tendo em vista a adequação do desenvolvimento socioeconômico com a preservação da qualidade do meio ambiente e equilíbrio ecológico (AYACH et al., 2014).

Com a constante evolução da sociedade, a pressão sobre os recursos naturais aumenta, portanto, torna-se necessária a aplicação de conhecimentos tecnológicos que apresentem resultados rápidos e satisfatórios e que facilitem o trabalho de análise dos recursos naturais (CAMPOS et al., 2015). Neste sentido, as geotecnologias se mostram importantes ferramentas, apresentando instrumentos e técnicas eficientes para os estudos ambientais, ainda mais quando são integrados dados obtidos em campo (BEZERRA; CARVALHO, 2022).

O sensoriamento remoto fornece informações convenientes e precisas para gerenciar os ecossistemas de forma sustentável e eficaz (NEINAVAZ et al., 2021), sendo caracterizado pelo estudo do comportamento espacial e/ou fisiológico da vegetação e sua aplicabilidade se encontra em diversas áreas do conhecimento (Agronomia, Biologia, Silvicultura, Geociências, entre outras) (ABREU; COUTINHO, 2014). Os autores também destacam que o desenvolvimento e aprimoramento das técnicas de sensoriamento remoto ocorreram devido ao interesse do homem em adquirir informações e realizar monitoramentos sobre alvos da superfície terrestre à distância, e com isto se tornou uma ferramenta menos onerosa nos estudos ambientais.

Dentre as diversas aplicações do sensoriamento remoto têm-se os índices de vegetação, sendo que o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) é amplamente utilizado devido a sua simplicidade de execução e pela utilização de apenas duas bandas espectrais, a do vermelho e do infravermelho próximo (ROUSE JR et al., 1974).

Este índice promove uma compreensão acerca da distribuição, estrutura, composição, diversidade, e produtividade da vegetação. Os autores destacam que muitos outros índices são geralmente desenvolvidos, através de modificações do NDVI,

para reduzir sinais indesejados, ou seja, aqueles não refletidos pela vegetação (FAN; LIU, 2018).

Segundo Johansen et al. (2007) no mapeamento e monitoramento de matas ciliares e florestas adjacentes deve-se ter o cuidado de utilizar resoluções espaciais mais refinadas, devido as características inerentes das árvores bem como a estrutura das florestas. Desta forma podem se tornar um indicador ambiental da condição da mata ciliar. Também é possível discriminar estágios estruturais da vegetação, aplicando texturas e escalas apropriadas, pois a variabilidade espectral de uma árvore individual (pixels que representam a copa iluminada pelo sol, copa sombreada e a influência de fatores como galhos, cones e morfologia da árvore) restringem o desenvolvimento de assinaturas espectrais únicas para classificação de árvores.

As análises do *status* da conservação de florestas nativas requerem o monitoramento de atributos estruturais do dossel (BERVEGLIERI et al., 2021). O índice NDVI é útil no monitoramento e na análise da evolução temporal, tanto sazonal como variações interanuais de atributos referentes ao uso e cobertura do solo de determinada região (NETA et al., 2018), pois através de um conjunto de ferramentas de geoprocessamento e algoritmos personalizados, torna-se possível a comparação da cobertura vegetal, permitindo ainda estimar os percentuais de áreas desmatadas ou degradadas.

As Geotecnologias são aliadas aos estudos ambientais e por meio dos SIG's (sistemas de informações geográficas), é possível monitorar a qualidade da vegetação através da aplicação de índices espectrais, elaborados para detectar as mudanças ocorridas ao longo do tempo. Mapas de uso e cobertura do solo são eficazes para perceber estas mudanças e, desta forma, servem como subsídios às novas políticas de preservação e conservação dos recursos naturais. As análises dos padrões espaciais da vegetação das matas ciliares fornecem importantes informações, contribuindo para a conservação dos recursos hídricos e promovendo a qualidade das mais diversas formas de vida.

O monitoramento dos recursos naturais que compõe determinado ecossistema é de suma importância, pois envolvem diversos aspectos em um contexto interdisciplinar, extremamente necessários para os estudos na área de Ciências Ambientais. Nesta pesquisa serão compreendidas áreas de transição entre o Bioma do Cerrado e o Pantanal, sendo indispensável o acompanhamento das mudanças na

dinâmica dos componentes ambientais como um todo, por serem regiões fitogeográficas com características únicas e possuem vasta diversidade biológica.

Este trabalho de pesquisa está vinculado ao Programa de Pós Graduação em Recursos Naturais devido ao objeto de estudo, que é a vegetação da mata ciliar, ser uma variável resposta às mudanças quanto ao uso e ocupação do ambiente e por se tratar de um ecossistema extremamente importante para a preservação de espécies da flora, e da fauna aquática e terrestre. Dentre os 17 objetivos propostos pela ONU, esta pesquisa se enquadra nos objetivos 6 (Água potável e saneamento), 14 (vida na água) e 15 (vida terrestre), pelo fato de que a fauna aquática depende da qualidade dos corpos hídricos e da vegetação das margens para se desenvolver.

Ao conhecermos as características dos sistemas naturais e suas interações, torna-se tangível propor medidas que garantam a preservação deste ecossistema tão diverso, que são as Matas Ciliares. Deste modo, esta pesquisa explora o comportamento da vegetação frente às mudanças nas paisagens e do uso da terra ao longo dos anos, o que é essencial para garantir subsídios voltados à conservação da Mata Ciliar dos Rios Aquidauana e Miranda, e dos sistemas que ela integra ao longo de todo o seu curso. Dada a devida importância nas ações de conservação, impactos positivos podem ser alcançados através da conscientização da população e do poder público a cerca deste recurso natural essencial para a sobrevivência de diversas espécies.

## 1.1. OBJETIVO GERAL

Objetiva-se por meio deste trabalho realizar uma síntese da literatura a respeito do tema, por meio da revisão bibliométrica elaborada no primeiro capítulo, com a finalidade de observar a evolução das aplicações do índice NDVI, bem como analisar em uma escala temporal através do índice de vegetação, as principais mudanças ocorridas no que tange ao *status* da qualidade e da conservação da vegetação da Mata Ciliar do Rio Aquidauana e de parte do Rio Miranda (MS) apresentada no segundo capítulo.

## 1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Conhecer as principais aplicações do NDVI no estudo das Matas Ciliares;
- Definir critérios e parâmetros que influenciam nas análises de vegetação;
- Avaliar o comportamento espectral da vegetação, com a finalidade de identificar as áreas que apresentam níveis de degradação da vegetação;
- Mapear as alterações ocorridas na vegetação ao longo do tempo, por meio da elaboração de mapas temáticos da cobertura do solo da mata ciliar;
- Definir as áreas que necessitam de maior atenção em relação à manutenção da preservação da mata ciliar para fornecer subsídios à novas políticas públicas para a preservação e conservação da mata ciliar do Rio Aquidauana.

## CAPÍTULO 1

# REVISÃO SISTEMÁTICA: O ÍNDICE NDVI NO ESTUDO DE MATAS CILIARES

## RESUMO

Nos estudos voltados às áreas de Mata Ciliar destaca-se o NDVI (*Normalised Difference Vegetation Index*) pois possui facilidade de execução e interpretação sendo um dos índices mais utilizados para o monitoramento da vegetação. Objetivou-se a partir deste capítulo realizar uma revisão bibliométrica sobre pesquisas relevantes já existentes que abordam o índice NDVI, bem como responder às seguintes questões: Quais são os parâmetros que influenciam na avaliação da qualidade da vegetação da Mata Ciliar? Como identificar os níveis de degradação da vegetação? Como a vegetação influencia nos processos de inundação e enchentes? Utilizamos ambiente virtual Parsifal (2023) com busca de artigos nas plataformas *Scopus*, *Web of Science* e *Google Acadêmico*. A busca dos artigos compreendeu o período de janeiro de 2004 a março de 2023. Foram selecionados 23 artigos e os periódicos mais relevantes foram o *Remote Sensing of Environment*, *Journal of Arid Environments* e *Forest Ecology and Management*. O artigo mais citado relativo à temática abordada foi o “*Relationship between remotely-sensed vegetation indices, canopy attributes and plant physiological processes: What vegetation indices can and cannot tell us about the landscape*” com um total de 1.701 citações contidas nas três plataformas consultadas. Em relação ao qualis dos periódicos foi constatado que 36% dos artigos indexados em periódicos estavam classificados como A1. O Brasil foi o país mais expressivo dentro da temática, totalizando 47% dos artigos analisados. Abordagens práticas de controle, planejamento territorial, políticas públicas e práticas conservacionistas podem frear a substituição de campos nativos por pastagens cultivadas, resultando em melhor infiltração da água. Em áreas heterogêneas que apresentam muitos alvos a serem classificados, o NDVI pode ser considerado como um parâmetro indicador das variações no espaço e no tempo devido a sua alta sensibilidade espectral.

**PALAVRAS-CHAVE:** Floresta Nativa; Índice de Vegetação; Bibliometria.

## ABSTRACT

In studies focused on Riparian Forest areas, the NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) stands out because it is easy to execute and interpret, being one of the most used indices for vegetation monitoring. The objective of this chapter was to conduct a bibliometric review of relevant research published that addresses the NDVI index, as well as to answer the following questions: What are the parameters that influence the evaluation of the quality of Riparian Forest vegetation; How to identify the levels of vegetation degradation; How does vegetation influence flood processes? We use the site Parsifal, and search the articles on *Scopus*, *Web of Science*, and *Google Scholar* platforms. The search for articles covered the period from January 2004 to March 2023. A total of 23 articles were selected, and the most relevant journals were *Remote Sensing of Environment*, *Journal of Arid Environments*, and *Forest Ecology and Management*. The most cited article related to the topic addressed was "Relationship between remotely-sensed vegetation indices, canopy attributes and plant physiological processes: What vegetation indices can and cannot tell us about the landscape," with a total of 1,701 citations contained on the three platforms consulted. Regarding the quality classification of the journals, it was found that 36% of the articles were indexed as A1. Brazil was the most prominent country within the theme, totaling 47% of the articles analyzed. Using semivariogram analysis with the addition of texture resources to estimate the NDVI increases the precision of vegetation classification, having favorable attributes for detecting vegetation quality and changes in species phenology. Practical approaches to control, territorial planning, public policies, and conservationist practices can curb the replacement of native grasslands with cultivated pastures, resulting in better water infiltration. In heterogeneous areas that present many targets to be classified, NDVI can be considered an indicator parameter of spatial and temporal variations due to its high spectral sensitivity.

**KEYWORDS:** Native Forest; Vegetation Index; Bibliometrics.

## 2.1. INTRODUÇÃO

Os estudos aplicados às áreas de matas ciliares são importantes temas para investigação científica, pois proporcionam o desenvolvimento de uma abordagem sustentável que busca um equilíbrio entre objetivos econômicos, sociais e ambientais na prática (SHEARER; XIANG, 2007).

Para assegurar a conservação e preservação dos recursos naturais as geotecnologias se mostram importantes ferramentas, oferecendo instrumentos e técnicas eficientes para os estudos ambientais (BEZERRA; CARVALHO, 2022). Os SIG's são aliados no planejamento do uso do solo, por se tratarem de instrumentos com alta capacidade de armazenamento de informações, bem como a grande capacidade de manipulação dos dados armazenados (CAMPOS et al., 2015), sendo assim é uma ferramenta de auxílio no gerenciamento de ecossistemas.

Em muitos casos a identificação, detecção e mapeamento da comunidade florestal de fragmentos ciliares torna-se mais onerosa e inviável quando se utiliza amostragens a campo, sendo assim as técnicas de geoprocessamento constituem uma ferramenta que auxilia nestes processos de tomada de decisão em áreas ecologicamente suscetíveis, e de difícil acesso. De acordo com Berra et al. (2017) diversos índices de vegetação são apresentados na literatura e analisam determinados parâmetros da vegetação, dentre eles o NDVI (*Normalised Difference Vegetation Index*) é um dos índices mais utilizados para o monitoramento da vegetação pois permite a análise em determinada área específica da superfície terrestre.

A partir das discussões apresentadas acima, objetiva-se realizar uma análise e, conseqüentemente, uma síntese sobre pesquisas relevantes já existentes, a fim de obter as hipóteses já constituídas e questões discutidas em tais estudos relacionados à análise de vegetação realizada pelo índice NDVI. Deste modo, baseado nos argumentos apontados, serão abordadas nesta revisão sistemática, as seguintes questões de pesquisa:

- 1) Quais são os parâmetros que influenciam na avaliação da qualidade da vegetação da mata ciliar?
- 2) Como identificar os níveis de degradação da vegetação?
- 3) Como a vegetação influencia os processos de inundações e enchentes?

Com a elaboração deste capítulo buscou-se, através da síntese da literatura e da revisão bibliométrica, contribuir para a compreensão abrangente relacionada ao desenvolvimento atual da temática, que envolve os Índices utilizados em análises de vegetação. Foram revisadas várias teorias que culminaram em uma visão ampla, para serem utilizadas, aplicáveis e adotadas, por exemplo, por organizações do setor público na elaboração de recomendações de políticas públicas voltadas à proteção de APP's (Áreas de Preservação Permanente).

## 2.2. METODOLOGIA

As etapas que envolveram a revisão sistemática da literatura foram realizadas utilizando a estrutura proposta no ambiente virtual Parsif.al (2023). Os procedimentos metodológicos que constituíram a pesquisa envolveram planejamento, condução e comunicação dos resultados. Constituiu-se na seleção das questões de pesquisa, seleção das bases de dados e fontes de artigos, escolha dos termos para classificar a pesquisa, aplicação de critérios práticos e metodológicos para a triagem dos artigos para a realização da revisão e síntese dos resultados. Esta revisão sistemática foi estruturada em tópicos para que sejam respondidas as questões de pesquisa.

### 2.2.1. Protocolo de Busca

Foram utilizadas as bases de dados indexadas *Scopus* e *Web of Science* e *Google Acadêmico* (<https://scholar.google.com.br/>). A filtragem para a busca dos artigos compreendeu o período de janeiro de 2004 a março de 2023 e ateu-se a artigos acadêmicos publicados em português e na língua inglesa. Os termos de procura foram aplicados aos resumos, palavras-chave e títulos, sendo que apenas artigos completos de periódicos foram considerados. Os artigos também foram filtrados pelas seguintes áreas do conhecimento: *Earth and Planetary Sciences*, *Environmental Science*, *Agricultural and Biological Sciences* e *Engineering*.

A string de busca utilizada foi ("*Ecosystem*" OR "*Riparian Vegetation*") AND ("*Geoprocessing*" OR "*Image Classification*" OR "*NDVI*" OR "*Normalized difference vegetation Index*" OR "*Vegetation analysis*" OR "*Vegetation index*") AND ("*Conservation*" OR "*Quality*").

### 2.2.2. Critérios de Exclusão e Inclusão

Para a classificação dos artigos foram atribuídos critérios de exclusão, sendo eles: artigos duplicados, resumo não alinhado, conteúdo não alinhado, texto completo indisponível, recorte temporal e área do conhecimento. Após a seleção dos artigos não enquadrados nestes critérios de exclusão, foi realizada a avaliação da qualidade dos conteúdos. Para isto foram atribuídas notas para os artigos após a leitura completa do conteúdo, onde buscou-se verificar se os artigos fazem referência às questões consideradas relevantes para a pesquisa, são elas: 1 - O artigo tem referencial teórico

robusto e atualizado?; 2 - Os resultados do artigo estão claramente explícitos?; 3 - O artigo apresenta a metodologia de NDVI? 4 - O artigo faz referência as matas ciliares?; 5 - O artigo apresenta análise de vegetação?

As notas foram compostas de acordo com a resposta obtida a partir destas questões levantadas, de forma que, se a resposta foi “sim” atribuiu-se a nota 1,0. Caso a resposta fosse “parcialmente” computou-se 0,5 (meio ponto), e para a resposta “não” atribuímos nenhuma nota (0). Deste modo, foi determinada a nota de corte (3,0) e a pontuação máxima (5,0). As somas das pontuações obtidas após a leitura dos conteúdos são demonstradas na Tabela 1.

Tabela 1 - Notas de corte atribuídas aos artigos.

<b>AUTORES</b>	<b>NOTA ATRIBUÍDA</b>
Johansen et al. (2007)	5,0
Fu; Burgher (2015)	5,0
Smith et al. (2019)	4,5
Arcoverde et al. (2011)	4,5
Jones et al. (2008)	4,5
Miranda et al. (2018)	4,5
Bellón et al. (2020)	4,5
Berveglieri et al. (2021)	4,5
Berra et al. (2017)	4,5
Barbosa et al. (2006)	4,5
Amaral et al. (1996)	4,5
De Abreu; Coutinho (2014)	4,5
Freitas et al. (2005)	4,0
Cabacinha; Castro (2009)	4,0
Magdaleno; Martinez (2014)	4,0
Shearer; Xiang (2007)	4,0
Leal et al. (2019)	4,0
Glenn et al. (2008)	4,0
Szantoi et al. (2013)	3,5
Silveira et al. (2017)	3,5
Yousef et al. (2019)	3,5
Cabacinha; Lafetá (2017)	3,5
Nagler et al. (2004)	3,0

Os artigos avaliados que obtiveram nota inferior a 3,0 não foram considerados para a revisão. As questões elaboradas para compor as notas foram:

- 1) O artigo tem referencial teórico robusto e atualizado?
- 2) Os resultados do artigo estão claramente explícitos?
- 3) O estudo utiliza a metodologia de NDVI?
- 4) O artigo faz referência às matas ciliares?
- 5) O artigo apresenta análise de vegetação?

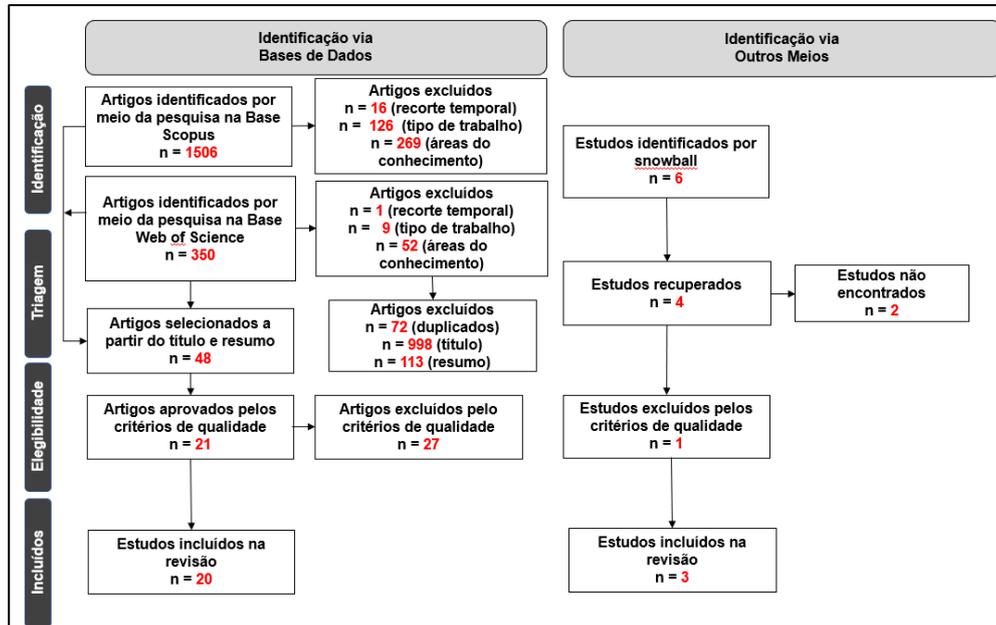
Estes critérios foram elaborados a fim de se obter trabalhos relevantes para o tema do estudo que se propõe. Foram selecionados 22 artigos publicados em periódicos e um trabalho de Simpósio, escolhido através do *Snowball*, para responder às questões de pesquisa, na temática da utilização do NDVI no contexto das matas ciliares.

### **2.2.3. Avaliação da Qualidade dos Artigos e Extração de Dados**

Esta é uma etapa imprescindível para que se obtenha artigos relevantes dentro da temática estudada. Com o auxílio da plataforma Parsifal foram descritas as informações a respeito de cada artigo, como o ano de publicação, o periódico no qual o artigo está publicado, Qualis do periódico e seus respectivos fatores de impacto (SJR e JCR), número de citações do artigo nas três plataformas utilizadas (*Scopus*, *Web of Science* e *Google Acadêmico*).

A plataforma Parsifal possui a vantagem de apresentar no sistema questões que são consideradas importantes para o estudo, e neste caso foram incluídas as questões de pesquisa, a robustez do referencial teórico de cada artigo, bem como o contexto de cada pesquisa, as oportunidades e limitações do estudo. Nesta etapa foram coletadas as referências de *Snowball* consideradas relevantes para esta revisão. A Figura 1 foi elaborada para demonstrar a quantidade de artigos computados em cada base de dados onde foram realizadas as buscas.

Figura 1 - Fluxograma dos critérios e etapas de seleção (Identificação, triagem e elegibilidade) dos artigos em cada base de dados e via Snowball.



## 2.3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 2.3.1. Análise dos Artigos

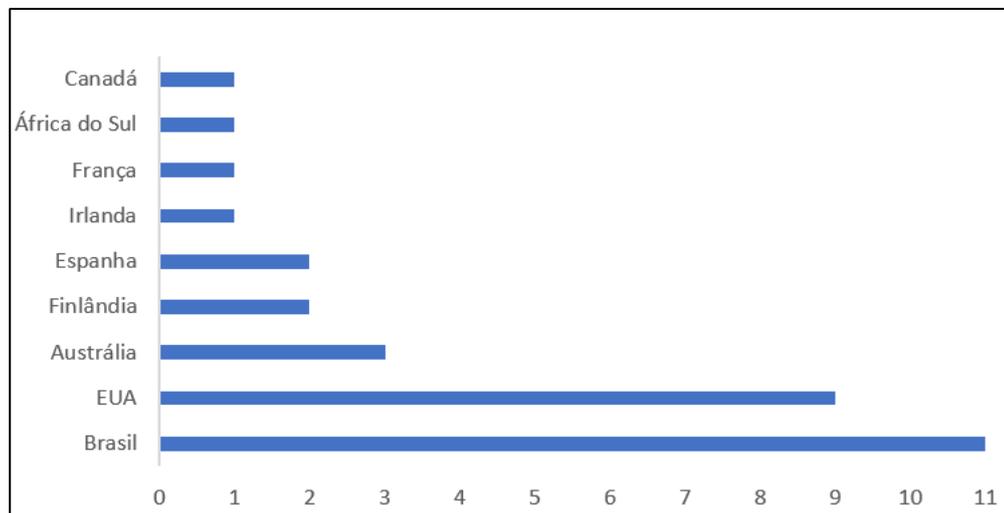
Foram selecionados 22 artigos e 1 trabalho de simpósio, que se enquadram na temática dos estudos de NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) aplicados ao contexto de matas ciliares em regiões áridas e semiáridas. Os resultados obtidos foram estruturados em tabela e figuras para obtenção de uma visão ampla que permita uma discussão aprofundada dos dados referentes a cada artigo publicado. Desta forma, no que tange aos periódicos, três revistas foram verificadas como principais, são elas a *Remote Sensing of Environment*, *Journal of Arid Environments* e *Forest Ecology and Management* as mais relevantes dentro do tema estudado, responsáveis pela indexação de dois artigos cada.

### 2.3.2. País dos Autores

Em relação aos países dos autores, esta revisão revelou que a composição dos manuscritos é originária de nove países distintos, tendo em vista que muitos artigos possuem autores de diversos países. O Brasil figurou como país mais expressivo dentro

da temática estudada com onze publicações, correspondendo a 47% de todos os artigos analisados. Este viés pode ocorrer devido a metodologia empregada, onde foram filtrados apenas publicações em inglês e português, além de que o *Google Scholar* possuir grande volume de artigos em português. Conforme está descrito na Figura 2, o segundo país mais relevante em termos da origem dos autores foi o Estados Unidos da América, com a publicação de nove artigos, totalizando 39%. Na Austrália foram elaborados três artigos (13%), na Finlândia e na Espanha foram constatadas duas publicações (8%), no Canadá, Irlanda, África do Sul e na França foi produzida uma publicação (4%).

Figura 2 - País dos Autores.



O artigo mais citado foi o “*Relationship between remotely-sensed vegetation indices, canopy attributes and plant physiological processes: What vegetation indices can and cannot tell us about the landscape*” com um total de 1.701 citações ao realizar a soma de citações nas três plataformas consultadas (*Scopus*, *Web of Science* e *Google Acadêmico*). O segundo artigo mais citado foi “*Application of high spatial resolution satellite imagery for riparian and forest ecosystem classification*”, com 661 citações nas plataformas consultadas

O Fator de Impacto (índice JCR) de um periódico em um determinado ano representa a média de citações recebidas pelos artigos nele publicados nos dois anos anteriores. Trata-se de um indicador bibliométrico amplamente utilizado. Neste sentido, o periódico *Remote Sensing of Environment* e *Journal of Environmental Informatics*

obtiveram os maiores valores de fator de impacto, sendo assim, são importantes fontes de artigos.

O índice Scimago Journal Rank (SJR) está ligado ao prestígio científico do periódico e considera artigos publicados de três anos anteriores. É baseado na ideia de que a área do conhecimento, a qualidade e a reputação de um periódico influenciam diretamente as citações realizadas, e para aumentar seu valor é preciso publicar em periódicos com maior prestígio. Dentro da temática abordada, os periódicos que possuem maior índice SJR são *Remote Sensing of Environment* e *Sensors*.

Na Tabela 2, são apresentadas as informações relacionadas nos tópicos para efetuar uma comparação entre os artigos selecionados.

Tabela 2 - Relação dos artigos aceitos para a revisão sistemática após a avaliação dos conteúdos.

<b>AUTORES</b>	<b>REVISTA</b>	<b>PAÍS DOS AUTORES</b>	<b>Nº CITAÇÕES</b>	<b>JCR</b>	<b>SJR</b>
Glenn et al. (2008)	Sensors	USA	1.701	3,847	219
Johansen et al. (2007)	Remote Sensing of Environment	Austrália, Canadá	661	13,5	327
Barbosa et al. (2006)	Journal of Arid Environments	USA	607	2,59	130
Fu e Burgher (2015)	Journal of Arid Environments	Austrália	443	2,59	130
Smith et al. (2019)	Remote Sensing of Environment	USA	442	13,5	327
Freitas et al. (2005)	Forest Ecology and Management	Brasil	396	4,384	190
Nagler et al. (2004)	Agricultural and Forest Meteorology	USA	314	6,424	185
Szantoi et al. (2013)	International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation	USA	264	7,672	120
Cabacinha e Castro (2009)	Forest Ecology and Management	Brasil	122	4,84	190
Arcoverde et al. (2011)	Boletim de Ciências Geodésicas	Brasil, Finlândia,	100	0,15	16
Jones et al. (2008)	Ecological Indicators	USA	78	6,263	162
Magdaleno e Martinez (2014)	Forest Systems	Espanha	62	1,411	30
Miranda et al. (2018)	Biota Neotropica	Brasil	60	1,467	39

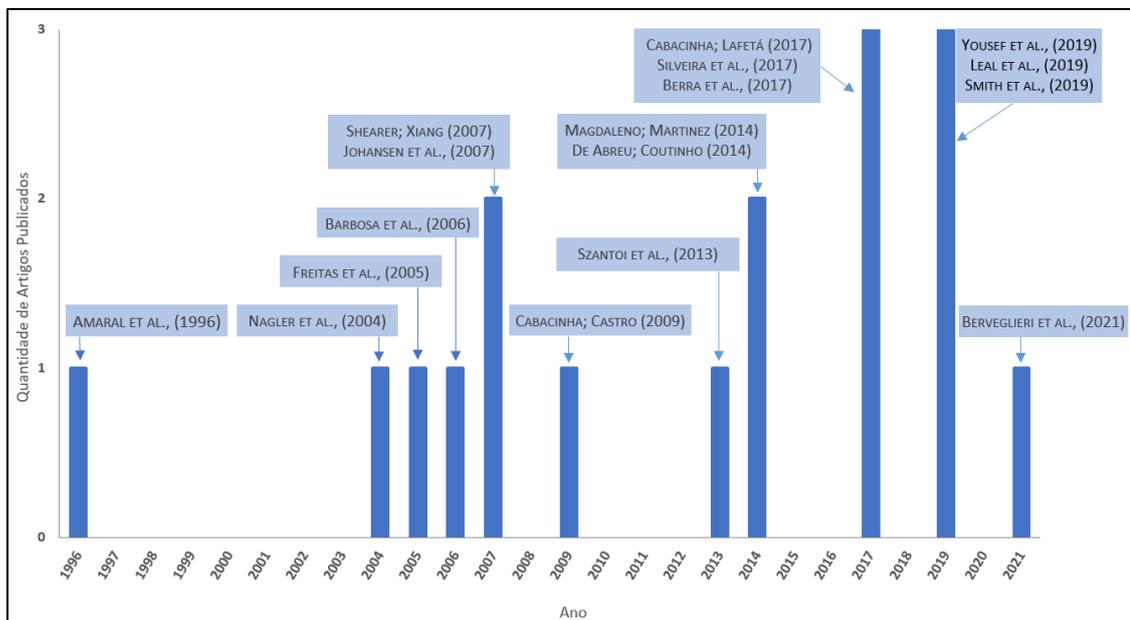
Shearer e Xiang (2007)	Journal of Environmental Informatics	USA	34	10,22	35
Bellón et al. (2020)	Remote Sensing	França, África do Sul, Brasil, Austrália,	30	5.349	168
Berveglieri et al. (2021)	Remote Sensing Applications-Society and Environment	Brasil, Finlândia	26	0.83	37
Silveira et al. (2017)	CERNE	Brasil, Irlanda, Espanha	26	1.01	23
Amaral et al. (1996)	-	Brasil	25	-	-
De Abreu e Coutinho (2014)	Revista Vértices	Brasil	24	-	-
Berra et al. (2017)	Revista Árvore	Brasil	18	0.795	34
Yousef et al. (2019)	Integrated Environmental Assessment and Management	USA	11	3.084	67
Cabacinha e Lafetá (2017)	Ciência Florestal	Brasil	9	0.63	23
Leal et al. (2019)	Nativa: Pesquisas Agrárias e Ambientais	Brasil	5	0.07	-

### 2.3.3. Distribuição Anual de Artigos Publicados

Segundo Li et al. (2021) a distribuição anual de artigos publicados é um mapeamento quantitativo que fornece informações a respeito dos progressos das pesquisas ao longo do tempo, e assim permite uma classificação sobre o nível de desenvolvimento alcançado até certo ponto de interesse. Nos anos de 2017 e 2019 foram publicados três artigos, respectivamente, dentro da temática do NDVI no contexto das matas ciliares, como demonstrado na Figura 3. Pode ser observada alternância de trabalhos realizados ao longo dos anos, pois a escolha do NDVI, apesar de fornecer parâmetros eficientes nas análises de vegetação, bem como da estrutura do dossel (FREITAS et al., 2005), análises fenológicas (BERRA et al., 2017), deve ser criteriosa em termos do real objetivo da análise de vegetação. Diversos trabalhos utilizam o NDVI como forma de comparação em relação a outros índices de vegetação (GLENN et al., 2008), e esta técnica foi melhor estudada devido ao desenvolvimento de tecnologias pelo incremento no uso dos computadores, satélites e também de *softwares* especializados.

Nos anos de 2007 e 2014 foram publicados dois artigos nesta temática, sendo que o trabalho elaborado por Shearer e Xiang (2007) compreendeu as características a respeito dos estudos sobre as matas ciliares e desta forma, foram mencionados os índices de vegetação como parâmetros de avaliação da qualidade da vegetação. Já o trabalho realizado por Johansen et al. (2007) avaliou as questões práticas e técnicas que compõe a elaboração e manipulação do NDVI, através do incremento da resolução espacial como fator importante na obtenção de parâmetros eficientes nas análises.

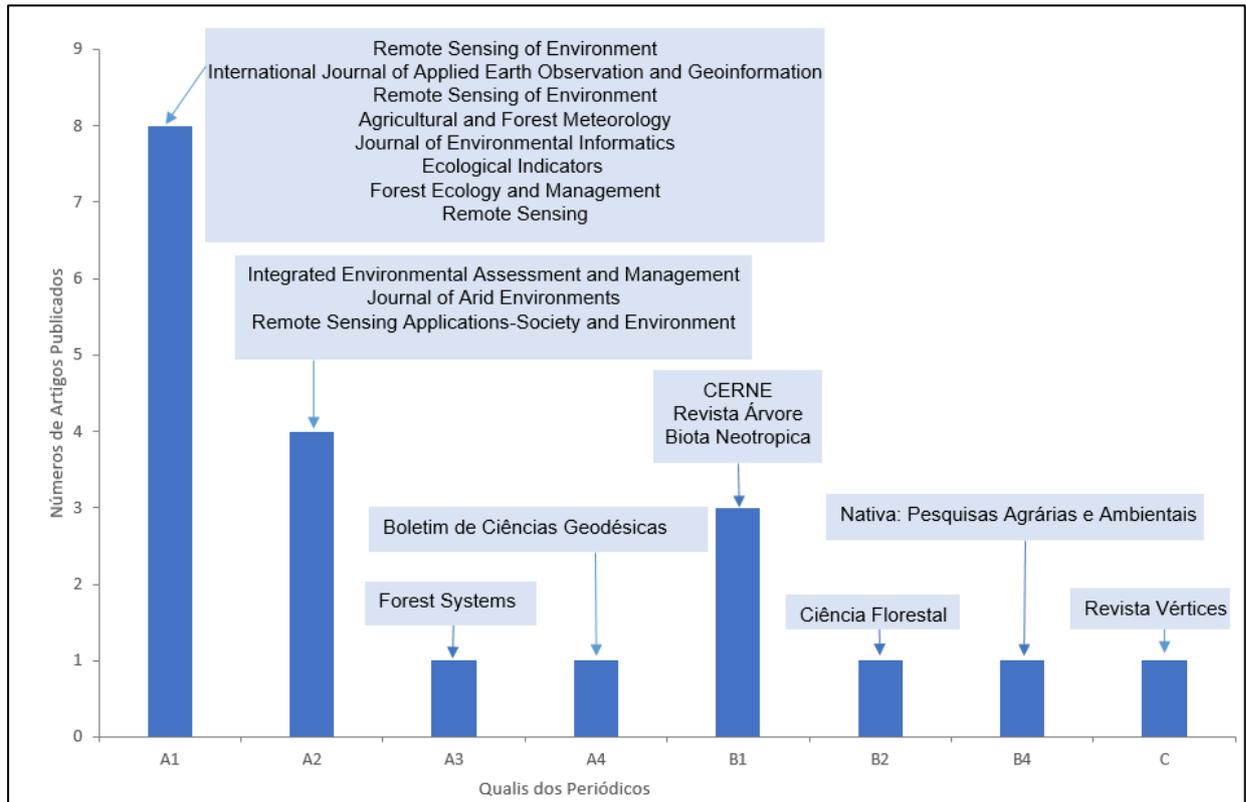
Figura 3 - Artigos publicados por ano após a avaliação de conteúdo.



#### 2.3.4. Qualis dos Periódicos

No que tange ao Qualis dos periódicos, os artigos foram publicados em revistas com boa avaliação de conteúdo, resultando 36% artigos indexados em periódicos de classificação A1, e 18% foram publicados em periódicos de classificação A2. Desta forma, pode-se constatar alta qualidade na elaboração dos artigos, bem como de seus conteúdos e resultados, devido ao maior rigor dos periódicos com melhores classificações, no que se refere aos processos de elaboração da pesquisa, e ainda pelo fato de que os artigos são submetidos pela avaliação por pareceristas da mesma área de conhecimento. Logo, nos periódicos classificados como A1 e A2 nesta revisão sistemática, o total de artigos publicados correspondeu a 54%, consistindo em mais da metade do total de artigos analisados, como evidenciado, a seguir, na Figura 4.

Figura 4 - Artigos publicados em relação ao Qualis dos periódicos.



### 2.3.5. Parâmetros de Avaliação da Qualidade da Vegetação de Matas Ciliares

Fu e Burgher (2015) analisaram coletivamente fatores climáticos (temperatura e pluviosidade), águas superficiais (vazão e inundações) e níveis do lençol freático. Os resultados obtidos mostraram que a temperatura é a variável que mais influencia os valores de NDVI, seguido da variável precipitação. O período seco mostrou-se importante para a manutenção dos níveis de NDVI, particularmente quando as chuvas são limitadas. Níveis de água subterrânea mais superficiais também sustentam o NDVI quando as condições são mais frias e úmidas por favorecer a absorção de água pela vegetação.

Glenn et al. (2008) utilizaram estudos de caso para ilustrar os usos e os maus usos dos índices de vegetação no que tange a fenologia, produtividade primária, fixação líquida de carbono e processos relacionados à transpiração vegetal (evapotranspiração, eficiência do uso da chuva e água subterrânea). A abordagem partiu da defesa do uso dos índices de vegetação como uma simples medida da absorção de luz do dossel, em vez de um substituto para recursos detalhados da arquitetura do dossel. Desta forma, assumem que os fluxos de carbono e umidade

sobre a cobertura vegetal têm a mesma resposta relativa ao ambiente que qualquer folha, simplificando a tarefa de modelar paisagens complexas.

Johansen et al. (2007) relatam que análises e mapeamento da estrutura da vegetação em zonas ribeirinhas e florestas adjacentes podem ser usados como um indicador ambiental da condição da mata ciliar. É possível discriminar estágios estruturais da vegetação utilizando-se dados de imagem de satélite com alta resolução espacial, aplicando texturas e escalas apropriadas, pois a variabilidade espectral de uma árvore individual (pixels que representam a copa iluminada pelo sol, copa sombreada e a influência de fatores como galhos, cones e morfologia da árvore) restringem o desenvolvimento de assinaturas espectrais únicas para classificação de árvores. Os semivariogramas derivados de imagens NDVI são um indicador simples da heterogeneidade da paisagem e podem ser usados para fornecer mapas das distinções entre as paisagens permitindo que as pesquisas se baseiem em padrões de amostragem apropriados (SILVEIRA et al., 2017).

Shearer e Xiang (2007) apontam diversos fatores que influenciam na avaliação de matas ciliares, como a legislação, gestão, exploração madeireira e economia como medidas de desempenho eficientes na proteção dos habitats. Nos estudos sobre detecções de mudanças nos padrões da resposta espectral da vegetação, a qualidade da vegetação está ligada a quantidade de massa foliar e outros usos humanos. Essas diferenças de padrão podem indicar maiores pressões de pastoreio e da expansão urbana (JONES et al., 2008).

### **2.3.6. Identificação dos Níveis de Degradação**

Com o crescimento vegetativo das copas florestais, a resposta espectral torna-se diferente (BERVEGLIERI et al., 2021). Desta forma, a heterogeneidade da floresta ripária ocorre devido aos estágios de sucessão da floresta. As análises multitemporais com o NDVI podem auxiliar nesta detecção, pois permitem que se obtenha um conjunto de informações a respeito do comportamento espectral do desenvolvimento da sucessão florestal. No monitoramento e diagnóstico ambiental, o conjunto de técnicas de sensoriamento remoto e parâmetros biofísicos podem aumentar a capacidade de maximizar a sensibilidade do NDVI (FREITAS et al., 2005).

Uma avaliação específica de florestas ribeirinhas (RFE) foi desenvolvida por Magdaleno e Martinez (2014), para acessar as condições ecológicas em 170

fragmentos na Espanha. O índice se baseia na continuidade espacial da floresta (em suas três dimensões centrais: longitudinal, transversal e vertical) e a capacidade de regeneração da floresta relacionada ao padrão hidromorfológico do rio. Desta forma, foi possível obter uma avaliação sobre qualidade da vegetação e do grau de alteração das florestas, podendo servir como ferramenta de auxílio na tomada de decisões para a restauração da comunidade vegetal em áreas que necessitem de intervenções.

Miranda et al. (2018) avaliaram os impactos sobre os processos hidrológicos e parâmetros biofísicos, como cobertura vegetal, biomassa, fração da radiação fotossinteticamente ativa e variações fenológicas. Os resultados mostraram que a intensificação do uso da terra na rede de unidades de conservação estudada em áreas de Cerrado próximas ao Pantanal, sugerem uma degradação dos habitats e destacam graves ineficiências nesta região. Deste modo, Bellón et al. (2020), enfatizam a importância das análises integradas nas mudanças das paisagens para fornecerem indicadores complementares sobre as dinâmicas ecológicas relevantes nestas áreas chave para a conservação.

A perda de biomassa oriunda da ocorrência de fogo pode ser medida através do NDVI (LEAL et al., 2019), bem como as alterações de coberturas naturais, conectividade ecológica e desmatamento de florestas (ARCOVERDE et al., 2011). Ao utilizar redes neurais artificiais (RNA) de Mapas Auto-Organizáveis (SOM) é possível mensurar a biodiversidade e impactos ambientais (CABACINHA; LAFETÁ, 2017), pois os índices de diversidade e de equabilidade mostraram correlações com a forma do fragmento.

Yousef et al. (2019) investigaram as mudanças na cobertura do dossel e a diversidade da vegetação de matas ciliares no estado do Kansas (EUA) em relação à deriva de herbicidas nas áreas próximas que utilizam esta prática. O NDVI se apresentou como uma medida indireta para esta finalidade, pois, pela análise de similaridade não foram encontradas diferenças significativas entre a distância entre os fragmentos ciliares com a aplicação dos herbicidas, no que tange ao declínio da qualidade da vegetação. No entanto, há a premissa de que a diversidade e a qualidade da vegetação possam ser comprometidas pela aplicação de defensivos agrícolas em áreas próximas às matas ciliares.

### **2.3.7. Influência da Vegetação nos Processos de Inundação e Enchentes**

No monitoramento da qualidade da vegetação em áreas que sofrem alagamentos ou inundações, Szantoi et al. (2013) elucidam técnicas apuradas de análise pelas texturas adicionais de bandas espectrais do infravermelho próximo, a fim de avaliar os efeitos dos distúrbios naturais e antrópicos. Tamanhos de janela apropriados para diferentes recursos de textura foram estimados usando análise de semivariograma e os resultados mostraram que a adição de recursos de textura para estimar o NDVI aumentou a precisão da classificação da vegetação.

De acordo com Miranda et al. (2018), o uso de geotecnologias permite uma análise holística nos estudos em áreas úmidas que, deste modo, está mais propensa à ocorrência de inundações ou enchentes. Assim, observaram que as abordagens práticas de controle, planejamento territorial, políticas públicas e práticas conservacionistas podem freiar a substituição de campos nativos por pastagens cultivadas, além da perda de vegetação com alta biomassa, que significa alterações do ambiente natural. A transição da classe sem vegetação para densa vegetação entre os anos estudados (2000-2008) foi observada em áreas onde os limites anteriores de corpos d'água foram cobertos por vegetação.

A elaboração de mapas temáticos de vegetação pode servir para analisar melhor os padrões espaciais das comunidades vegetais, identificar habitats de interesse, e também determinar áreas úmidas suscetíveis a mudanças. Portanto, mapeando essas mudanças de distribuições e estruturas vegetativas é possível obter indicadores para monitorar efeitos negativos dos impactos climáticos, ecológicos e antrópicos (SZANTOI et al., 2013).

### **2.3.8. Oportunidades de Pesquisa**

A partir da revisão sistemática da literatura foi possível verificar os fatores determinantes na avaliação da vegetação utilizando geotecnologias. Smith et al. (2019) discorrem sobre os principais desafios, progressos e oportunidades do emprego do sensoriamento remoto aplicado em regiões áridas e semiáridas, e apontam o Índice de Área Foliar (LAI), a função da produção primária e evapotranspiração como fatores a serem monitorados em uma escala espaço-temporal, pois tratam de aspectos que possuem alta prioridade de pesquisa.

O sensoriamento remoto em regiões áridas e semiáridas é mais desafiador de se realizar do que em regiões úmidas. Os principais desafios incluem baixa relação sinal-ruído da vegetação, alta reflectância do fundo do solo, presença de solos fotossintéticos (crostas biológicas do solo), alta heterogeneidade de parcela para escalas regionais e estações de crescimento irregulares devido às chuvas sazonais imprevisíveis e frequentes períodos de seca (SMITH et al., 2019).

Adicionalmente há uma relativa escassez de medições contínuas e de longo prazo em terras áridas, o que impede a calibração e avaliação robustas de produtos de dados de sensoriamento remoto. Devido a essas questões, técnicas de sensoriamento remoto desenvolvidas em outros ecossistemas ou para aplicação global geralmente resultam em estimativas imprecisas e pouco restritas da dinâmica estrutural e funcional dos ecossistemas em regiões áridas e semiáridas (FU; BURGUER, 2019).

De acordo com Glenn et al. (2008) os métodos de sensoriamento remoto para estimar as variáveis do ecossistema devem ser formulados de modo a aproveitar seus pontos fortes e minimizar seus pontos fracos, e isto é obtido a partir de ferramentas apropriadas de dimensionamento dos dados de observação do solo, ao invés de modelos físicos detalhados da paisagem, quando se trabalha com a observação de imagens de satélites.

Deve-se explorar novas combinações de sensores e técnicas em diversas escalas espaço-temporais, para obter novos *insights* sobre a dinâmica estrutural e funcional em regiões áridas. Utilizando observações contínuas de satélites geoestacionários novos e aprimorados, para capturar as respostas rápidas dos ecossistemas às variações de estresse hídrico, bem como expandir as redes de observação terrestre para melhor representar a heterogeneidade do ambiente, permitindo calibração e avaliação precisas (SMITH et al., 2019).

O balanço da radiação de um dossel pode ser determinado diretamente por sensores espectrais remotos, devido às medições espectrais aliam fatores a respeito das propriedades espectrais das folhas, arquitetura do dossel e geometria de visualização, que influenciam na interceptação de luz. O NDVI, quando combinado com outros índices, como o LAI (Índice de área foliar) pode estimar coeficientes de extinção de luz para diversos tipos de plantas (NAGLER et al., 2004).

## 2.4. CONCLUSÕES

A partir da revisão sistemática da literatura envolvendo a temática da avaliação da vegetação de matas ciliares, pode-se concluir que o NDVI (*Normalized Vegetation Difference Index*) possui atributos favoráveis para a detecção da qualidade da vegetação, mudanças na fenologia das espécies, dentre outras aplicações, devido à possibilidade de medição do comportamento espectral da vegetação.

Os artigos selecionados apresentam uma grande variedade de aplicações de índices de vegetação em diversos países, e isto configura uma versatilidade do NDVI. Contudo, outros índices são elaborados a partir de variações do próprio NDVI. Desta forma, sua utilização deve ser manipulada de modo a atender as expectativas da realidade estudada e dos objetivos da pesquisa, bem como a definição apropriada da resolução espacial, a fim de minimizar erros de classificação e interpretação dos dados. A escolha do momento apropriado na seleção das imagens de satélite deve ser criteriosa para alcançar os objetivos propostos. Deste modo, a melhor época para a aquisição de imagens de satélites utilizados em estudos de regiões áridas e semiáridas é no período da seca (junho-outubro), salvo as variações climáticas ao longo dos anos.

A classificação das estruturas florestais presentes nas matas ciliares é uma tarefa que exige cuidado na manipulação dos dados, pois existem diferentes respostas espectrais dos alvos terrestres. Os semivariogramas e estatísticas espaciais promovem a acurácia das análises devido o fornecimento de informações importantes para o processo de classificação de florestas.

Em áreas heterogêneas que apresentam muitos alvos a serem classificados, o NDVI pode ser considerado como um indicador das variações no espaço e no tempo devido à alta sensibilidade espectral das bandas do visível e do infravermelho termal. Deste modo, são classificadas as áreas de acordo com a cobertura terrestre, permitindo uma comparação entre áreas analisadas. Os artigos analisados nesta revisão bibliométrica apontam a versatilidade do NDVI e a capacidade de prover parâmetros eficientes para as análises de vegetação, evidenciando oportunidades de estudos futuros acerca de monitoramentos ambientais.

## 2.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, S.; SOARES, J. V.; ALVES, D. S.; MELLO, E. D.; ALMEIDA, S. A. S.; SILVA, O. D.; SILVEIRA, A. M. Relações entre Índice de Área Foliar (LAI), Área Basal e Índice de Vegetação (NDVI) em relação a diferentes estágios de crescimento secundário na Floresta Amazônica em Rondônia. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, v. 8, p. 485-489, 1996.

ARCOVERDE, G. F. B.; ALMEIDA, C. M. D.; XIMENES, A. D. C.; MAEDA, E. E.; ARAÚJO, L. S. D. Identification of priority areas for forest restoration using self-organizing maps neural network. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 17, p. 379-400, 2011.

AYACH, L. R.; BACANI, V. M.; SILVA, J. F. Unidades de Conservação no Pantanal do município de Aquidauana-MS: uma análise da evolução do uso da terra e cobertura vegetal e suas implicações. **Caderno de Geografia**, v.24, n.42, 2014. Disponível em: DOI:10.5752/P.2318-2962.2014v24n42p139

BARBOSA, Humberto A.; HUETE, A. R.; BAETHGEN, W. E. A 20-year study of NDVI variability over the Northeast Region of Brazil. **Journal of arid environments**, v. 67, n. 2, p. 288-307, 2006.

BELLÓN, B.; BLANCO, J.; DE VOS, A.; ROQUE, F. O.; PAYS, O.; RENAUD, P. C. Integrated landscape change analysis of protected areas and their surrounding landscapes: application in the Brazilian Cerrado. **Remote Sensing**, v. 12, n. 9, p. 1413, 2020.

BERRA, E. F.; FONTANA, D.C.; KUPLICH, T. M. Tree age as adjustment factor to NDVI. **Revista Árvore**, v.4, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-90882017000300007>

BERVEGLIERI, A.; IMAI, N. N.; CHRISTOVAM, L. E.; GALO, M. L.; TOMMASELLI, A. M.; HONKAVAARA, E. Analysis of trends and changes in the successional trajectories of tropical forest using the Landsat NDVI time series. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 24, p. 100622, 2021.

BEZERRA, E. T.; CARVALHO, E. M. Áreas de preservação permanente nos perímetros urbanos de Aquidauana e Anastácio – MS. **Geofronter**, Campo Grande, v.8, p.22, 2022. Disponível em: <https://periodicosonline.uems.br/index.php/GEOF/article/view/7151>

BURKI, M. A. K.; BURKI, U.; NAJAM, U. Environmental degradation and poverty: A bibliometric review. **Regional Sustainability**, v. 2, n. 4, p. 324-336, 2021.

CABACINHA, C. D.; CASTRO, S. S. Relationships between floristic diversity and vegetation indices, forest structure and landscape metrics of fragments in Brazilian Cerrado. **Forest Ecology and Management**, v. 257, n. 10, p. 2157-2165, 2009.

CABACINHA, C. D.; LAFETÁ, B. O. Floristic diversity and equitability in forest fragments using artificial neural networks. **Ciência Florestal**, v. 27, p. 143-152, 2017.

DE ABREU, K. M. P.; COUTINHO, L. M. Sensoriamento remoto aplicado ao estudo da vegetação com ênfase em índice de vegetação e métricas da paisagem. **Revista Vértices**, v. 16, n. 1, p. 177-202, 2014.

FREITAS, S. R.; MELLO, M. C. S.; CRUZ, C. B. M. Relationships between forest structure and vegetation indices in Atlantic Rainforest. **Forest ecology and management**, v. 218, n. 1-3, p. 353-362, 2005.

FU, B.; BURGHER, I. Riparian vegetation NDVI dynamics and its relationship with climate, surface water and groundwater. **Journal of Arid Environments**, v. 113, p. 59-68, 2015.

GLENN, E. P.; HUETE, A. R.; NAGLER, P. L.; NELSON, S. G. Relationship between remotely-sensed vegetation indices, canopy attributes and plant physiological processes: What vegetation indices can and cannot tell us about the landscape. **Sensors**, v. 8, n. 4, p. 2136-2160, 2008.

JOHANSEN, K.; COOPS, N. C.; GERGEL, S. E.; STANGE, Y. Application of high spatial resolution satellite imagery for riparian and forest ecosystem classification. **Remote sensing of Environment**, v. 110, n. 1, p. 29-44, 2007.

- JONES, K. B.; EDMONDS, C. E.; SLONECKER, E. T.; WICKHAM, J. D.; NEALE, A. C.; WADE, T. G.; KEPNER, W. G. Detecting changes in riparian habitat conditions based on patterns of greenness change: A case study from the Upper San Pedro River Basin, USA. **Ecological Indicators**, v. 8, n. 1, p. 89-99, 2008.
- KHURSHID, M. M. et al. Modeling of Open Government Data for Public Sector Organizations Using the Potential Theories and Determinants-A Systematic Review. **Informatics**, v. 7, n. 3, 2020.
- LEAL, F. A.; SOUZA, C. M.; LEAL, G.; MIGUEL, E. P. Application of NDVI in vegetation analysis after fire occurrence. **Nativa: Pesquisas Agrárias e Ambientais**, v. 7, n. 2, p. 226-231, 2019.
- LI, J.; WENG, G.; PAN, Y.; LI, C.; WANG, N. A scientometric review of tourism carrying capacity research: Cooperation, hotspots, and prospect. **Journal of Cleaner Production**, v. 325, p. 129278, 2021.
- MAGDALENO, F.; MARTINEZ, R. Evaluating the quality of riparian forest vegetation: the Riparian Forest Evaluation (RFV) index. **Forest Systems**, v. 23, n. 2, p. 259-272, 2014.
- MIRANDA, C. S.; PARANHO FILHO, A. C.; POTT, A. Changes in vegetation cover of the Pantanal wetland detected by Vegetation Index: a strategy for conservation. **Biota Neotropica**, v. 18, 2018.
- NAGLER, P. L.; GLENN, E. P.; THOMPSON, T. L.; HUETE, A. Leaf area index and normalized difference vegetation index as predictors of canopy characteristics and light interception by riparian species on the Lower Colorado River. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 125, n. 1-2, p. 1-17, 2004.
- NEINAVAZ, E.; SCHLERF, M.; DARVISHZADEH, R.; GERHARDS, M.; SKIDMORE, A. K. Thermal infrared remote sensing of vegetation: Current status and perspectives. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 102, p. 102415, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2021.102415>
- SHEARER, K. S.; XIANG, W. N. The Characteristics of Riparian Buffer Studies. **Journal of Environmental Informatics**, v. 9, n. 1, 2007.
- SILVEIRA, E. M. D. O.; MELLO, J. M. D.; ACERBI, F. W.; REIS, A. A. D.; WITHEY, K. D.; RUIZ, L. A. Characterizing landscape spatial heterogeneity using semivariogram parameters derived from NDVI images. **Cerne**, v. 23, p. 413-422, 2017.
- SMITH, W. K.; DANNENBERG, M. P.; YAN, D.; HERRMANN, S.; BARNES, M. L.; BARRON-GAFFORD, G. A.; YANG, J. Remote sensing of dryland ecosystem structure and function: Progress, challenges, and opportunities. **Remote Sensing of Environment**, v. 233, p. 111401, 2019.
- SZANTOI, Z.; ESCOBEDO, F.; Abd-ELRAHMAN, A.; SMITH, S.; PEARLSTINE, L. Analyzing fine-scale wetland composition using high resolution imagery and texture features. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 23, p. 204-212, 2013.
- YOUSEF, F.; GEBREMICHAEL, M.; GHEBREMICHAEL, L.; PERINE, J. Remote-sensing based assessment of long-term riparian vegetation health in proximity to agricultural lands with herbicide use history. **Integrated environmental assessment and management**, v. 15, n. 4, p. 528-543, 2019.

## CAPÍTULO 2

# ANÁLISE MULTITEMPORAL DA VEGETAÇÃO DE MATA CILIAR DOS RIO AQUIDAUANA E MIRANDA

### RESUMO

O Rio Aquidauana é um importante afluente da margem direita do Rio Miranda, dentro do chamado Pantanal de Miranda-Aquidauana, que compreende vasta diversidade biológica. O monitoramento da vegetação através do sensoriamento remoto fornece subsídios à elaboração de planos de manejo dos recursos naturais e à delimitação de áreas prioritárias para a conservação. Neste capítulo objetivou-se analisar e quantificar as coberturas do solo da Mata Ciliar do Rio Aquidauana e de parte do Rio Miranda em três anos distintos com o intervalo de 10 anos (2003, 2013 e 2023). As imagens de satélite utilizadas foram compostas por duas órbitas-ponto (226-074 e 225-074) do Programa Landsat que correspondem a localização do Rio Aquidauana e Miranda, e adquiridas na estação seca (julho a outubro). Na etapa do processamento as imagens de satélite foram submetidas a fotointerpretação através da elaboração dos mosaicos. Após o cálculo do índice de vegetação NDVI foi aplicada a composição falsa-cor para identificar as feições escolhidas para análise (água, solo exposto, vegetação rasteira e vegetação arbórea). Em relação à proporção do corpo hídrico (classe água) verificou-se uma porcentagem de área de 4,6% da área total do buffer correspondendo à 31.973,4 km<sup>2</sup> no ano de 2003, sofrendo ligeira redução em 2013 para 4,5% e área de 31.855,5 km<sup>2</sup> e em 2023 foram detectados pelas imagens de satélite menos pixels de área, contabilizando 2,8%. As áreas de solo exposto no ano de 2003 totalizaram 12,6% do total do *buffer* com área de 88.160,4 km<sup>2</sup> em 2003, e em 2013 foi constatada uma diminuição para 67.905 km<sup>2</sup> (9,6%). Já em 2023 as áreas com solo exposto voltaram a aumentar totalizando 85.451,4 km<sup>2</sup> (12,1%). Na análise de vegetação rasteira obteve-se o total de 35% que corresponde a 245.116,8 km<sup>2</sup> da área compreendendo o *buffer* em 2003. Nos anos seguintes houve aumento para 36,9% em 2013 (260.939,7km<sup>2</sup>) e em 2023 esta classe totalizou 40% da área de Mata Ciliar (282.812,4 km<sup>2</sup>) mostrando um avanço nos estágios de sucessão vegetal. A vegetação arbórea correspondeu a 47,8% e área de 335.254,5 km<sup>2</sup> no ano de 2003. Ao analisar as porcentagens de área do buffer total da Mata Ciliar percebe-se que a vegetação arbórea se encontrava predominante, e em menor proporção a vegetação rasteira no ano de 2003. Em 2013 houve aumento de área de vegetação arbórea para 347.634 km<sup>2</sup> correspondendo a 49%, entretanto em 2023 ocorreram menos áreas desta classe perfazendo 318.470,4 e porcentagem de 45,1%. Há diferenças quanto à cobertura do solo entre as áreas do curso do Rio Aquidauana, porém o fato mais marcante foi a acentuada redução de áreas florestais no baixo curso, na região do Município de Miranda.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sensoriamento Remoto; NDVI; Cobertura da Terra

## ABSTRACT

The Aquidauana River is an important tributary of the right bank of the Miranda River, forming the so-called Miranda-Aquidauana Pantanal, which encompasses a vast biological diversity. The vegetation of the Riparian Forest assists in the infiltration and storage of rainwater into the aquifers and reduces the impacts of floods and inundations. Monitoring vegetation through remote sensing provides support for the development of natural resource management plans and the delimitation of priority conservation areas. This chapter aimed to analyze and quantify the land cover of the Aquidauana and Miranda River's Riparian Forest over three distinct years with a 10 year interval (2003, 2013, and 2023). The satellite images used were composed of two orbit-paths (226-074 and 225-074) corresponding to the location of the Aquidauana and Miranda River, acquired during the dry season (July to October). The Landsat 4-5 program was used for the year 2003, and for the years 2013 and 2023, Landsat 8-9 was used. In the processing stage, the satellite images were subjected to photointerpretation and supervised classification through the creation of mosaics. After calculating the NDVI vegetation index, false-color composition was applied to identify the chosen features for analysis (water, exposed soil, herbaceous vegetation, and tree vegetation). Regarding the proportion of the water body (water class), an area percentage of 4.6% of the total buffer area corresponding to 31,973.4 km<sup>2</sup> was found in 2003, with a slight reduction in 2013 to 4.5% and an area of 31,855.5 km<sup>2</sup>, and in 2023, fewer pixels of the area were detected by satellite images, accounting for 2.8%. The exposed soil areas in 2003 totaled 12.6% of the buffer's total with an area of 88,160.4 km<sup>2</sup> in 2003, and in 2013 there was a decrease to 67,905 km<sup>2</sup> (9.6%). However, in 2023, the areas with exposed soil increased again, totaling 85,451.4 km<sup>2</sup> (12.1%). In the analysis of herbaceous vegetation, a total of 35% corresponding to 245,116.8 km<sup>2</sup> in the buffer area was obtained in 2003. In the following years, there was an increase to 36.9% in 2013 (260,939.7 km<sup>2</sup>), and in 2023, this class totaled 40% of the Riparian Forest area (282,812.4 km<sup>2</sup>), showing an advance in the stages of vegetation succession. The tree vegetation corresponded to 47.8% and an area of 335,254.5 km<sup>2</sup> in 2003. When analyzing the area percentages of the total buffer of the Riparian Forest, it is observed that the tree vegetation was predominant, and in smaller proportion was the herbaceous vegetation in 2003. In 2013, there was an increase in the tree vegetation area to 347,634 km<sup>2</sup>, corresponding to 49%, however, in 2023, there were fewer areas of this class totaling 318,470.4 and a percentage of 45.1%. There are differences in soil cover between the areas along the course of the Aquidauana and Miranda River, but the most striking fact was the reduction in forest areas in the lower course, corresponding to the region of the Municipality of Miranda.

**KEYWORDS:** Remote Sensing; NDVI, Land Cover.

### 3.1. INTRODUÇÃO

Dentre as áreas protegidas pelas leis brasileiras, as matas ciliares se enquadram na categoria de áreas de preservação de permanente, pois promovem a manutenção e a qualidade dos recursos hídricos, agindo diretamente na retenção de sedimentos evitando assim o assoreamento das margens dos rios, atuando na estabilização dos terrenos, e servem de abrigo e fonte de alimentação para a fauna terrestre e aquática (JUSTINI et al., 2013). A vegetação auxilia na infiltração e armazenamento da água da chuva para os lençóis freáticos e diminui impactos de enchentes ou inundações (CASTRO et al., 2017).

Nos territórios que abrangem o Rio Aquidauana e Miranda são observadas características que possuem grandes riquezas biogeográficas por abrigar os biomas do Cerrado e do Pantanal, que são ecossistemas muito importantes para a biodiversidade do Brasil. Contudo, foi constatado uma diminuição da existência de corpos hídricos na região do Pantanal, de 22,82% em 1987, para 11,70% em 2012. Estes dados foram obtidos em Unidades de Conservação do Município de Aquidauana (RPPNs Fazendinha, Santa Sofia, Rio Negro e Parque Estadual do Pantanal do Rio Negro) (AYACH et al., 2014). Estas áreas de preservação constituem-se como fator primordial para a manutenção da biodiversidade da flora e fauna, tendo em vista que os ciclos das cheias do Pantanal são responsáveis por promover condições de existência para diversas espécies.

O Rio Aquidauana é um importante afluente da margem direita do Rio Miranda, formando o chamado Pantanal de Miranda-Aquidauana, compreendendo vasta diversidade biológica (OLIVEIRA et al., 2009). As características geomorfológicas da Sub Bacia Hidrográfica do Rio Aquidauana se estabelecem em áreas de planície e áreas de planalto, compreendidas sobre as planícies pantaneiras e a Serra de Maracaju. O alto curso e uma parte do médio curso pertencem ao domínio do Cerrado. Já o baixo e parte do médio curso do rio estão inseridos no Pantanal Sul-mato-grossense (JOIA et al., 2018). Segundo Menecozi (2015) suas nascentes estão localizadas nas áreas de planalto e, quando são registrados altos volumes de chuva, o material erodido das partes altas do rio é transportado para a planície pantaneira, contribuindo com o assoreamento do canal.

Segundo Fernandes et al. (2015) há diversos registros de ocorrências de enchentes e inundações nas cidades de Anastácio e Aquidauana, pois, possuem parte

de sua malha urbana estabelecida na várzea do Rio Aquidauana e córregos subjacentes, sendo assim, apresentam-se riscos socioambientais nestas áreas (BEZERRA; CARVALHO, 2022).

O predomínio de altas declividades a montante e de baixas declividades a jusante, torna o baixo e médio curso vulneráveis a eventos climáticos extremos, sobretudo nos processos de precipitação, infiltração e percolação, recaindo principalmente sobre as cidades de Anastácio e Aquidauana (JOIA et al., 2018). Além disso, com o aumento da urbanização e da agricultura representada pelas lavouras temporárias e pela pecuária de corte e leite no alto curso da bacia, são gerados impactos ambientais em decorrência destas atividades, pois, são afetadas as fontes alimentadoras do canal principal, causando implicações no médio e baixo curso do rio.

O monitoramento da dinâmica espaço-temporal da vegetação natural ou de cultivos agrícolas, através de imagens de satélite, vem crescendo a cada década (CORDEIRO et al., 2017), pois o tratamento das imagens permite observar o padrão de resposta da vegetação, sendo assim, são fontes de informações representativas da variabilidade espacial, em diversas escalas. Desta forma, oferece subsídios à elaboração de planos de manejo dos recursos naturais e à delimitação de áreas prioritárias para a conservação.

O uso dos SIG's (sistemas de informações geográficas) são aliados no planejamento e monitoramento do uso do solo e da cobertura vegetal, por se tratarem de ferramentas com alta capacidade de armazenamento de informações bem como a manipulação e armazenamento de dados (CAMPOS et al., 2015). O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) permite a coleta e a representação de dados de forma remota, ou seja, não é necessário o contato direto com a região estudada (MINATTI et al., 2023). O NDVI é comumente utilizado para investigar variações na temperatura da superfície da terra (LST – *Land Surface Temperature*) que possui relação direta com a dinâmica da vegetação (BARI et al., 2021).

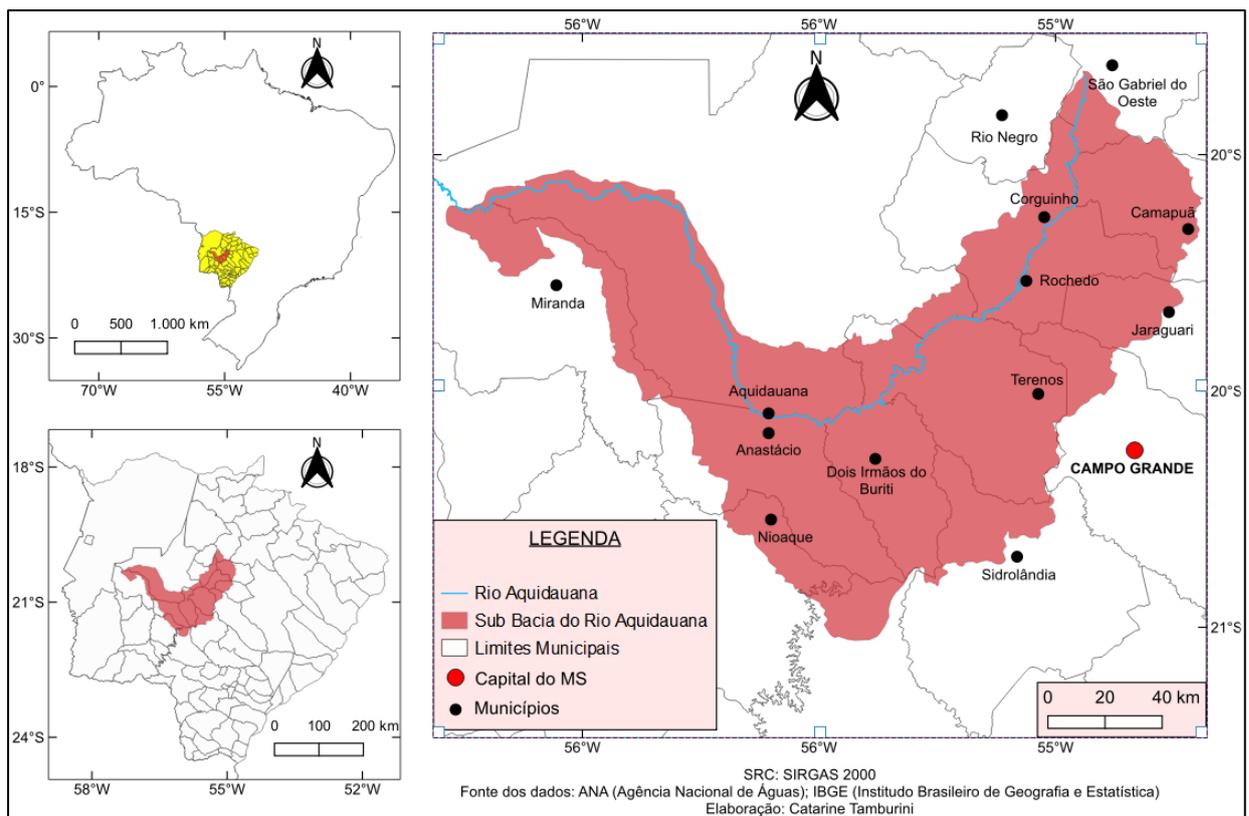
Objetivou-se a partir deste capítulo realizar a análise multitemporal da cobertura do solo da Mata Ciliar do Rio Aquidauana e de parte do Rio Miranda em três anos distintos, com o intervalo de 10 anos (2003, 2013 e 2023). Também buscou-se quantificar as classes de cobertura do solo para compreender as principais alterações que sucederam ao longo deste recorte temporal. Foram elaborados mapas temáticos com a finalidade de visualização das mudanças em três cursos do rio (alto, médio e baixo) permitindo uma interpretação a respeito destas áreas.

## 3.2. METODOLOGIA

### 3.2.1. Área de Estudo

O Rio Aquidauana nasce numa altitude de aproximadamente 630 metros, no município de São Gabriel do Oeste e percorre o vale formado pelas elevações das escarpas da serra de Maracaju (JOIA et al., 2018) (Figura 5). Em seu percurso abrange as cidades de Corguinho, Rochedo, Aquidauana e Anastácio, e os distritos de Baianópolis (Corguinho), Palmeiras (Dois Irmãos do Buriti), Piraputanga e Camisão (ambos de Aquidauana) (MENECOZI, 2015). Parte significativa do seu trajeto encontra-se na borda sudeste do Pantanal (FACINCANI et al., 2006) e deságua no Rio Miranda, percorrendo uma extensão de cerca de 620 km (SEMAC-MS, 2011).

Figura 5 - Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Aquidauana.



As altitudes no leque do Aquidauana variam de 140m no seu ápice a 90m na sua base, onde coalesce com as planícies dos rios Miranda e Negro, dando origem a uma área muito plana, frequentemente alagada (FACINCANI et al., 2006). Os mesmos autores apontam que desde o Pleistoceno o rio vem construindo no Pantanal, um

imenso leque aluvial, sendo visíveis paleocanais na superfície, muitos dos quais permanecem ativos durante as cheias escoando as águas pluviais para as partes distais do sistema.

Devido ao processo de urbanização, o Rio Aquidauana já sofreu muitas interferências antrópicas, como a implantação de areeiro, despejo de esgoto, implantação de pesqueiros, que culminaram na alteração de sua vazão, comprometendo a qualidade do recurso hídrico (OLIVEIRA et al., 2019). No médio e alto curso do Rio Aquidauana observa-se um aumento das áreas com predomínio de monoculturas de soja, cana-de-açúcar e eucalipto. Já no baixo curso houve expansão das pastagens plantadas em substituição às áreas de cobertura vegetal natural do Cerrado (JOIA et al., 2018).

Nota-se que ocorre uma redefinição da função do espaço devido à expansão de áreas voltadas para produção agropecuária consolidando-se na especialização no agronegócio, principalmente pela produção de carne bovina e na atividade turística, representada pelo ecoturismo. Essas intervenções antrópicas influenciam na sustentabilidade do sistema, desencadeando riscos, dilemas ambientais e repercutindo negativamente nas áreas urbanas, quando atingidas por extremos climáticos (FERNANDES E ANUNCIAÇÃO, 2018).

Segundo Köppen, o clima da região do Município de Aquidauana é caracterizado como tipo Aw (tropical úmido), com volumes pluviométricos médios anuais de 1.200 mm e temperaturas máximas e mínimas de 33 e 19 °C, respectivamente (SCHIAVO et al., 2010).

Foi analisada a vegetação de Mata Ciliar do Rio Aquidauana e de parte do Rio Miranda nos anos de 2003, 2013 e 2023. O critério de seleção das áreas estudadas foi: 1) áreas próximas às cidades e distritos no sentido a jusante do rio, devido ao fato de maiores pressões antrópicas ocorrerem nestas regiões; 2) áreas próximas ao rio que apresentam atividades agropecuárias, detectadas por recortes no campo em escala espacial realizado na plataforma Google Earth (Google Earth, 2023).

### **3.2.2. Aquisição e Processamento das Imagens**

As imagens orbitais foram obtidas no site do Serviço Geológico dos Estados Unidos (*United States Geological Survey* – USGS, 2023) sendo compostas por duas órbitas-ponto (226-074 e 225-074) que correspondem à localização dos Rios

Aquidauana e Miranda. Foram utilizadas imagens de satélite do Programa Landsat, com 30 metros de resolução espacial para a análise da Mata Ciliar por possuir um amplo acervo de imagens disponíveis de forma gratuita (DUAILIBI et al., 2022).

O sistema de referência de coordenadas (SRC) utilizado foi o SIRGAS 2000 UTM 21S oficial para dados cartográficos no Brasil. Para as análises do ano de 2003, foram adquiridos os dados do Landsat 5 (sensor MSS - *Multispectral Scanner* e TM - *Thematic Mapper*), para o ano de 2013 foram obtidos os dados do Landsat 8 (sensor OLI - *Operational Land Imager* e TIRS - *Thermal Infrared Sensor*), e para as análises referentes ao ano de 2023 foram utilizados os dados do Landsat 9 (sensor OLI-2 - *Operational Land Imager* e TIRS - *Thermal Infrared Sensor*). As informações foram organizadas em tabelas e mapas descritivos para obter a comparação dos resultados referentes à cobertura do solo, nos três períodos analisados.

Os arquivos *shapefile* do Rio Aquidauana e de parte do Rio Miranda foram adquiridos no *site* da Agência Nacional de Águas (ANA) e inserido como uma camada vetorial, para ser gerado o *buffer* que corresponde a área da Mata Ciliar. O processamento das imagens foi realizado no *software* livre QGIS Hannover 3.28 (QGIS Development Team, 2023) onde, inicialmente, foram confeccionados os mosaicos através do empilhamento das bandas 4 (infravermelho Próximo - NIR), 5 (infravermelho Médio 1 - SWIR 1) e 3 (vermelho) para ressaltar a vegetação na cor vermelha em que o olho humano identifica mais tonalidades. Este processo foi realizado para as análises do ano de 2003 (Landsat 5 sensor TM e MSS). Nos anos de 2013 e 2023 (Landsat 8 sensor OLI/TIRS e Landsat 9 sensor OLI-2/TIRS) o empilhamento foi realizado entre as bandas 5 (infravermelho Próximo - NIR), 6 (Infravermelho Médio 1 - SWIR 1) e 4 (vermelho - RED).

Segundo Fu e Burgher (2015) o NDVI é baseado no diferencial de refletância que as plantas exibem para diferentes espectros de radiação solar. A radiação é fortemente absorvida pelas folhas fotossinteticamente ativas, devido às estruturas internas do mesófilo na folha espelharem a radiação para evitar o superaquecimento da planta, sendo assim, essa reflectância pode ser captada na região do infravermelho próximo. Quando uma planta está desidratada, doente, dentre outros fatores, ela absorve uma maior quantidade de luz infravermelha próxima, enquanto em plantas saudáveis essa luz é refletida (MINATTI et al., 2023).

A equação geral do NDVI é representada por:

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{RED}}{\text{NIR} + \text{RED}}$$

Os valores são obtidos através da razão entre a diferença e a soma das reflectâncias no infravermelho próximo e no vermelho, onde o RED é a banda do vermelho e o NIR a banda do infravermelho próximo. (ROUSE JR et al., 1974), e podem variar entre -1 e 1. São positivos quando os alvos são rochas, solos descobertos e vegetação. De acordo com Minatti et al. (2023) o fator de pluviometria satura os valores de NDVI pois a vegetação se encontra mais exuberante, dificultando a separação das classes de vegetação, e por este motivo são utilizadas para análises imagens durante os períodos de seca. Solos descobertos e rochas refletem o vermelho e o infravermelho próximo quase na mesma intensidade, logo, o NDVI aproxima-se de zero (CORDEIRO et al., 2017). Deste modo, maiores valores de NDVI estão associados a maiores densidades de vegetação saudável.

Alvos que refletem mais intensamente na porção do vermelho em comparação com o infravermelho próximo (nuvens, corpos d'água ou neve) apresentam NDVI negativo. Os fatores que afetam os dados da banda espectral também terão impactos nos cálculos do NDVI. Basicamente, as observações de satélite estão associadas a dados espaciais, temporais, radiométricos e fatores espectrais (FAN E LIU, 2018).

As imagens de satélite foram submetidas a fotointerpretação após a elaboração dos mosaicos. Em seguida, foi calculado do índice de vegetação NDVI e aplicada a composição falsa-cor para identificar as feições escolhidas para a análise (água, solo exposto, vegetação rasteira e vegetação arbórea). Para cada tipo de cobertura foram criados cinco polígonos para encontrar os valores mínimos e máximos das feições.

### **3.2.3. Análise dos Dados**

Cada alvo na superfície terrestre apresenta um comportamento e assinatura espectral diferentes, devido à capacidade de absorver, refletir ou transmitir a radiação eletromagnética de acordo com as propriedades do objeto (NETA et al., 2018). Desta forma, nota-se que a assinatura espectral permite determinar aspectos dos alvos, caracterizando-os pela sua forma, intensidade e a localização em cada banda de absorção. Portanto, a partir desta caracterização, é possível aplicar índices de

monitoramento pela extração de informações intrínsecas dos alvos, tais como características da estrutura celular, espessura, quantidade de água da vegetação e nível de biomassa (ALCÂNTARA, 2016).

Na Figura 6, estão as chaves de interpretação utilizadas na etapa das análises quanto aos alvos e seu comportamento espectral. A partir da chave de interpretação foi realizada a separação das classes de cobertura, adaptadas de Paranhos Filho (2000).

Figura 6 - Chave de Interpretação da imagem Landsat 5 na composição colorida 4R5G3B.

	Latossolos		Pradarias secas e baixas
	Floresta		Solos Orgânicos
	Cerradão: matas menos densas		Lagoas e Rios
	Cerrado: vegetação arbórea - arbustiva		Áreas Úmidas
	Solo exposto ou afloramentos rochosos		Pradaria Verde
	Pradaria: campos e pastos baixos		Campo Sujo: pradarias com vegetação arbustiva de pequeno porte e esparsa.
	Pradaria: campos secos mais altos (mais de 40 cm de altura), podendo ocorrer a presença de arbustos secos.		

Fonte: Adaptado de Paranhos Filho (2000).

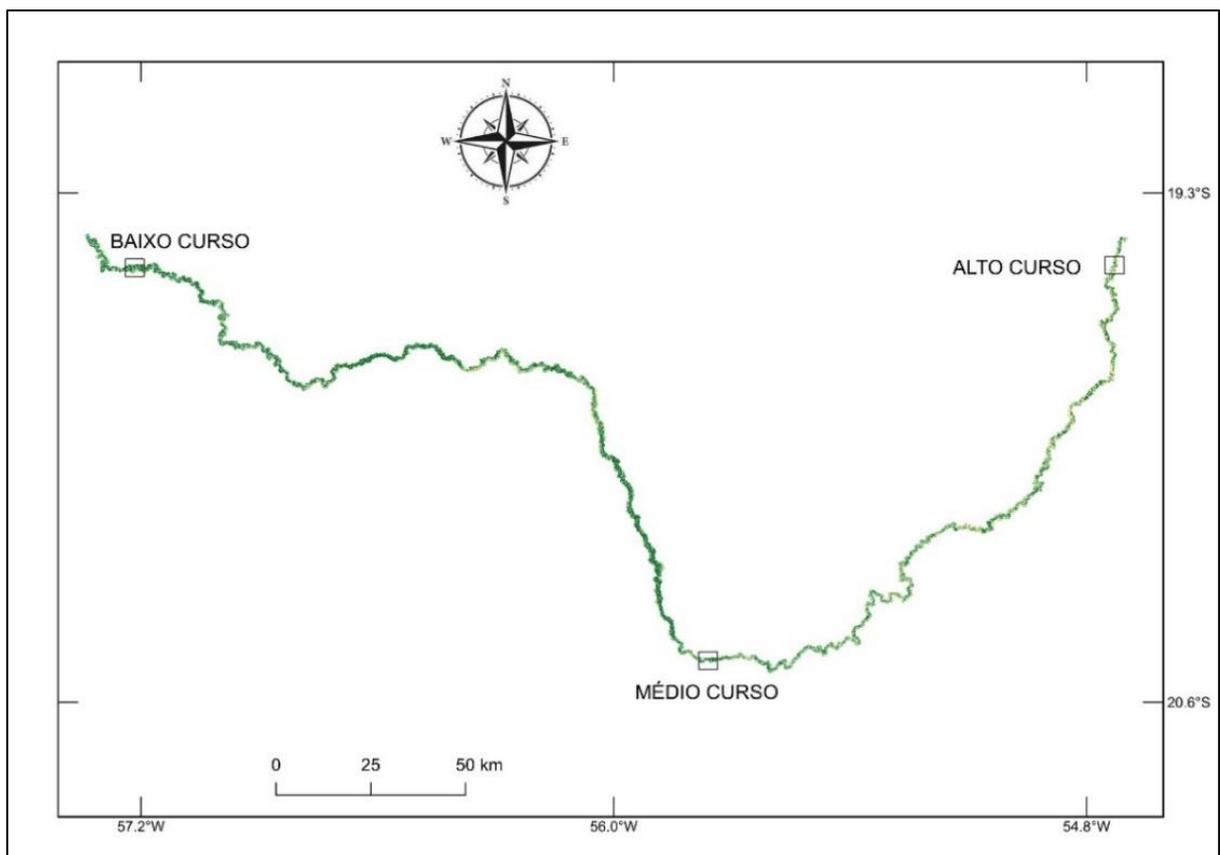
As análises se procederam em três períodos distintos com o intervalo de 10 anos (2003, 2013, 2023), com a finalidade de detectar as principais alterações ocorridas ao longo deste período. O critério de escolha das imagens orbitais foram a presença de cobertura de nuvens em 0% (*land cloud cover*), e imagens disponíveis entre os meses de julho a outubro (estação seca). As datas de aquisição das imagens são as dispostas a seguir:

- Landsat 5: 23/09/2003 (órbita-ponto: 226-074) e 31/08/2003 (órbita-ponto: 225-074) (USSG, 2023);
- Landsat 8: 01/08/2013 (órbita-ponto: 226-074) e 27/09/2013 (órbita-ponto: 225-074) (USSG, 2023);

- Landsat 9: 22/09/2023 (órbita-ponto: 226-074) e 15/09/2023 (órbita-ponto: 225-074) (USSG, 2023);

Um *buffer* com dimensões de 500 metros para cada margem do arquivo *shapefile* dos cursos hídricos foi gerado para realizar as medições de área para cada tipo de cobertura analisada (água, solo exposto, vegetação rasteira e vegetação arbórea) permitindo assim quantificar as mudanças dentro deste *buffer* (Mata Ciliar). Foi realizado um recorte de área de 25.000 m<sup>2</sup> através da geração de polígonos para melhor visualização e discussão dos dados de modo a abranger três áreas distintas ao longo do curso do rio (alto curso, médio curso e baixo curso) como mostra a Figura 7, para cada ano analisado (2003, 2013 e 2023)

Figura 7 - Áreas de recorte da extensão do Rio Aquidauana e do Rio Miranda.



### 3.3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir da análise multitemporal da Mata Ciliar do Rio Aquidauana e do Rio Miranda através da interpretação dos dados de sensoriamento remoto foi possível quantificar as áreas de cobertura que foram separadas em quatro classes (água, solo exposto, vegetação rasteira e vegetação arbórea-arbustiva) nos três anos considerados, por meio da classificação supervisionada do NDVI das imagens de satélite do Programa Landsat.

Na Tabela 3 são apresentados os valores de NDVI e os valores mínimos, médio e máximos para os anos de 2003, 2013 e 2023 das imagens orbitais analisadas.

Tabela 3 - Valores de NDVI das imagens Landsat em cada ano analisado.

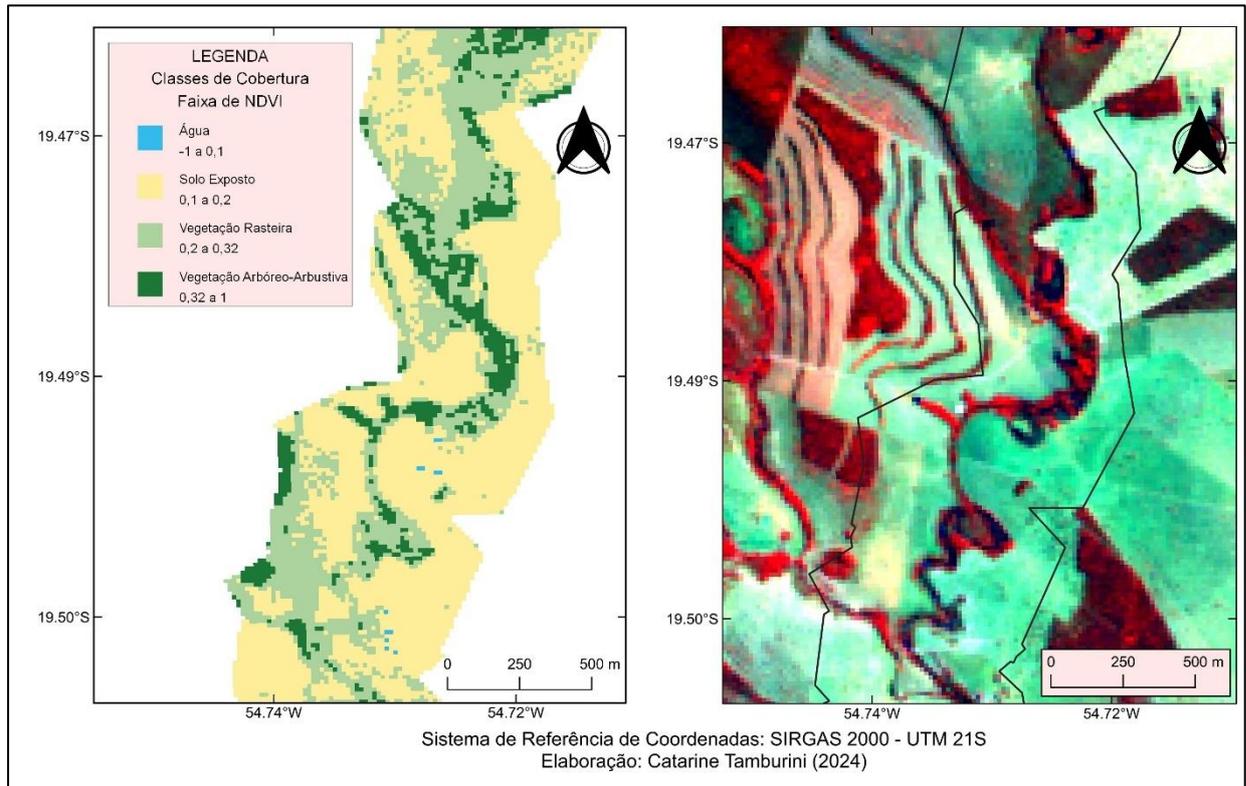
NDVI	2003		2013		2023	
	Path/Row					
	226-074	225-074	226-074	225-074	226-074	225-074
<b>Máximo</b>	0.99	0.99	0.55	0.56	0.57	0.59
<b>Médio</b>	0.27	0.22	0.28	0.26	0.31	0.31
<b>Mínimo</b>	-0.99	0.99	-0.15	-0.17	-0.11	-0.24
<b>Desvio Padrão</b>	0.09	0.08	0.07	0.07	0.06	0.08

#### 3.3.1. Análise dos Dados da Cobertura Vegetal no Ano de 2003

Os valores de NDVI foram ajustados para obter uma melhor separação entre as classes e desta forma foi possível observar as variações que ocorrem entre as três áreas (alto, médio e baixo curso) em relação à cobertura do solo.

Na Figura 8 é possível observar grandes áreas de solo exposto, na ordem de 56%, devido às extensas áreas descritas por Joia et al. (2018) representadas pela agricultura temporária na produção de soja e milho e pela pecuária de leite e de corte. A vegetação rasteira (32,6%) se encontrava predominante em relação à vegetação arbórea-arbustiva (10,9%). Os polígonos referentes à água estavam pouco visíveis (0,16%). É possível que um dossel arbóreo mais fechado possa impedir que estes pixels sejam detectados ou até mesmo pelo excesso de sedimentos presentes no corpo hídrico oriundos de atividades agrícolas, ou ainda a sedimentação natural dos latossolos vermelho-escuro que ocorrem nestas áreas.

Figura 8 - Alto curso do Rio Aquidauana (2003).



Na Tabela 4 são apresentados os valores obtidos dentro da área dos polígonos de análise quanto às áreas totais encontradas e porcentagens de cada classe de cobertura referentes ao ano de 2003.

Tabela 4 - Valores de área e porcentagem para cada classe de cobertura nos três cursos analisados (2003).

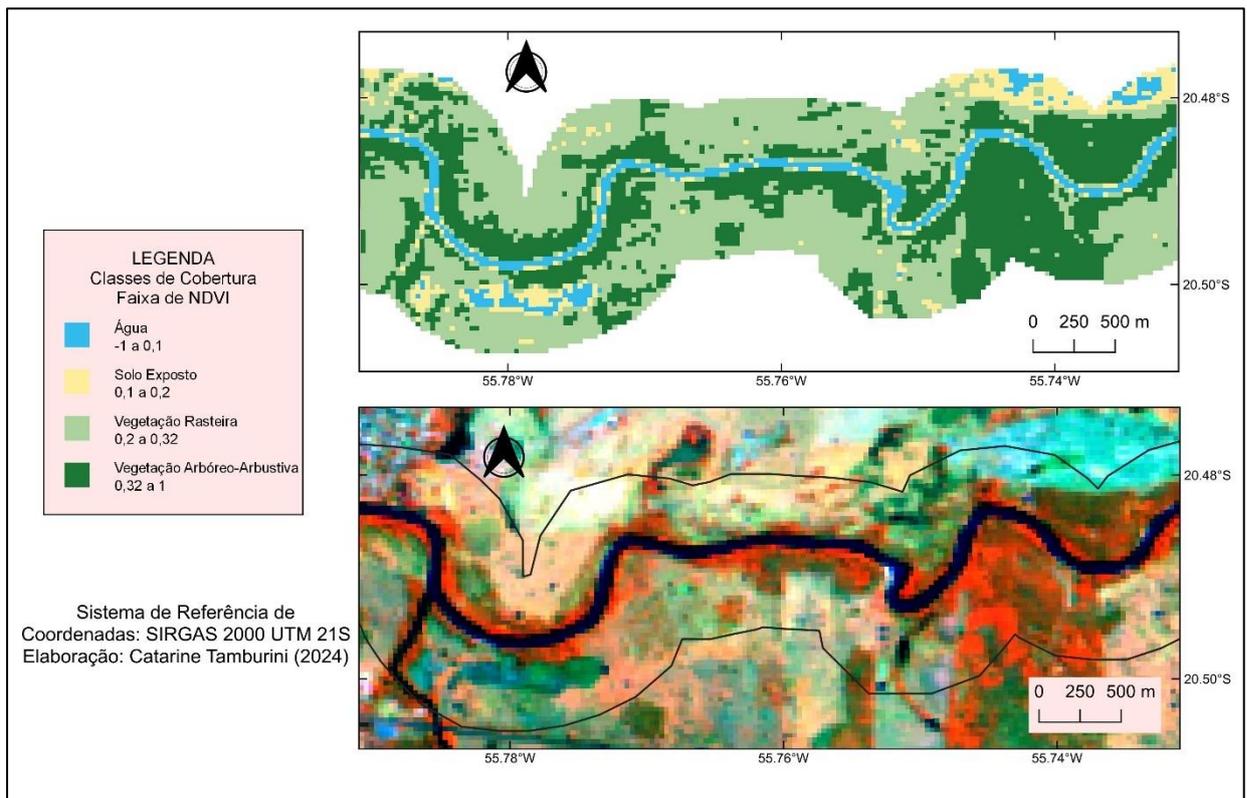
<b>CLASSES DE COBERTURA</b>	<b>Alto Curso (km<sup>2</sup>/%)</b>	<b>Médio Curso (km<sup>2</sup>/%)</b>	<b>Baixo Curso (km<sup>2</sup>/%)</b>
<b>Água</b>	10,8 0,16%	451,8 6,83%	635,4 5,79%
<b>Solo Exposto</b>	3.853,8 56,28%	423,9 6,41%	173,7 1,58%
<b>Vegetação Rasteira</b>	2.236,5 32,66%	3.318,3 50,2%	2.306,7 21,02%
<b>Vegetação Arbóreo-Arbustiva</b>	746,1 10,9%	2.416,5 36,56%	7.858,8 71,61%

No médio curso do Rio Aquidauana (Figura 9) predominou a vegetação rasteira na ordem de 50,2%, seguido da vegetação arbóreo-arbustivo perfazendo 36,6%. Este polígono foi retirado próximo à malha urbana do Município de Aquidauana, onde o curso

do Rio é bastante expressivo em relação à sua largura e os pixels relativos à classe “água” totalizaram 6,8% da área do *buffer* da Mata Ciliar e os solos expostos 6,4%.

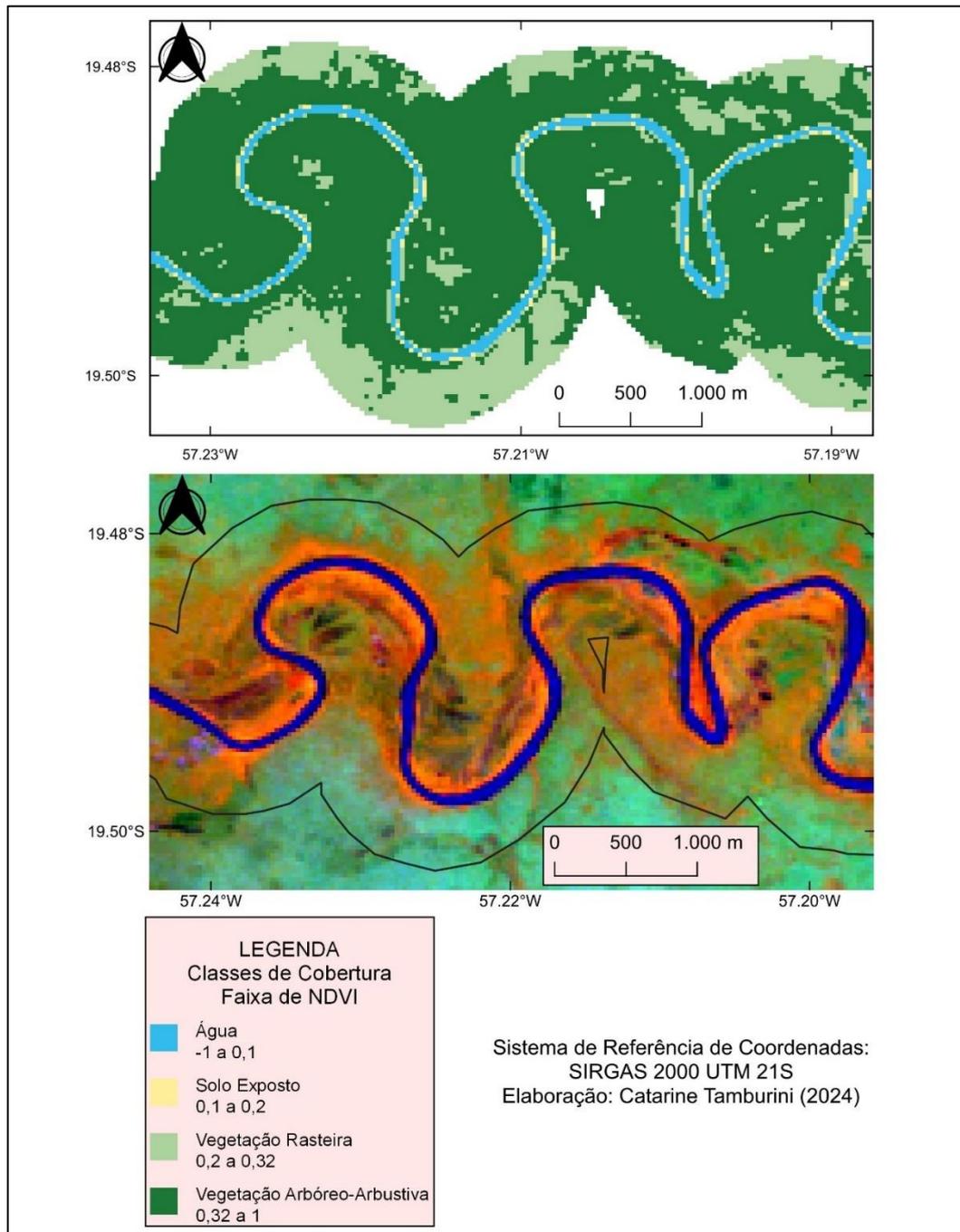
Segundo Zaroni et al. (2011) e Embrapa (2011) a área do Município de Aquidauana apresenta um alto grau de ação antrópica das terras, onde, neste período, mais de 75% eram cultivadas com pastagens e/ou com agricultura, enquanto apenas 25% apresentavam certo grau de preservação.

Figura 9 - Médio curso do Rio Aquidauana (2003).



Na área do baixo curso do Rio Miranda, a vegetação arbórea-arbustiva se encontrava na ordem de 71,6% e a vegetação rasteira em 21%. É possível visualizar na Figura 10 a atividade dos meandros do corpo hídrico que totalizaram 5,7%. Dentre as áreas analisadas neste período a classe de solo exposto foi a menos expressiva totalizando 1,5%, podendo assim atribuir ao baixo curso maior preservação da vegetação e florestas nativas no entorno da Mata Ciliar em 2003.

Figura 10 - Baixo curso do Rio Miranda (2003).



### 3.3.2 Análise dos Dados da Cobertura Vegetal no Ano de 2013

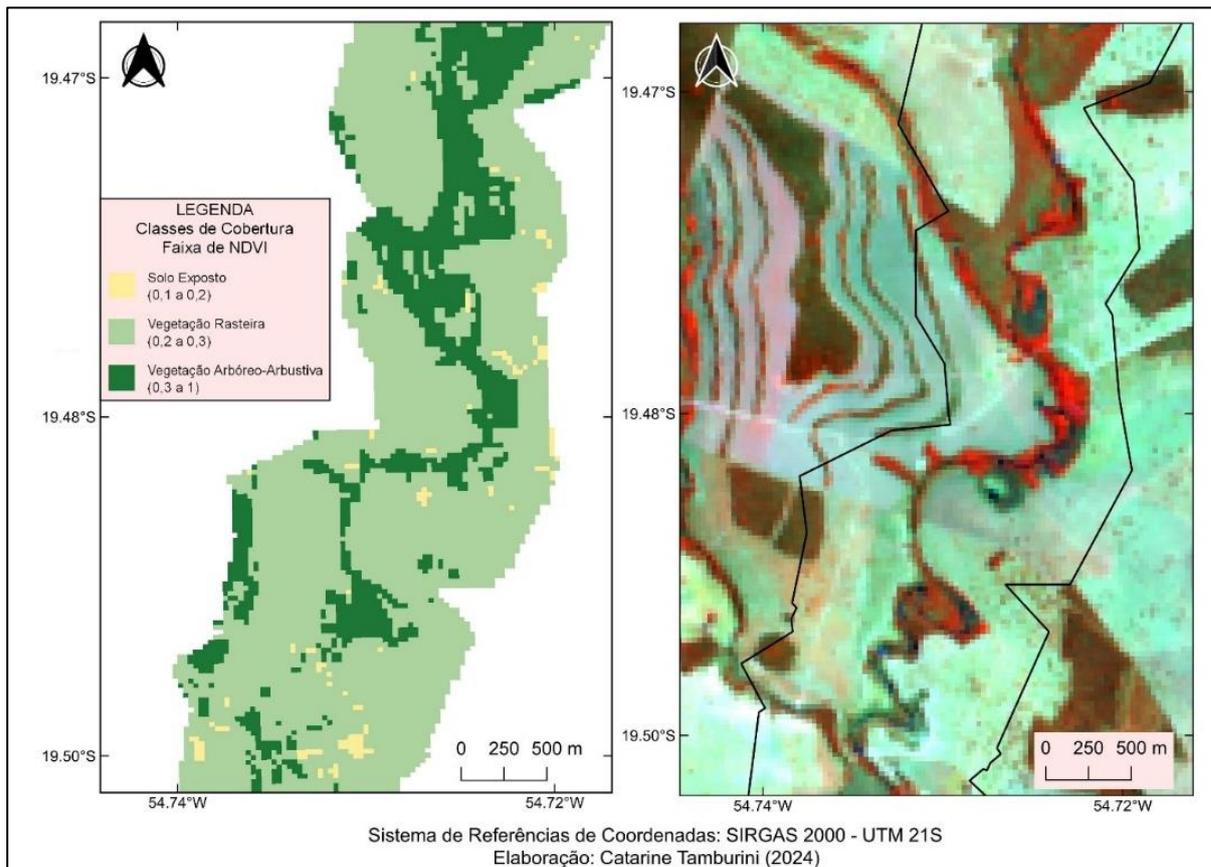
Na Tabela 5 são apresentados os valores de área e porcentagem para cada classe de cobertura do solo do ano de 2013, dentro dos polígonos selecionados do *buffer* do Rio Aquidauana e do Rio Miranda.

Tabela 5 - Valores de área e porcentagem, para cada classe de cobertura do solo nos três cursos analisados (2013).

CLASSES DE COBERTURA	Alto Curso (km <sup>2</sup> /%)	Médio Curso (km <sup>2</sup> /%)	Baixo Curso (km <sup>2</sup> /%)
Água	-	315 4,77%	708,3 6,45%
Solo Exposto	145,8 2,13%	292,5 4,42%	1.696,5 15,46
Vegetação Rasteira	5.137,2 75,03%	2597,4 39,29%	2.964,6 27,01%
Vegetação Arbórea- Arbustiva	1.564,2 22,84%	3405,6 51,52%	5.605,2 51,07%

Neste período, no alto curso não foi possível visualizar os pixels referentes à classe “água”, entretanto, a quantidade de áreas com solo exposto diminuiu em relação ao ano de 2003, sendo substituídas, em sua maior parte pela vegetação rasteira (76%), como pode ser observado na Figura 11.

Figura 11 - Alto curso do Rio Aquidauana (2013).



A classe de vegetação arbórea-arbustiva também aumentou de 10,9% em 2003 para 22,8% em 2013, desta forma, ocorreu a regeneração da vegetação pela conversão de solo exposto em vegetação rasteira e arbórea-arbustiva, demonstrando a capacidade dos ambientes naturais se recuperarem em termos de sucessão ecológica.

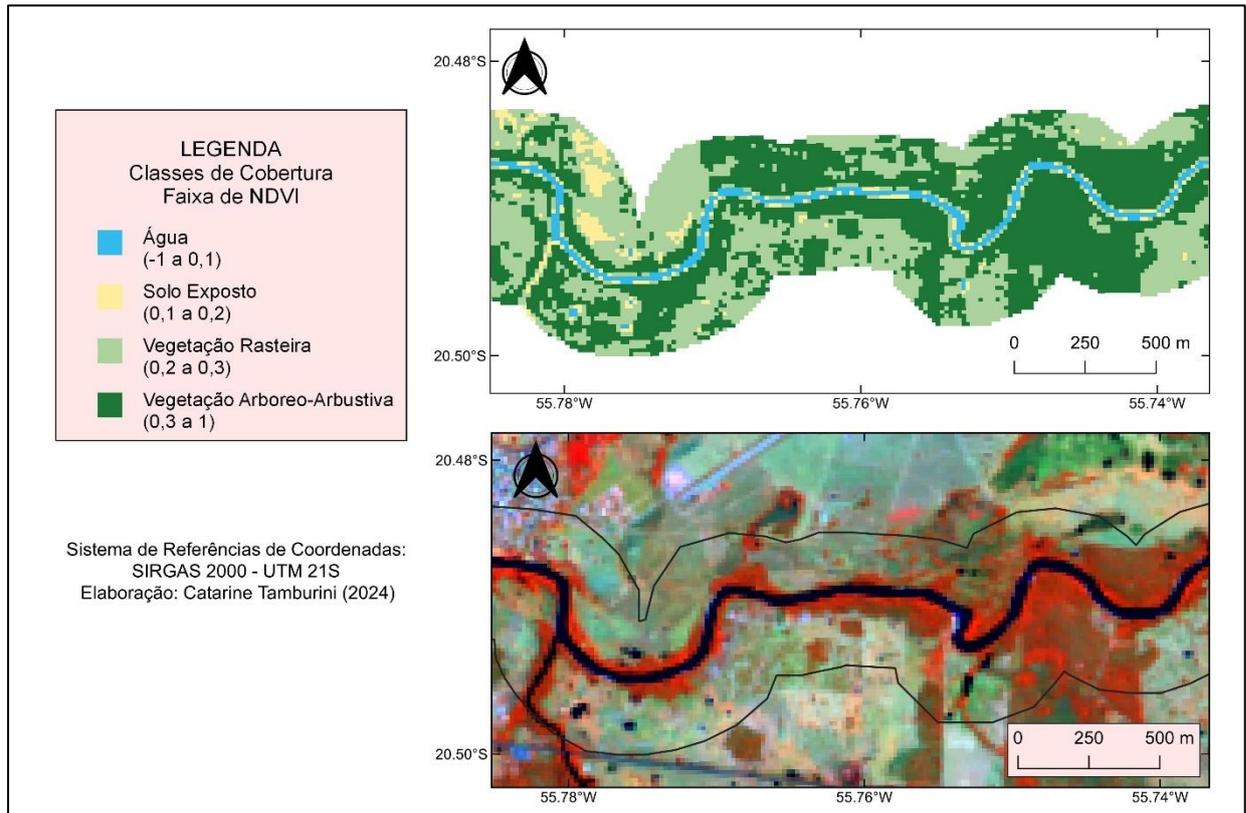
De Lima Fernandes et al. (2015), ao estudarem a vulnerabilidade socioespacial da Bacia do Rio Aquidauana, relataram que a dinâmica fluvial é influenciada pelo freamento das águas a jusante (baixo curso), daí se dá a importância de manter as áreas de Mata Ciliar. Desta forma, o aumento de velocidade e volume da água se manifestam nas áreas urbanas dos municípios de Aquidauana e Anastácio devido à baixa declividade dos terrenos, que se localizam dentro da planície de inundação na faixa direita do Rio Aquidauana, apresentando altitudes de cerca de 136 m.

A concentração do escoamento superficial sofre alteração, ocasionada pela intensidade da chuva, na bacia hidrográfica do Aquidauana e, assim, as inundações vêm apresentando magnitudes classificadas como média no mês de janeiro do ano de 2010, excepcional no mês de março do ano de 2011, pequena no mês de junho de 2012, grande no mês de abril do ano de 2013 e novamente uma magnitude média no mês de dezembro do ano de 2014 (DE LIMA FERNANDES et al., 2015).

A Mata Ciliar das cabeceiras do Rio Aquidauana foi degradada pela implantação de pastagens até as margens dos cursos d'água, e causaram problemas à qualidade dos recursos hídricos, com incidências de desbarrancamentos e assoreamentos (OLIVEIRA et al., 2022). Rodrigues et al. (2018) relataram que a proximidade entre os canais de drenagem e o entalhamento por eles realizados, além da alta declividade, faz com que as áreas apresentem uma vulnerabilidade natural elevada na APA Estrada Parque Piraputanga (área de proteção ambiental), que corresponde a 101,23 km<sup>2</sup>, e exercem grande influência no médio curso do Rio Aquidauana e no baixo curso do Miranda.

No médio curso pode-se observar na Figura 12 que houve um acréscimo de área referente à vegetação arbórea-arbustiva em relação ao ano de 2003 passando de 36% para 51% da área analisada. As áreas compostas por vegetação rasteira diminuíram de 50% em 2003 para 39% em 2013 neste recorte do *buffer*. A classe água apresentou porcentagem de área de 4,7% e solo exposto 4,4%, pouco menos que no ano de 2003 para as duas classes de cobertura, respectivamente.

Figura 12 - Médio curso do Rio Aquidauana (2013).



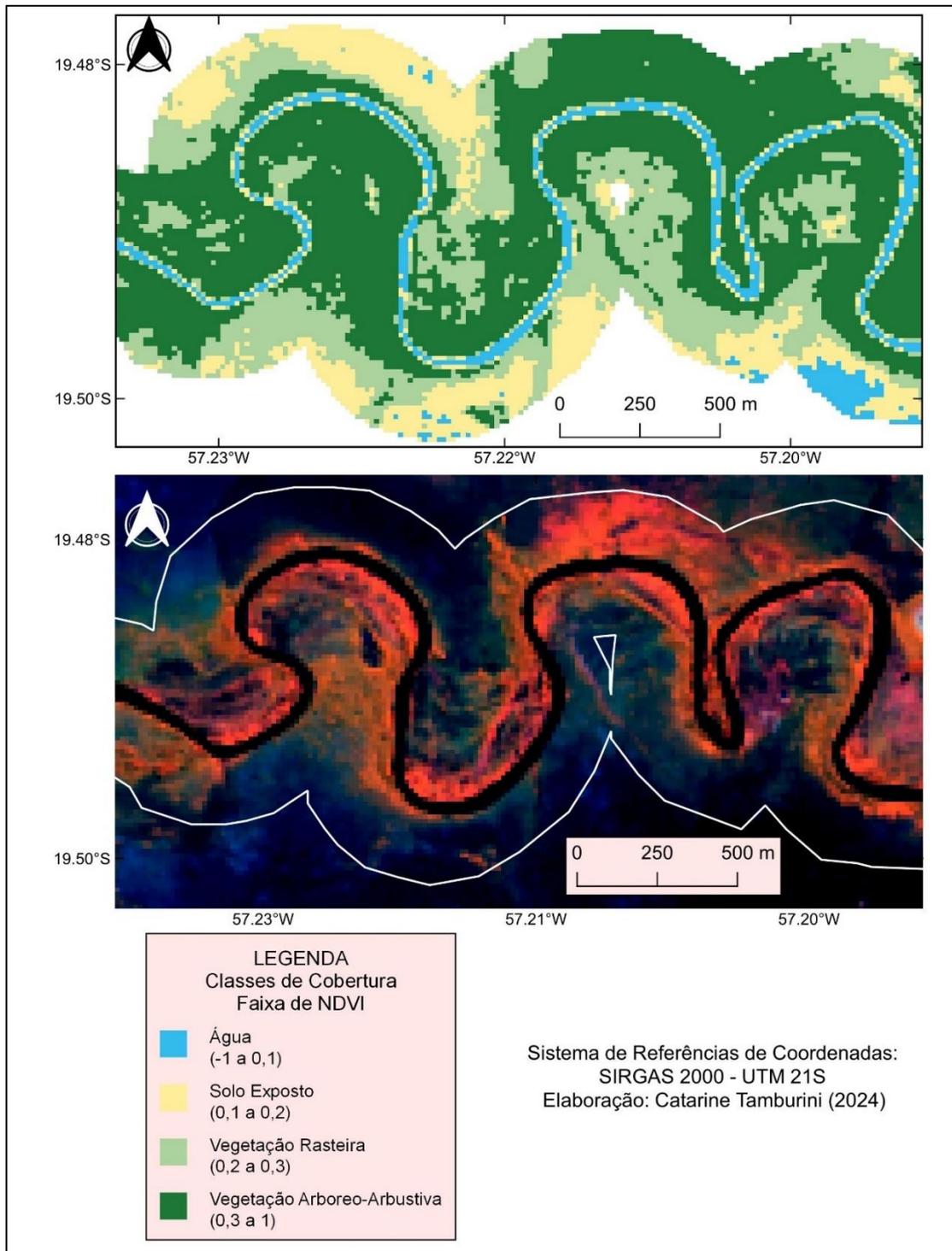
Lima et al. (2020) apontam que a aptidão agrícola da região exerce forte pressão sobre as paisagens nativas, levando à sua descaracterização e perda de qualidade, se não forem empregados métodos de conservação dos solos e respeitadas as áreas de preservação permanente e reservas legais.

Alguns aspectos devem ser discutidos em relação aos usos do solo e da água nesta região, onde Mendes et al. (2004) destacam que nas proximidades da cidade de Miranda, região do baixo curso, foi detectada uma intensa retirada de água para plantio de arroz nos domínios da planície pantaneira, onde existe evidência de salinização natural de solos, que pode ser agravada com a irrigação por inundação. Além disso um dos processos físicos mais preocupantes dentro do Pantanal é a erosão de várias cabeceiras de bacias, sendo o depósito desses sedimentos dentro da planície pantaneira (MENDES et al., 2004).

No baixo curso do Rio Miranda (Figura 13) a vegetação arbórea-arbustiva se encontrava em maior proporção, com total de 51% no polígono da área analisada, entretanto, houve redução de 21,5% de vegetação em relação a 2003 e também houve redução de vegetação rasteira, de cerca de 6%, na mesma área do baixo curso. Em

2013 a classe “água” obteve um aumento de 0,7% em relação a 2003, porém, a classe “solo exposto” apresentou acréscimo de 13,8% em relação ao mesmo período.

Figura 13 - Baixo curso do Rio Miranda (2013).



### 3.3.3 Análise dos Dados da Cobertura Vegetal no Ano de 2023

Na Tabela 6 são apresentados os valores de área e porcentagem para cada classe de cobertura do ano de 2023, dentro dos polígonos selecionados do *buffer* dos Rios Aquidauana e Miranda.

Tabela 6 - Valores de área e porcentagem, para cada classe de cobertura nos três cursos analisados (2023).

CLASSES DE COBERTURA	Alto Curso (km <sup>2</sup> /%)	Médio Curso (km <sup>2</sup> /%)	Baixo Curso (km <sup>2</sup> /%)
Água	-	268,2 4,06%	499,5 4,55%
Solo Exposto	1.371,6 20,03%	525,6 7,95%	670,5 6,11%
Vegetação Rasteira	3.822,3 55,82%	3.084,3 46,66%	4.358,7 39,72%
Vegetação Arbórea- Arbustiva	1.653,3 24,15%	2.732,4 41,33%	5.445,9 49,62%

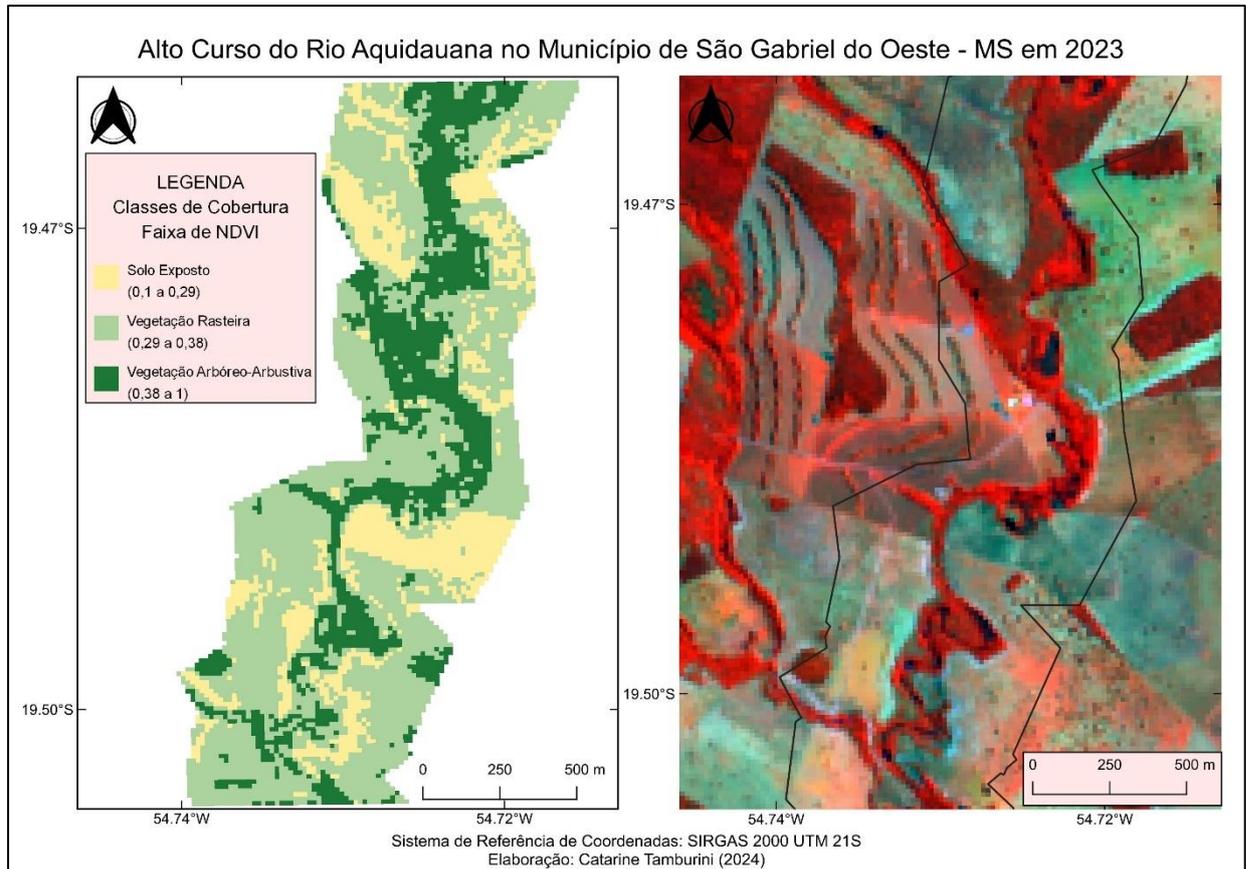
A classe “solo exposto” apresentou aumento de 17,8% em relação à análise de 2013, e a este fato cabe a discussão realizada por Mendes et al. (2004) ao abordarem os fatores que afetam a Bacia do Rio Miranda, e assim constatou que no município de São Gabriel do Oeste ocorrem os maiores impactos da agricultura e da suinocultura, devendo-se se tornar prioridade nas investigações relativas aos impactos da poluição do solo e da água. Ainda destacam que o terço superior da Bacia do Aquidauana está localizado na zona agrícola de atividade mais intensa, mais especificamente em suas cabeceiras, onde se observam processos erosivos no terreno.

Na análise da vegetação rasteira foi observada uma redução de área de 19,2% em relação ao ano de 2013, confirmando a conversão de áreas que estavam em recuperação para áreas de solo exposto. Já a vegetação arbórea-arbustiva obteve pequeno aumento de área de 1,3% em relação ao ano de 2013 na análise do alto curso do Rio Aquidauana. Oliveira et al. (2022) verificaram um decréscimo de florestas nativas de 1990 para 2020, em 5,14%, com maior concentração no período de 2005 a 2020 de 3,08% ao analisar as ações antrópicas no Município de São Gabriel do Oeste.

Em 2023, no alto curso do Rio Aquidauana, como demonstrado na Figura 14, a classe “água” não foi possível ser detectada pelo mesmo fator que do ano de 2013, podendo atribuir a este fato o excesso de sedimentação na água. Os sedimentos podem se comportar como vetores de transmissão de poluentes químicos até o curso d’água, em função da utilização descontrolada de fertilizantes, pesticidas, herbicidas e

outros, que comprometem a qualidade dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos (MENDES et al., 2004).

Figura 14 - Alto curso do Rio Aquidauana (2023).



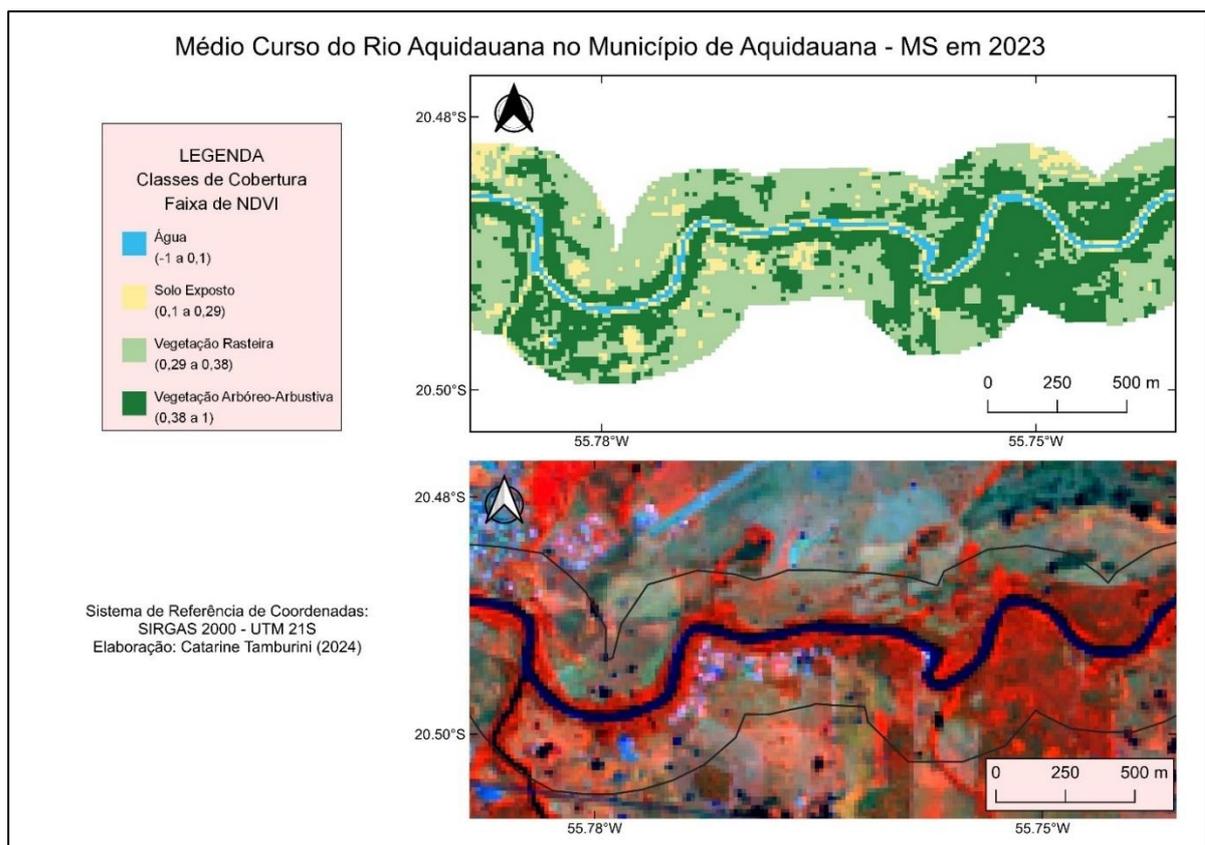
A vegetação rasteira obteve um aumento de 7,4% em relação à 2013, sendo importante em termos de sucessão ecológica, permitindo o avanço no estabelecimento de espécies nativas. A vegetação arbórea-arbustiva sofreu redução de 10,1%. Desta forma, houve decréscimo de florestas nativas explicando o aumento de solos expostos neste recorte do *buffer* da Mata Ciliar. De acordo com Rodrigues e Leite (2017) essa supressão de vegetação natural ocorre devido ao avanço da ocupação de áreas para implantação de pastagens.

Nas últimas décadas a vegetação nativa vem decrescendo, devido às atividades econômicas desenvolvidas no Município, predominando as atividades industriais de laticínios, frigoríficos, além das águas serem utilizadas para o abastecimento público da cidade de Aquidauana à jusante da bacia (Governo do Estado de Mato Grosso do Sul, 2011). Consequentemente estas atividades contribuem para o aumento de matéria

orgânica vegetal que acaba sendo depositada nos talwegues dos rios (DE LIMA FERNANDES et al., 2015).

No trabalho desenvolvido por Rodrigues et al. (2018) foi ressaltado que a classe de alta vulnerabilidade ocupa 47,84% da APA Estrada Parque de Piraputanga e corresponde a áreas com declividades entre 20 e 50%, e Plintossolos Argilúvico ou mesmo Latossolos Vermelho ou Gleissolos Háplico próximos ao Rio Aquidauana, onde há presença de pastagem e a vegetação nativa foi removida. No médio curso (Figura 15) houve pouca redução de área verificada para a classe “água” (0,7%), entretanto, foi verificado um aumento de 3,5% na classe “solo exposto”, devido aos processos de remoção da vegetação em decorrência da pecuária bovina de caráter extensivo, inclusive em áreas que se caracterizam como Áreas de Preservação Permanente (APP) (RODRIGUES et al., 2018).

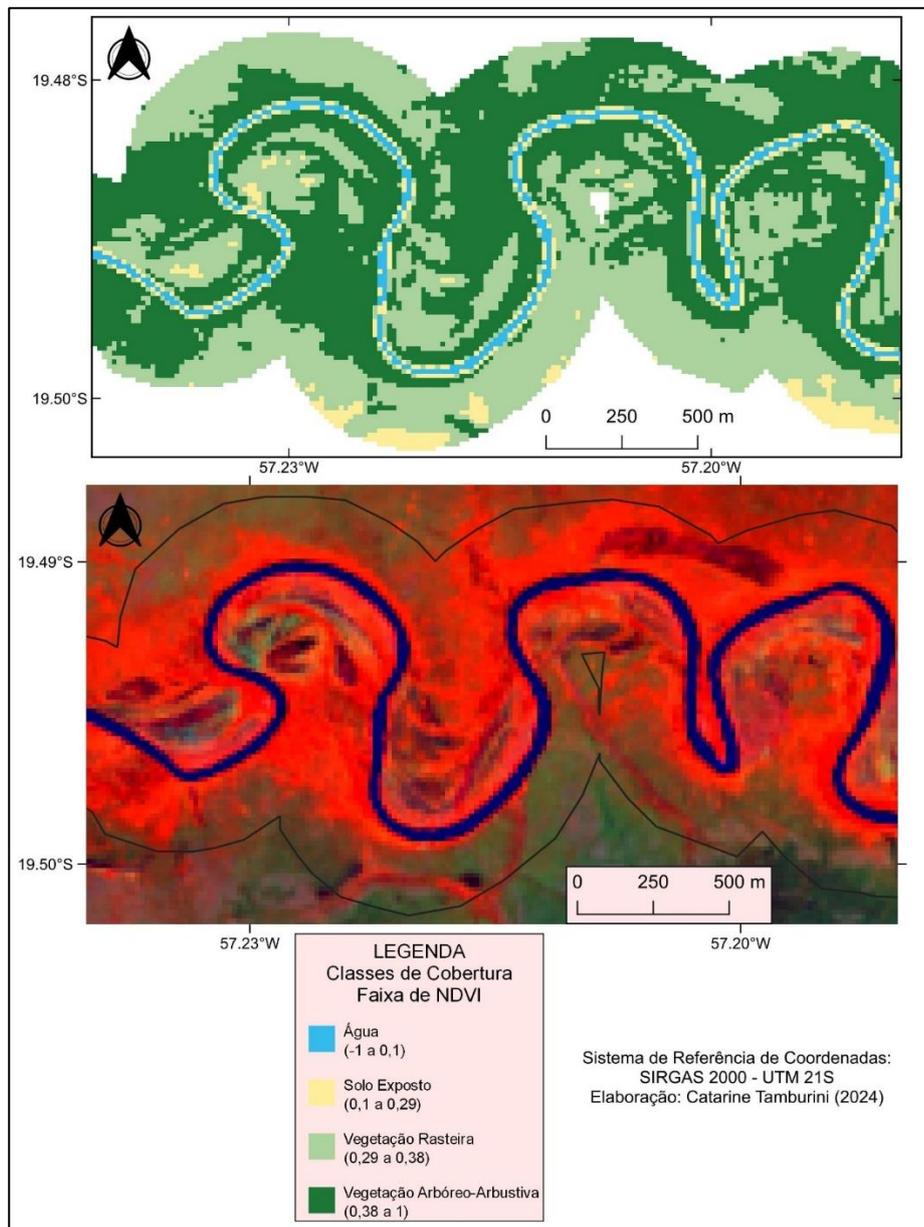
Figura 15 - Médio curso do Rio Aquidauana (2023).



De acordo com as análises elaboradas por Neves (2023), houve perda de cerca de 3,23% de áreas com formações florestais em comparação com o ano de 1990. No município de Miranda há predominância de fitofisionomias com árvores altas e arbustos

no estrato inferior: florestal estacional decidual e semidecidual, savana florestada, savana-estépica florestada, formações pioneiras com influência fluvial e/ou lacustre. Ainda segundo o mesmo autor a prática da silvicultura foi introduzida no município somente nos anos 2000 e passou a crescer nos últimos anos, assim como a utilização de áreas para cultivo de soja e outras lavouras temporárias. No ano de 2023, no baixo curso do Rio Miranda houve uma acentuada redução das áreas compostas por florestas nativas no baixo curso quando se compara ao ano de 2003, em torno de 21,9%, e em relação a 2013 de 1,4%, como demonstrado na Figura 16.

Figura 16 - Baixo curso do Rio Miranda (2023).



Foi constatada uma redução de 1,9% de área para a classe “água” em relação a 2013. A classe “solo exposto” apresentou decréscimo de área de 15,4% em 2013 para 6,1% em 2023, resultando em 9,3% de conversão destas áreas para a vegetação rasteira, tendo em vista o acréscimo de 12,7% da classe “vegetação rasteira” em relação ao mesmo período, e em relação ao ano de 2003 foi observado um aumento de 18,7% de área.

### 3.3.4 Análise Total do Buffer da Mata Ciliar dos Rios Aquidauana e Miranda

Na Tabela 7 são apresentados os valores de área e porcentagem para cada classe de cobertura nos três períodos analisados, dentro dos polígonos selecionados do *buffer* dos Rios Aquidauana e Miranda.

Tabela 7 - Valores de área e porcentagens totais do buffer da Mata Ciliar dos Rios Aquidauana e Miranda para cada classe de cobertura nos três períodos analisados.

	2003	2013	2023
<b>Água</b>	31.973,4 4,6%	31.855,5 4,5%	19.648,8 2,8%
<b>Solo Exposto</b>	88.160,4 12,6%	67.905 9,6%	85.451,4 12,1%
<b>Vegetação Rasteira</b>	245.116,8 35%	260.939,7 36,9%	282.812,4 40%
<b>Vegetação Arbórea</b>	335.254,5 47,8%	347.634 49%	318.470,4 45,1%
<b>Área Total (km<sup>2</sup>)</b>	700.505,1	708.334,2	706.383

Pode-se notar na Tabela 7 que houve perda de vegetação arbórea-arbustiva ao longo do tempo na Mata Ciliar analisada, mostrando que se deve ter atenção quanto ao cumprimento do Código Florestal (BRASIL, 2012) vigente, no que tange a proteção das Florestas Nativas. Ao analisar a área do *buffer* total da Mata Ciliar, percebe-se que a vegetação arbórea se encontrava predominante em 2013, totalizando 49%, entretanto, em 2023 houve redução para 45,1%.

Em relação à proporção do corpo hídrico (classe água), verificou-se uma diminuição de pixels detectados ao longo deste recorte temporal, sendo que em 2003 a porcentagem de área total do *buffer* correspondeu a 4,6%, e em 2023, houve redução de área. As áreas com solo exposto foram maiores no ano de 2003. Já na análise de

vegetação rasteira do ano de 2023 foi verificado um aumento na proporção desta classe.

### **3.4 CONCLUSÕES**

As análises através do índice de vegetação NDVI forneceram dados a respeito da cobertura do solo da Mata Ciliar dos Rios Aquidauana e Miranda, sendo possível diferenciar quatro classes por meio da separação dos valores de NDVI que correspondem ao comportamento espectral de cada alvo presente nas imagens orbitais. Através dos recursos presentes no QGIS (QGIS Development Team, 2023), como a análise de textura e aplicação de contraste permitiram a identificação dos alvos terrestres.

Os valores de NDVI da classe “água” chegaram a 0,1 devido ao processo de sedimentação que aumenta ao longo do curso do rio e, apesar de ser um processo natural que ocorre nos recursos hídricos do Pantanal, este aumento acelerado de sedimentação contribui para o assoreamento do canal, gerando impactos negativos relacionados a poluição por resíduos humanos e químicos e pela perda de habitat de espécies locais. O aumento de áreas com solo exposto observado também produz impactos negativos no sistema fluvial como um todo, principalmente pela perda de solo que pode chegar ao canal fluvial.

Há diferenças quanto à cobertura do solo entre as áreas dos cursos dos Rios Aquidauana e Miranda, porém o fato mais marcante foi a acentuada redução de áreas florestais no seu baixo curso, na região do Município de Miranda. Contudo, nesta região ainda ocorrem as maiores áreas compostas por Florestas Nativas e na presente análise é a região mais preservada. A Política Municipal do Meio Ambiente do município de Miranda na forma de lei complementar nº 110 de 21 de outubro de 2021 (MIRANDA, 2021) dispõe que a vegetação nativa fica sobre proteção do município quanto a assegurar seu uso, manejo e proteção destes recursos naturais.

É imprescindível, conforme consta no Código Florestal (BRASIL, 2012) a proteção das Matas Nativas do entorno dos recursos hídricos, devendo ser respeitado os limites previstos na lei quanto à faixa de proteção. Desta forma, pode-se garantir a recuperação de áreas previamente degradadas, e a proteção e daquelas que se encontram preservadas.

### 3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AYACH, L. R.; BACANI, V. M.; SILVA, J. F. Unidades de Conservação no Pantanal do município de Aquidauana-MS: uma análise da evolução do uso da terra e cobertura vegetal e suas implicações. **Caderno de Geografia**, v.24, n.42, 2014. Disponível em: DOI:10.5752/P.2318-2962.2014v24n42p139
- AZEVEDO, C. M. A.; COSTA, Y. C. **Matas Ciliares. Governo do Estado de São Paulo**. Secretaria Do Meio Ambiente. SÃO PAULO, 2 ed, 2014. Disponível em: <https://smastr16.blob.core.windows.net/cea/2014/11/7-MATAS-CILIARES.pdf>
- BARI, E.; NIPA, N. J.; ROY, B. Association of vegetation indices with atmospheric & biological factors using MODIS time series products. **Environmental Challenges**, v. 5, p. 100376, 2021.
- BELLÓN, B.; BLANCO, J.; DE VOS, A.; ROQUE, F. O.; PAYS, O.; RENAUD, P. C. Integrated landscape change analysis of protected areas and their surrounding landscapes: application in the Brazilian Cerrado. **Remote Sensing**, v. 12, n. 9, p. 1413, 2020.
- BERRA, E. F.; FONTANA, D.C.; KUPLICH, T. M. Tree age as adjustment factor to NDVI. **Revista Árvore**, v.4, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-90882017000300007>
- BEZERRA, E. T.; CARVALHO, E. M. Áreas de preservação permanente nos perímetros urbanos de Aquidauana e Anastácio – MS. **Geofronter**, Campo Grande, v.8, p.22, 2022. Disponível em: <https://periodicosonline.uems.br/index.php/GEOF/article/view/7151>
- BRASIL. **Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012**. Institui o Código Florestal. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 2012.
- CAMPOS, S.; FERNANDES, A. O.; CAMPOS, M. Geotecnologias aplicadas na espacialização das app e de conflitos na microbacia do córrego do prelúdio - itapeva/SP. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental Da Alta Paulista**, v.11, n.6 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.17271/1980082711620151232>
- CASTRO, J. L. S.; FERNANDES, L. S.; FERREIRA, K. E. J.; TAVARES, M. S. A.; ANDRADE, J. B. L. Mata Ciliar: Importância e Funcionamento. *In*: VIII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, Campo Grande/MS, 2017. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2017/XI-016.pdf>
- CORDEIRO, A. P. A.; BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C.; MELO, R. W. D.; SHIMABUKURO, Y. E.; FIOR, C. S. Regiões homogêneas de vegetação utilizando a variabilidade do NDVI. **Ciência Florestal**, v. 27, p. 883-896, 2017.
- DE LIMA FERNANDES, Elvira Fátima; DA ANUNCIACÃO, Vicentina Socorro; DA SILVA, Jaime Ferreira. Vulnerabilidade socioespacial na planície de inundação na cidade de Aquidauana/MS–Brasil. **Territorium**, n. 22, p. 177-194, 2015. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5773053>
- DUAILIBI, G. Z.; OLIVEIRA, J. M.; BENTOS, I. F.; MIOTO, C. L.; ENCINA, C. C. C.; FIGUIEREDO, H. Z.; RIBEIRO, A. A.; PESSI, D. D.; PARANHOS FILHO, A. C. **TUTORIAL: ANÁLISE DA COBERTURA VEGETAL**. Maringá – PR: Uniedusil, 2022.
- FACINCANI, E. M.; ASSINE, M. L.; SILVA, A.; ZANI, H.; ARAÚJO, B. C.; MIRANDA, G. M. **Geomorfologia fluvial do leque do rio Aquidauana, borda sudeste do Pantanal, MS**. Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, v. 1, p. 175-181, 2006.
- FAN, X.; LIU, Y. Multisensor Normalized Difference Vegetation Index Intercalibration: A comprehensive overview of the causes of and solutions for multisensor differences. **Geoscience and Remote Sensing Magazine**, v. 6, n. 4, p. 23-45, 2018.

FU, B.; BURGHER, I. Riparian vegetation, NDVI dynamics and its relationship with climate, surface water and groundwater. **Journal of Arid Environments**. v. 113, p. 59-68, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2014.09.010>

GOOGLE ACADÊMICO. **Google acadêmico**. Disponível em: <https://scholar.google.com.br/>. Acesso em: 13/04/2023.

GOOGLE EARTH. Rio Aquidauana. 20°03'27"S 55°57'08"W. Mountain View, CA: Google, 2022. Disponível em: <https://earth.google.com/>. Acesso em: 07/03/2023.

GOVERNO DO ESTADO DE MATO GROSSO DO SUL. SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE DO PLANEJAMENTO, DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA (2011). SEMAC. **Caderno geoambiental: região do Pantanal, Mato Grosso do Sul**. Disponível em: [http://www.semade.ms.gov.br/wpcontent/uploads/sites/20/2015/03/regiao\\_do\\_pantanal\\_caderno\\_geoambiental.pdf](http://www.semade.ms.gov.br/wpcontent/uploads/sites/20/2015/03/regiao_do_pantanal_caderno_geoambiental.pdf).

JOIA, P. R.; ANUNCIAÇÃO, V. S.; PAIXÃO, A. A. Implicações do uso e ocupação do solo para o planejamento e gestão ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Aquidauana, Mato Grosso do Sul. **Interações**, Campo Grande, MS, v. 19, n. 2, p. 343-358, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.20435/inter.v19i2.1404>

JUSTINO, R. C.; CHAVES, M. E. D.; MATAVELI, G. A. V.; GUERRERO, J. V. R. **O uso do NDVI para o mapeamento de mata ciliar, um exemplo prático: Ribeirão Caçús, município de alfenas, sul de Minas Gerais**. X Congresso Nacional do Meio Ambiente de Poços de Caldas. 2013.

LIMA, B. S.; SILVA, C. A.; BOIN, M. N.; MEDEIROS, R. B. As paisagens e as dinâmicas territoriais na Serra de Maracaju, Mato Grosso do Sul, Brasil. Cuadernos de Geografía: **Revista Colombiana de Geografía**, Bogotá, v. 29, n. 1, p. 224-241, 2020. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v29.n1.75016>

MENDES, C. A. B.; PEREIRA, M. C. B.; GREHS, S. A.; Barreto, S. R.; Becker, M.; Lange, M. B. R.; Dias, F. A. **Bacia Hidrográfica do rio Miranda: estado da arte**. Campo Grande: UCDB, 2004.

MENECOZI, A. R. **O 'rio formoso' de muitos municípios e do Pantanal**. Instituto Histórico e Geográfico de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS. O Estado, 2015.

MINATTI, E.; RIBEIRO, A. A.; ENCINA, C. C. C.; PARANHOS FILHO, A. C. Análise multi-temporal de imagens de satélite e NDVI em unidade de conservação. **Research, Society and Development**, v.12 n. 4, p.e1112440839-e1112440839, 2023. Disponível em: DOI:[10.33448/rsd-v12i4.40839](https://doi.org/10.33448/rsd-v12i4.40839)

MIRANDA (MUNICÍPIO DE). **Lei Complementar nº 110, de 21 de outubro de 2021**. Política Municipal do Meio Ambiente. Diário Oficial do Município de Miranda, Miranda, MS, 2021. Disponível em: [<https://camaramiranda.ms.gov.br/wp-content/uploads/2021/11/LEI-COMPLEMENTAR-N%C2%B0-110-2021.pdf>]. Acesso em: 23 mar. 2024.

NEINAVAZ, E.; SCHLERF, M.; DARVISHZADEH, R.; GERHARDS, M.; SKIDMORE, A. K. Thermal infrared remote sensing of vegetation: Current status and perspectives. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 102, p. 102415, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2021.102415>

NETA, S. R. A.; DE SOUZA BIAS, E.; BRITES, R. S.; DOS SANTOS, C. A. M. Aplicação de um Modelo de NDVI para Detecção Multitemporal de Mudanças no Uso e Cobertura do Solo. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 41, n. 3, p. 592-604, 2018.

NEVES, L. F. O. **Análise de Imagem de Satélite e Dados de Uso e Cobertura da Terra do Município de Miranda—MS**. Trabalho de Conclusão de Curso - Geografia da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul – CPAQ, 23p. 2023.

ODALIA-RÍMOLI, A.; ARRUDA, E. D.; RÍMOLI, J.; BUENO, N. R.; COSTA, R. B. Biodiversidade, biotecnologia e conservação genética em desenvolvimento local. **Revista Internacional de Desenvolvimento Local**, v. 1, n. 1, p. 21-30, 2000.

OLIVEIRA, A. K. M.; FERNANDES, V.; GARNÉS, S. J. A.; SANTOS, C. R. B. Avaliação da perda da vegetação arbórea nativa na Serra da Bodoquena, Mato Grosso do Sul, por meio de sensoriamento

remoto. **Revista RA'EGA - O Espaço Geográfico em Análise**, Curitiba, n. 17, p. 43-52, 2009. <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v17i0.12657>

OLIVEIRA, A. K. M.; SOUZA PINTO, J.; MATIAS, R.; FERNANDES, V. ANÁLISE MULTITEMPORAL DO SUL DO MUNICÍPIO DE SÃO GABRIEL DO OESTE, MATO GROSSO DO SUL, REGIÃO DAS NASCENTES DO RIO AQUIDAUANA, FRENTE AS ATIVIDADES ANTRÓPICAS E SUAS CONSEQUÊNCIAS. **Caderno de Geografia** (2022) v.32, n.68.

OLIVEIRA, G. L. X.; COUTINHO, B. A.; CICALISE, B. G. F.; AOKI, C. Florística da mata ciliar do Rio Aquidauana (MS): subsídios à restauração de áreas degradadas. **Oecologia Australis**, v. 23, n. 4, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.4257/oeco.2019.2304.08>

PARANHOS FILHO, A. C. **Análise Geo-Ambiental Multitemporal: O estudo de Caso da Região de Coxim e Bacia do Taquarizinho**. Tese de doutorado. Curso de Pós-Graduação em Geologia - UFPR. 2000. 213 p.

PARANHOS FILHO, A. C. **Sensoriamento remoto ambiental aplicado: introdução às geotecnologias: material didático**. Campo Grande: Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. p.103-140. 2008.

Parsif.al. 2023. Perform Systematic Literature Reviews. (n.d.). Parsifal. Disponível em: <https://parsif.al/reviews>. Acesso em 10/03/2023.

QGIS Development Team, 2024. QGIS Geographic Information System [S. I.] Open Source Geospatial Foundation Project. Disponível em: <http://qgis.org>. Acesso em, 25 de março de 2023.

RODRIGUES, L. P.; LEITE, E. F. Dinâmica do uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do Rio Aquidauana, MS. **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, v. 1, p. 6817-6825, 2017.

RODRIGUES, L. P.; LEITE, V. A. W.; AYACH, L. R. Análise da vulnerabilidade à perda de solo na área de proteção ambiental (apa) estrada parque de Piraputanga, municípios de Aquidauana e Dois Irmãos do Buriti (MS). **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros**, Seção Três Lagoas, p. 58-83, 2018.

ROUSE Jr, J. W.; HASS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. NASA special publication, v. 351, p. 309, 1974. *In*: Proceedings Earth Resources Technology Satellite Symposium, Washington, D.C.: **NASA. Goddard Space Flight Center**, v.1. p.309-17, 1974.

SCHIAVO, J. A.; PEREIRA, M. G.; MIRANDA, L. P. M. D.; DIAS NETO, A. H.; FONTANA, A. Caracterização e classificação de solos desenvolvidos de arenitos da formação Aquidauana-MS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 881-889, 2010.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE, DO PLANEJAMENTO E DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA (SEMAMCS). **Caderno Geoambiental das Regiões de Planejamento de MS**. Campo Grande, 2011.

SILVA, A. M.; SILVA, J.; FERRARI, D. L.; LAMPARELLI, R. **A. Vegetação natural e área antrópica em Mato Grosso do Sul até o ano de 2002**. Anais 3º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Cáceres, MT, Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p. 392 392 -400. 2010.

U.S. GEOLOGICAL SURVEY (USGS). Landsat 5 TM. Collection 2 Level-1. 23/09/2003 (órbita-ponto: 226-074); 31/08/2003 (órbita-ponto: 225-074). 2023. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 20 out. 2023.

U.S. GEOLOGICAL SURVEY (USGS). Landsat 8 OLI/TIRS. Collection 2 Level-1. 01/08/2013 (órbita-ponto: 226-074); 27/09/2013 (órbita-ponto: 225-074). 2023. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 12 set. 2023.;

U.S. GEOLOGICAL SURVEY (USGS). Landsat 8 OLI/TIRS. Collection 2 Level-1. 22/09/2023 (órbita-ponto: 226-074); 15/09/2023 (órbita-ponto: 225-074). 2023. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 7 set. 2023.;

USGS. United States Geological Survey (Serviço Geológico dos Estados Unidos), 2024. Landsat 9. Disponível em: <https://www.usgs.gov/>. Acesso em 10 março 2023.

USGS. United States Geological Survey (Serviço Geológico dos Estados Unidos), 2024. Landsat 5. Disponível em: <https://www.usgs.gov/>. Acesso em 07 março 2023.

ZARONI, M. J.; DO AMARAL, F. C. S.; DA SILVA, E. F.; COELHO, M. R.; CARVALHO JUNIOR, W. D.; BHERING, S. B.; EARP, C. D. S. **Zoneamento agroecológico do Município de Aquidauana-MS**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 63 p. - (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Solos, ISSN 1678-0892; 185).