



Paisagens em transformação: análise multitemporal da cobertura vegetal do Cerrado no entorno do lago Corumbá IV a partir do sensoriamento remoto

Landscape in transformation: multitemporal analysis of the Cerrado's vegetation cover around the Corumbá IV lake using remote sensing

Paisajes en transformación: análisis multitemporal de la cobertura vegetal del Cerrado en los alrededores del lago Corumbá IV a partir de la teledetección

Anderson Muzzolon

Universidade de Brasília - UnB

anderson_muzzolon@yahoo.com.br

Ruth Elias de Paula Laranja

Universidade de Brasília - UnB

laranja@unb.br

Resumo: O Cerrado desempenha um papel fundamental na conservação dos recursos hídricos, favorecendo o aumento da biodiversidade em sua área de abrangência. Para conservar esses recursos naturais, é fundamental a realização de estudos que possam mostrar espacialmente a evolução e distribuição da vegetação. Este artigo concentra-se na identificação das mudanças na cobertura vegetal nas proximidades do Lago Corumbá IV, causadas pela urbanização acelerada dessa paisagem e monitoradas por meio de imagens de satélite e do NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada). A área de estudo abrangeu 1200 metros a partir de cada margem do Lago Corumbá IV em função de abrigar a formação de novos condomínios e apresentar graves problemas para a conservação e gestão ambiental. Utilizando uma série temporal de imagens de satélite (Landsat 5 para 2002, 2006 e 2011; e Landsat 8 para 2016 e 2022), os resultados demonstram claramente a progressiva

fragmentação e a redução das áreas de cerrado. Essa degradação continua na paisagem estudada aponta para a urgência de ações de conservação e manejo para mitigar os impactos e proteger o bioma.

Palavras-chave: Biodiversidade, cerrado, dinâmicas ambientais, NDVI.

Abstract: The Cerrado plays a fundamental role in water resource conservation, fostering increased biodiversity within its area. To preserve these natural resources, it's essential to conduct studies that can spatially demonstrate the evolution and distribution of vegetation. This article focuses on identifying changes in vegetation cover near Lake Corumbá IV, caused by the accelerated urbanization of this landscape and monitored using satellite imagery and the NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). The study area encompassed 1,200 meters from each margin of Lake Corumbá IV, due to the formation of new condominiums and the presence of serious challenges for environmental conservation and management. Utilizing a time series of satellite images (Landsat 5 for 2002, 2006 and 2011; and Landsat 8 for 2016 and 2022), the results clearly demonstrate the progressive fragmentation and reduction of Cerrado areas. This continuous degradation in the studied landscape points to the urgency of conservation and management actions to mitigate impacts and protect the biome.

Keywords: Biodiversity, Cerrado, Environmental Dynamics, NDVI.

Resumen: El Cerrado desempeña un papel fundamental en la conservación de los recursos hídricos, fomentando el aumento de la biodiversidad dentro de su área. Para preservar estos recursos naturales, es esencial realizar estudios que puedan demostrar espacialmente la evolución y distribución de la vegetación. Este artículo se centra en identificar los cambios en la cobertura vegetal cerca del Lago Corumbá IV, causados por la urbanización acelerada de este paisaje y monitoreados mediante imágenes satelitales y el NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada). El área de estudio abarcó 1.200 metros desde cada margen del Lago Corumbá IV, debido a la formación de nuevos condominios y la presencia de serios desafíos para la conservación y gestión ambiental. Utilizando

una serie temporal de imágenes satelitales (Landsat 5 para 2002, 2006 y 2011; y Landsat 8 para 2016 y 2022), los resultados demuestran claramente la fragmentación progresiva y la reducción de las áreas de Cerrado. Esta degradación continua en el paisaje estudiado señala la urgencia de acciones de conservación y manejo para mitigar los impactos y proteger el bioma.

Palabras clave: Biodiversidad, cerrado, dinámicas ambientales, NDVI.

Introdução

O uso do NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) com sensores de alta e média resolução é fundamental para o monitoramento de vegetação. A integração das tecnologias do sensoriamento remoto aprofunda as possibilidades de análises espaciais (Miao et al., 2023). A combinação de diferentes tipos imagens de satélites tem otimizado a precisão dos produtos cartográficos digitais (Liu et al., 2024). Essas multiplicidades de possibilidades ajudam a monitorar a saúde dos diferentes tipos de vegetação, detectando áreas degradadas e auxiliando na conservação (Bakaye et al., 2024).

Os estudos que investigam os sistemas ecossistêmicos desempenham um papel relevante no desenvolvimento de estratégias para a conservação de áreas socioambientais, especialmente aquelas vitais para a produção de recursos hídricos (Bamlaku & Yemiru, 2015). Esses estudos levantam preocupações sobre a fragmentação dos habitats, que envolve a divisão de uma unidade ambiental em partes, resultando na separação física de áreas naturais anteriormente contínuas (Damame; Longo; Oliveira; 2019).

O sensoriamento remoto, com seu potencial crescente, tem sido fundamental para monitorar essas fragmentações (Yang et al., 2024). Através dele, o projeto MapBiomass tem revelado dados alarmantes: em 2024, o Cerrado foi o bioma mais desmatado do Brasil, superando a Amazônia. Foram suprimidos 652.197 hectares, o que representa 61% de todo o desmatamento nacional e evidencia uma perda alarmante de vegetação nativa (MapBiomass, 2024). Esse processo de perdas da vegetação nativa causa mudanças significativas na paisagem, que começa a se assemelhar a um mosaico, levantando desafios significativos para a conservação ambiental (Niebuhre et al., 2020).

O objetivo deste artigo é analisar a distribuição espacial da vegetação nas proximidades do Lago Corumbá IV, em uma faixa de 1200 metros a partir de cada uma de suas margens. Escolheu-se essa área devido às intensas transformações causadas pela construção de uma represa formada para a geração de hidroeletricidade e por agentes imobiliários que vem urbanizando essas encostas voltadas para o espelho d'água. Ao interpretar imagens dos satélites Landsat 5 dos anos de

2002, 2006 e 2011, juntamente com as imagens do Landsat 8 de 2016 e 2022, buscamos compreender as mudanças na cobertura vegetal ao longo do tempo. A imagem de 2000 foi selecionada porque nesse período ainda não havia iniciado a construção da barragem; a de 2006 foi escolhida por ser o primeiro ano com o lago formado; a de 2011 foi selecionada porque percebemos uma recomposição de vegetação ao longo das margens do lago; a de 2016 foi escolhida devido ao aumento no processo de construção de condomínios nesse ano; e a de 2022 foi utilizada para verificar a evolução recente da paisagem local.

O Lago Corumbá IV, situado em uma região do Cerrado sob intensa pressão antrópica, é um corpo d'água que abastece com água potável, cidades do Distrito Federal e Goiás. Conhecer as taxas de desmatamento em função da rápida expansão urbana é essencial para a sustentabilidade e a conservação dessa paisagem, evidenciando a necessidade de rever estratégias do Plano Ambiental de Conservação e Uso do Entorno do Reservatório da UHE Corumbá IV (PACUERA, 2011), de modo que integrem a conservação de ecossistemas aquáticos às políticas de uso do solo.

O processo de pesquisa teve início com um rigoroso pré-processamento dos dados das imagens, que inclui etapas como reprojeção e correção radiométrica atmosférica. Utilizamos o índice de vegetação normalizado (NDVI), que representa a intensidade das plantas em uma área específica de uma imagem (Niebuhr at al., 2020). Esse índice é uma combinação matemática das bandas vermelha e infravermelha próximo e é amplamente empregado como indicador da presença e condição da vegetação. Trata-se de um indicador que varia de -1 para áreas sem vegetação, como superfícies impermeáveis e corpos d'água, até 1 para vegetação densa e com folhas saudáveis, em pleno funcionamento metabólico e fisiológico. Quanto mais saudável e nutrida a planta, maior é a absorção do vermelho e maior será a refletância do infravermelho (Tagliarini, 2020).

Utilizando geotecnologias avançadas, como sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica (SIG), realizamos análises detalhadas das mudanças ambientais que ocorreram na vegetação da região circundante ao Lago Corumbá IV ao longo de um período específico. Este estudo nos permitiu identificar padrões de alterações na cobertura

vegetal, como fragmentação, expansão ou redução de áreas de vegetação natural.

Material e Métodos

A área de estudo foi delimitada em uma faixa de 1,2 km a partir das margens do lago, devido às consideráveis transformações na paisagem causadas pela expansão dos perímetros urbanos dos municípios afetados pela construção da barragem. Essas localidades incluem partes dos municípios de Luziânia, Silvânia, Novo Gama, Santo Antônio do Descoberto e Alexânia, que são diretamente impactadas pela formação do lago Corumbá IV (Figura 1).

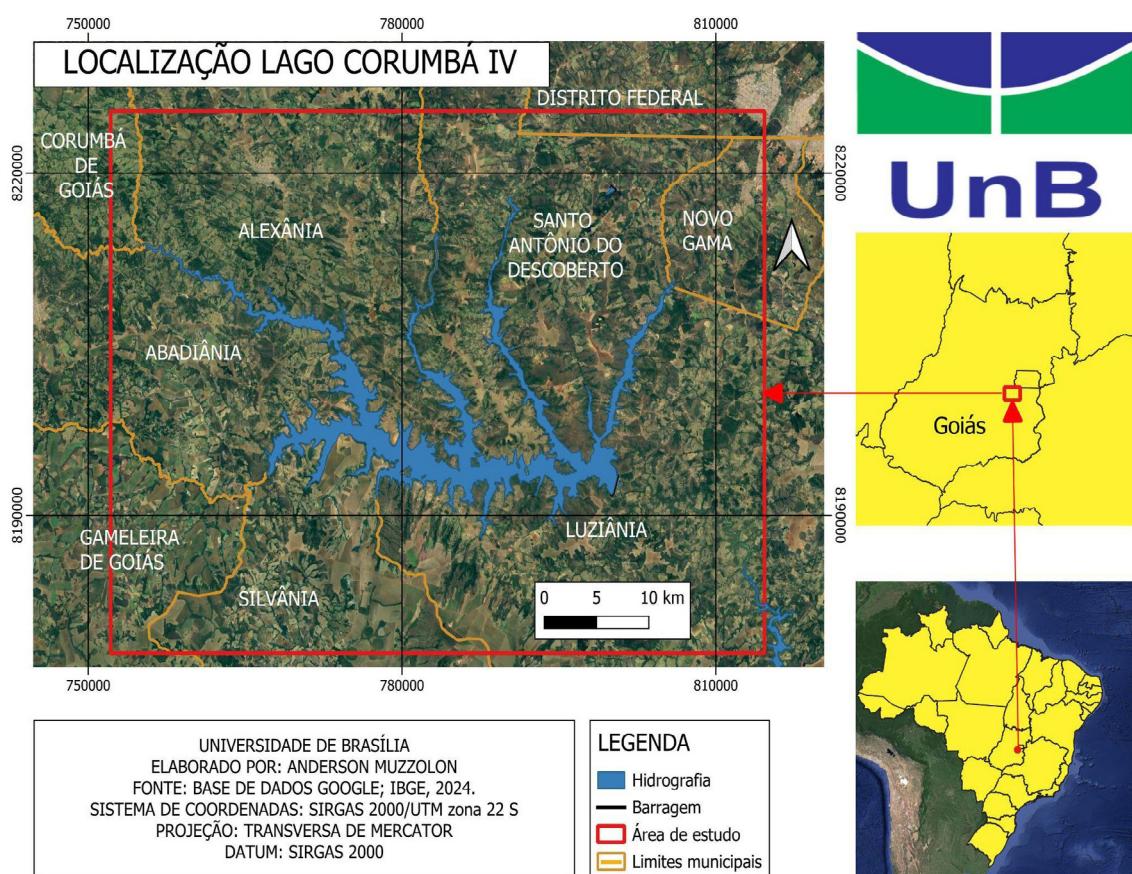


Figura 1. Reservatório da Usina Hidrelétrica Corumbá IV.

Elaborado por: Anderson Muzzolon, 2024.

O Lago Corumbá IV desempenha um papel importante em diversas dimensões socioambientais da região em que está inserido. Além de ser uma fonte vital de recursos hídricos para cidades do estado de Goiás e do Distrito Federal, ele também tem um papel significativo na regulação

do clima, na produção de energia elétrica e na promoção de atividades recreativas e turísticas. No entanto, é fundamental reconhecer os desafios associados à sua gestão, incluindo a necessidade de conservar sua vegetação e a qualidade da água, de modo a garantir o equilíbrio ecológico e a sustentabilidade das áreas ao redor.

Para realizar este estudo, foram necessárias informações vetoriais representadas em arquivos do tipo shape, os quais foram obtidos diretamente de fontes confiáveis na internet, como os sites do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e da Agência Nacional de Águas (ANA). Cada uma dessas fontes fornece dados elaborados em sistemas de projeção cartográfica diferentes, o que poderia causar inconsistências e dificuldades de análise se não fossem tratados adequadamente.

Com a finalidade de garantir a consistência e a precisão dos dados, foi realizado um processo de conversão e padronização de todos os arquivos. Isso significa que os arquivos originais foram transformados para se adequarem a um único sistema de projeção cartográfica, o Universal Transversa de Mercator (UTM), que é amplamente utilizado e permite uma representação mais precisa e fácil de interpretar. Além disso, foi adotado o datum SIRGAS 2000, que é um sistema de referência geodésica utilizado para posicionar pontos de forma precisa na superfície terrestre. A escolha desse datum garante que os dados estejam alinhados de maneira correta e que as análises realizadas considerem as coordenadas geográficas de forma consistente.

Da Aquisição à Análise: Processamento das Bandas de Interesse das Imagens Landsat.

Para nossa análise multitemporal, selecionamos imagens dos satélites LANDSAT 5 e 8, fornecidas pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), capturadas durante os meses de maio e junho dos anos em questão. Optamos por esses meses devido ao início da estação seca na área de estudo, o que proporciona uma distinção mais nítida entre as diferentes formações vegetais, minimizando interferências de nebulosidade. Essa escolha visa garantir uma consistência na qualidade das imagens, incluindo resolução espacial, propriedades espectrais e qualidade radiométrica, ao longo do período analisado.

Obtivemos um conjunto de cinco imagens dos anos de 2000, 2006, 2011 (Landsat-5), 2016 e 2022 (Landsat-8), todas capturadas durante os meses de seca na região do Cerrado (maio e junho). Essa escolha assegurou condições climáticas semelhantes, conforme detalhado abaixo:

Cenas: Correspondentes à órbita ponto 221-071 dos dias 06/05/2000, 24/06/2006, 06/06/2011, 02/05/2016 e 20/06/2022, capturadas pelo sensor Thematic Mapper (TM) dos satélites Landsat-5 e 8.

As imagens estão disponibilizadas em formato geotiff, projetadas na UTM, datum WGS 1984, Zona 22, com resolução espacial de 30 metros, resolução radiométrica de 8 bits e resolução espectral de 6 bandas.

Para calcular o NDVI, importamos no programa QGIS versão 3.34.4, as bandas 3R (Vermelho) e 4 NIR (Infravermelho Próximo) nas imagens do satélite Landsat 5, e as bandas 4R (Vermelho) e 5 NIR (Infravermelho Próximo) no Landsat 8. Essas bandas capturam comprimentos de onda visíveis na cor vermelha e no infravermelho próximo, fornecendo as informações necessárias para a identificação e avaliação da presença e qualidade da vegetação.

Após adquirir as imagens, procedemos com a reprojeção destas para o sistema SIRGAS 2000/UTM zona 22 sul e realizamos a calibração radiométrica, que envolve a conversão dos números digitais brutos em unidades de radiância espectral. A radiância é a medida da densidade do fluxo radiante captada pelo sensor, originária de um elemento de área da superfície do terreno e propagada em uma direção específica, definida por um cone elementar de um ângulo sólido (Krizek; Santos, 2021). Determinar a radiância é uma etapa crucial para converter os dados das imagens de satélite em medidas de reflectância (Silva, 2014).

A reflectância é a razão entre a radiação refletida e a radiação incidente. A conversão da radiância espectral registrada pelo sensor em reflectância estratosférica no topo da atmosfera (TOA) ajuda a reduzir a variabilidade de energia registrada entre diferentes cenas (Weber; Freire-Silva; Oliveira, 2020). Esse procedimento de conversão dos dados das imagens para reflectância foi realizado a partir do complemento "Semi-Automatic Classification Plugin" no QGIS, utilizando as bandas das imagens baixadas.

Para definir a área de estudo, criamos um arquivo vetorial por meio de um buffer abrangendo uma área total de 743,85 Km², este polígono foi definido a partir de uma distância de 1200 metros a partir das margens do Lago Corumbá IV, uma área sujeita a significativas transformações no uso e ocupação do solo a partir da construção da barragem (figura 2).

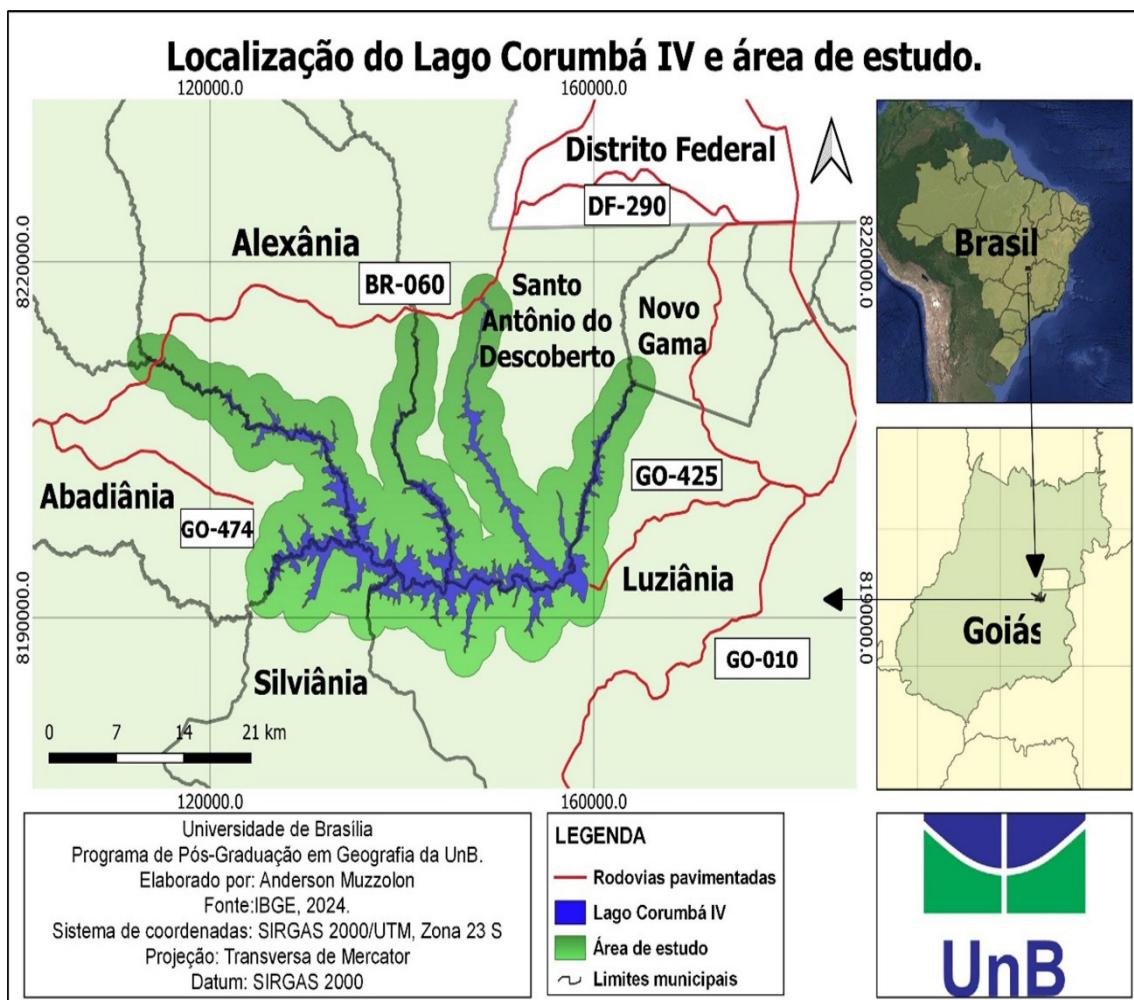


Figura 2. Buffer de delimitação da área de estudo a partir das margens do Lago Corumbá IV.

Elaborado por: Anderson Muzzolon, 2024.

Os procedimentos de recorte foram realizados no programa QGIS utilizando o seguinte caminho: "Vetor, Geoprocessamento, Buffer". Em seguida, recordamos as imagens de satélites a partir dos limites estabelecidos neste polígono (Buffer) e procedemos com a extração das imagens referentes aos períodos de estudo para as bandas espectrais do infravermelho próximo (NIR) e vermelho (R).

Explorando a Relação entre a Estrutura da Vegetação e o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

A relação entre a estrutura da vegetação e o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) é um tema de grande importância e interesse na área ambiental e sensoriamento remoto. O NDVI é uma medida que utiliza dados de satélite para estimar a quantidade, densidade e a saúde da vegetação em uma determinada área, esses padrões podem ser monitorados de modo a percebermos as mudanças ao longo do tempo (Krizek; Santos, 2021).

O cálculo preciso do NDVI requer a conversão dos valores de Densidade de Números (DN) em grandezas físicas específicas, como radiância e reflectância. Essa conversão é fundamental para assegurar a precisão e a consistência dos resultados (Ponzoni; Shimabukuro, 2009), uma vez que os valores de DN, por si só, não refletem diretamente as propriedades físicas dos objetos em análise. Ao transformar os dados em grandezas como radiância e reflectância, obtemos informações mais robustas e adequadas para análises precisas, permitindo uma interpretação mais exata das condições ambientais e das características das vegetações monitoradas (Oliveira et al., 2020).

A determinação do NDVI envolve uma equação que considera a diferença entre o infravermelho próximo (NIR) e a radiação vermelha (RED) refletida pela superfície terrestre (Rouse et al., 1973, p. 309). Esta equação é fundamental em aplicações de sensoriamento remoto, fornecendo informações valiosas sobre a cobertura vegetal e suas variações ao longo do tempo. Este índice é calculado pela seguinte equação:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{R}) / (\text{NIR} + \text{R})$$

Na definição apresentada, **NIR** representa a reflectância da vegetação na banda do infravermelho próximo, enquanto **R** indica a reflectância da vegetação na banda do vermelho. Este índice é amplamente reconhecido por sua eficiência ao monitorar as mudanças na cobertura vegetal, devido à sua alta sensibilidade tanto em áreas com vegetação esparsa quanto densa. (Tagliarini, 2020). Desse modo possibilita mo-

nitorar variações sazonais e interanuais no crescimento e na atividade das plantas, enquanto também ajuda a minimizar diversos tipos de interferências presentes em imagens multitemporais, como variações na iluminação e efeitos atmosféricos (Silva, 2014).

Para mapear e classificar os indicadores das áreas com vegetação mais densa (Cerrado stricto sensu, Cerradão e Mata de Galerias) utilizamos a “calculadora raster” do QGIS, fazendo a seguinte operação: “Camada NDVI da área > 0.51” de modo a representar as áreas com vegetação que possuem as características da vegetação de cerrado acima citados.

Para compreender a dinâmica da paisagem, utilizamos a plataforma de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) do QGIS, através da ferramenta Landscape Ecology Statistics (LecoS) integrada ao programa. Essa plataforma nos permitiu calcular métricas da paisagem utilizando dados matriciais ou vetoriais dos fragmentos florestais. Dessa forma, calculamos a área total das classes estudadas, a porcentagem de cada classe em relação ao total da área, o número de fragmentos, a área do maior fragmento e a área média dos fragmentos. Essas métricas podem ser utilizadas para estudos específicos de fragmentos de vegetação, bem como para analisar a evolução de diferentes tipos de classes, como urbanização, vegetação nativa, agricultura e pastagens (Frazier, 2019).

Para fazer a verificação das diferentes formações vegetais — Mata de Galeria, Cerradão, Cerrado *Strictu sensu*, Campo Sujo, Campo Limpo e Solo Exposto — e compará-las com mapas de fragmentos de vegetação, solo exposto e NDVI na paisagem estudada, realizou-se dois levantamentos de campo. Nos dias 6 e 20 de abril de 2024, nos municípios goianos de Abadiânia, Alexânia, Santo Antônio do Descoberto, Silvânia e Luziânia, onde coletou-se 30 pontos de controle, com o tipo de vetação identificado e sua respectiva coordenada geográfica (figura 3). Para georreferenciar as imagens, utilizamos equipamentos fotográficos e um receptor GPS Garmin GPSmap 64s.

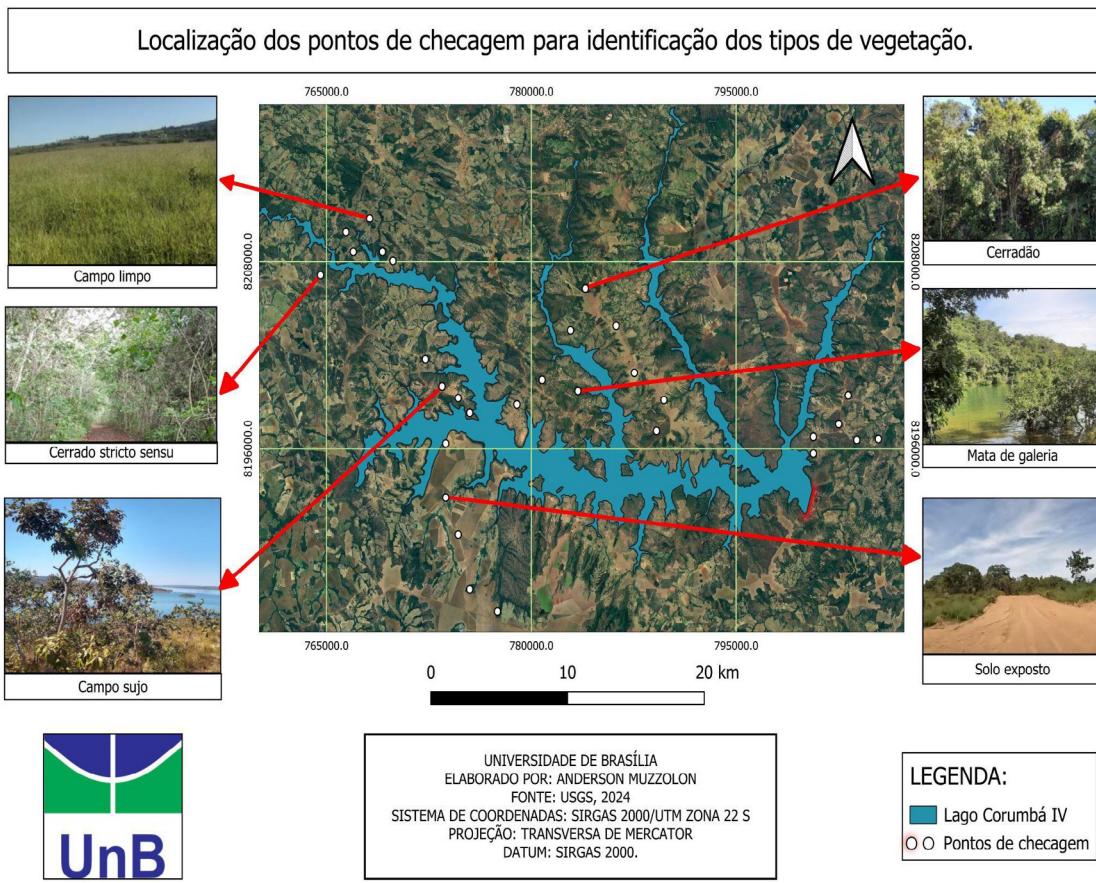


Figura 3. Localização dos tipos de vegetação detectados nas margens do Lago Corumbá IV.

Elaborado por: Anderson Muzzolon, 2024.

As fotos foram tiradas no campo e depois coletadas as suas coordenadas geográficas, sendo então integradas referências dos tipos de vegetação. Esses marcadores mostram detalhes da vegetação em pontos específicos. Essa metodologia proporciona uma identificação mais precisa dos tipos de vegetação, combinando técnicas visuais e computacionais de sensoriamento remoto. Segundo esse método, é viável fazer uma interpretação minuciosa e acurada das informações referentes à vegetação analisada.

Resultados e discussão

Ao mapear e analisar os padrões de distribuição do NDVI ao longo de diferentes períodos, utilizamos as definições do “Manual técnico da vegetação brasileira” (IBGE, 2012), associando com os indicadores mapeados, observamos que os valores mais altos estão ligados às áreas próximas das drenagens e são representados pelas áreas de Cerradão e Mata de galeria (verde escuro), com NDVI entre 0,66 e 1,0; seguidas pelo Cerrado Stricto Sensu (verde), com NDVI entre 0,51 e 0,65. Na sequência, estão os Campo Sujo (verde claro), com NDVI entre 0,41 e 0,50, e Campo Limpo (amarelo), com NDVI entre 0,25 e 0,40, localizados em classes na legenda e associados a ambientes de Cerrado menos densos na área estudada. Os valores mais baixos correspondem aos Solos Expostos (vermelho), com NDVI entre -0,1 e 0,25, e aos Corpos d’água (azul), com NDVI entre -0,2 e -1,0.

Inicialmente, apresentamos a evolução temporal dos indicadores de NDVI nos anos analisados. No ano de 2000 (Figura 4), é preciso pontuar que as obras de construção da barragem e início da formação do lago ainda não havia começado. Nas margens dos cursos d’água, é perceptível a presença de vegetação de porte arbóreo, enquanto as áreas com solo exposto foram identificadas em regiões agrícolas e ao longo das estradas, apesar disso o que predominou na paisagem foram as formações savânicas.

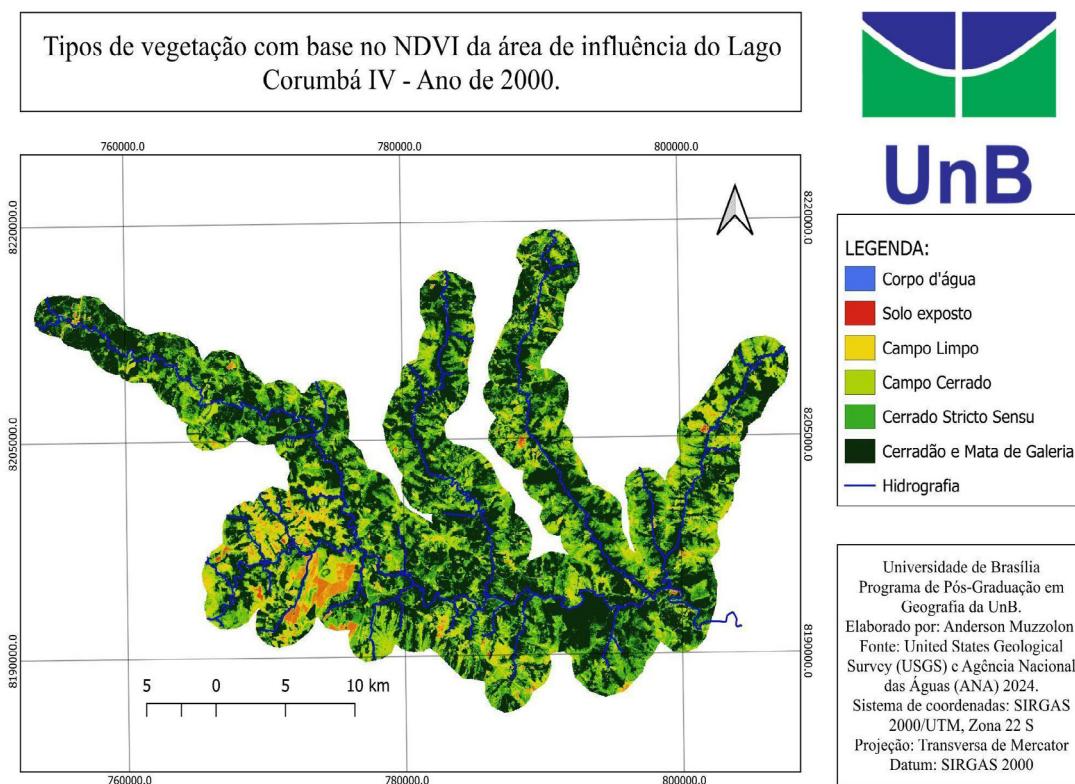


Figura 4. Mapeamento da distribuição da vegetação antes da formação do Lago Corumbá IV.

Elaborado por: Anderson Muzzolon, 2024.

Em 2006, a formação do Lago Corumbá IV (Figura 5) causou a supressão de parte significativa da mata ciliar. A inundação de extensas áreas de vegetação resultou na eliminação de importantes trechos e aumentou a fragmentação dos segmentos de vegetação arborizada, quebrando a continuidade natural da cobertura vegetal ao longo das margens do lago.

A fragmentação das matas ciliares interrompeu corredores ecológicos, essenciais para a migração e dispersão de diversas espécies de flora e fauna. A falta de continuidade vegetativa dificulta o movimento dos animais e a troca genética entre populações, aumentando a vulnerabilidade das espécies e reduzindo a resiliência dos ecossistemas locais (Goerl et al., 2011). Além disso, a fragmentação facilita a invasão de espécies exóticas, que competem com as nativas e podem levar à degradação ambiental (Damame; Longo; Oliveira, 2019).

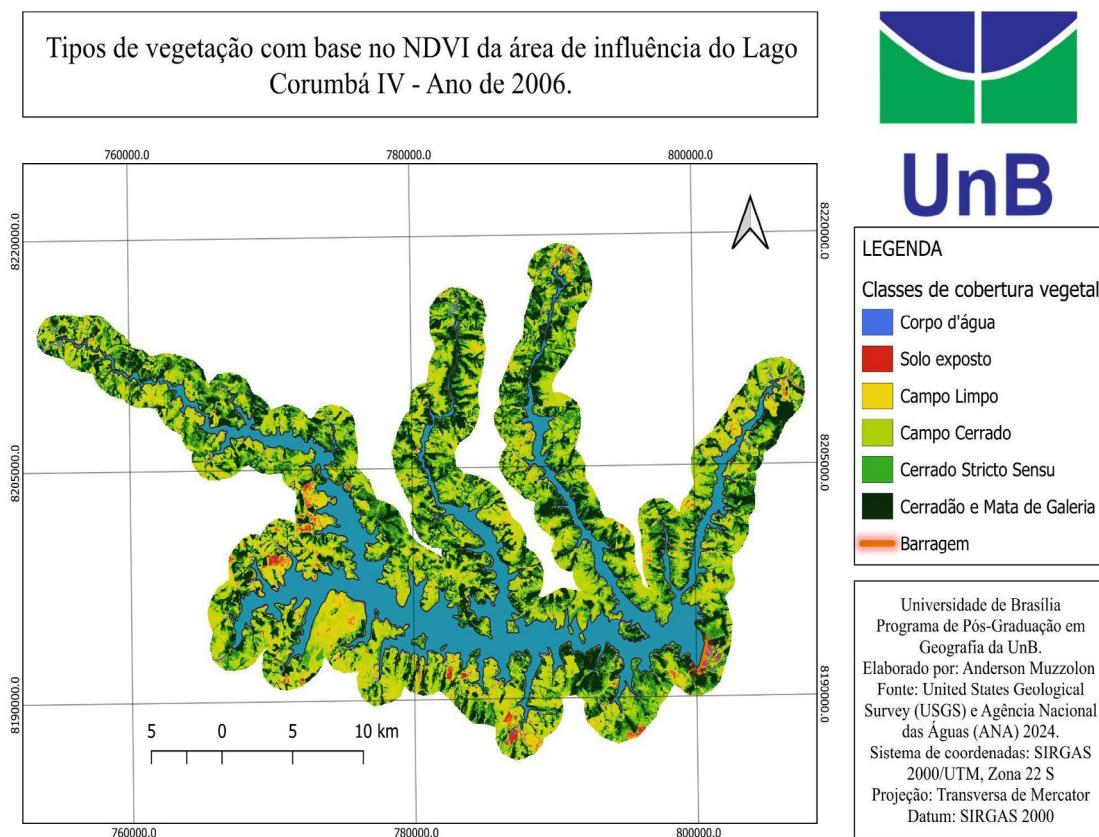


Figura 5. Fragmentação das áreas vegetadas pela formação do Lago Corumbá IV.

Elaborado por: Anderson Muzzolon, 2024.

O mapa de NDVI de 2011 (figura 6) revela um processo significativo de reconstituição de parte das matas de galeria e cerradão na região, se comparar com o ano de 2006. Esse fenômeno pode ser atribuído, em grande parte, ao aumento do lençol freático e à maior disponibilidade de umidade decorrente da proximidade com o lago. A elevação do nível do lençol freático proporciona uma fonte constante de água subterrânea, que é importante para o crescimento e a recuperação da vegetação, especialmente em áreas compostas por matas de galeria, que dependem de condições de umidade elevada.

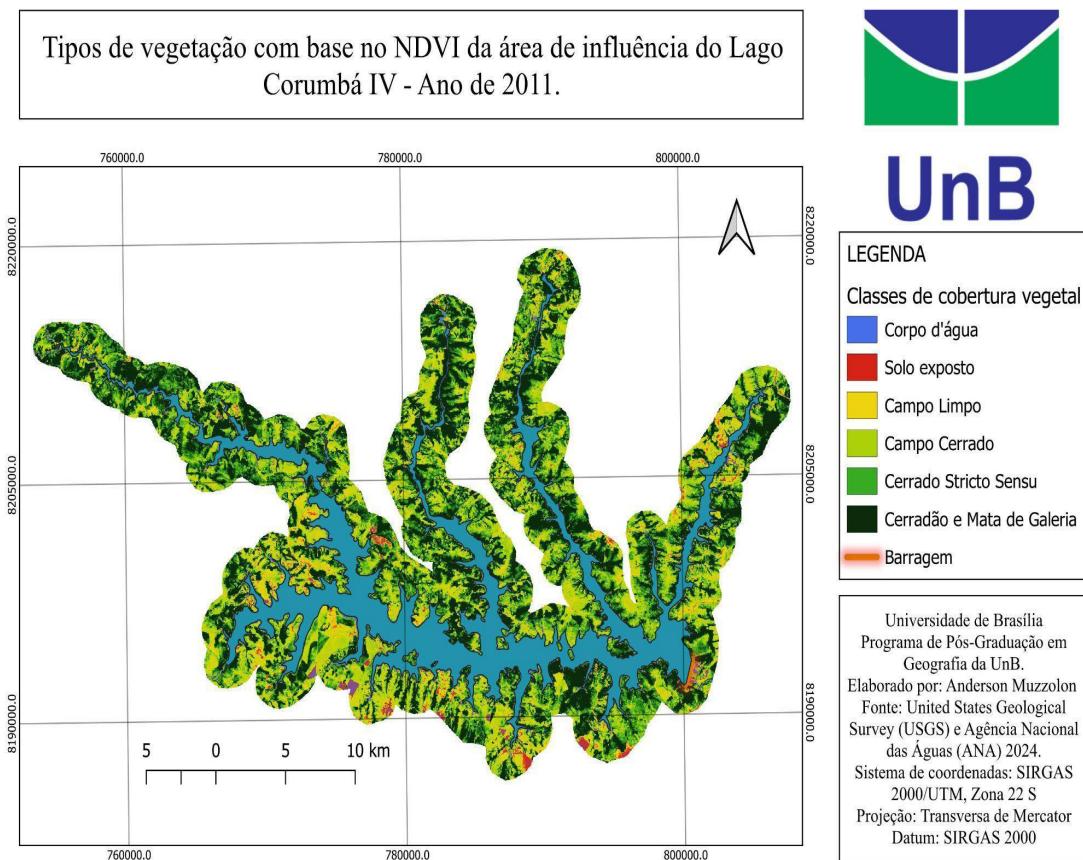


Figura 6. Recomposição da vegetação arbórea.

Elaborado por: Anderson Muzzolon, 2024.

Em 2016 , observa-se um aumento considerável de novas áreas abertas para a formação de condomínios, indicando um avanço significativo da urbanização na região. Esse crescimento urbano resultou em uma expansão das áreas de solo exposto, substituindo a vegetação nativa por construções e infraestrutura (figura 7).

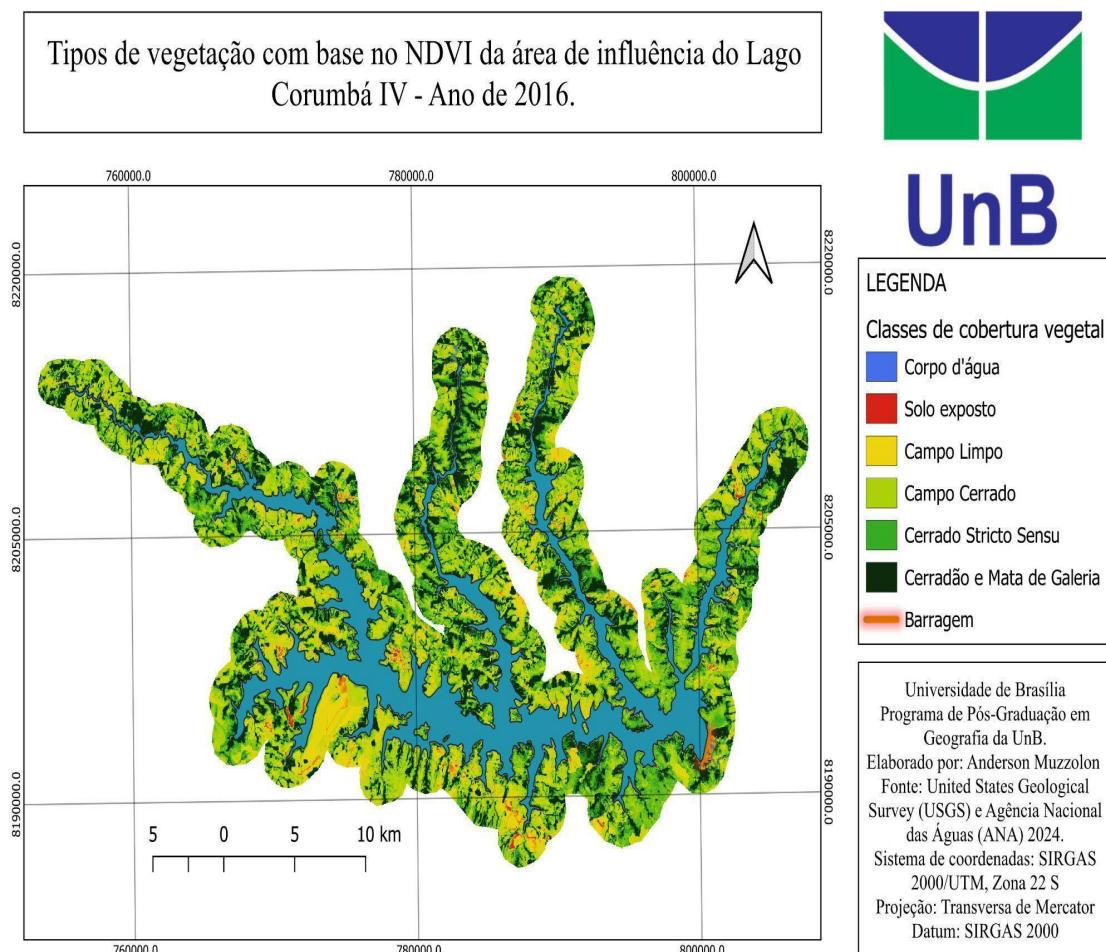


Figura 7. Intensificação da formação de Condomínios.

Elaborado por: Anderson Muzzolon, 2024

No ano de 2022 , observa-se uma consolidação de áreas ocupadas por condomínios nas proximidades do Lago Corumbá IV (figura 8). Este fenômeno de expansão urbana é claramente refletido nos indicadores de NDVI, que mostram uma diminuição notável das matas de galeria, do cerradão e do cerrado stricto sensu. Essas áreas de vegetação de porte arbóreo foram progressivamente substituídas por construções, resultando em um aumento das “manchas” avermelhadas no mapa de NDVI, que representam áreas de solo exposto.

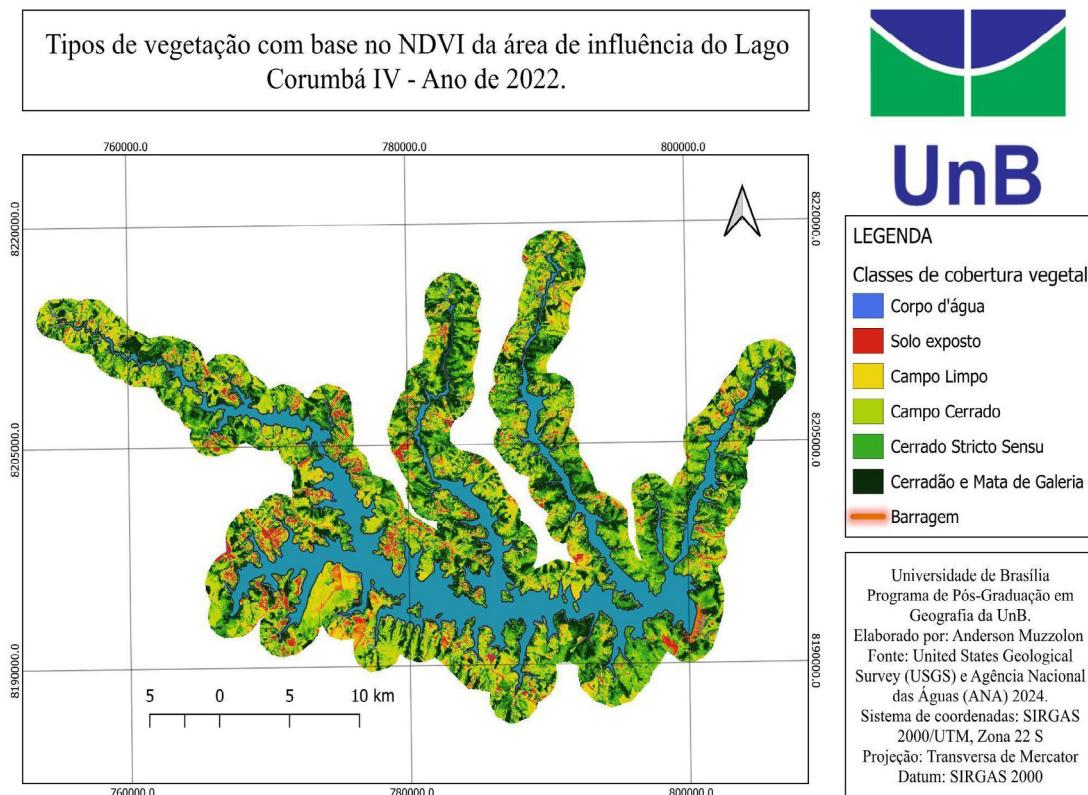


Figura 8. Consolidação dos Condomínios e urbanização.

Elaborado por: Anderson Muzzolon, 2024.

O crescimento das áreas de solo exposto, indicado pelas manchas avermelhadas no NDVI, também apresenta um aumento da vulnerabilidade do solo à erosão e à degradação. Sem a proteção da cobertura vegetal, o solo fica mais suscetível à ação das chuvas e dos ventos, o que pode levar à perda de nutrientes e à diminuição da biodiversidade. Esse cenário exige uma atenção especial para políticas de gestão sustentável do uso da terra, visando minimizar os impactos ambientais e preservar os ecossistemas remanescentes ao redor do Lago Corumbá IV.

Durante a análise dos resultados, observou-se que os níveis elevados de NDVI indicaram maior atividade fotossintética associada à presença de vegetação de porte arbóreo. Em contraste, os valores reduzidos de NDVI sugeriram uma menor atividade fotossintética e, consequentemente, a presença de vegetação escassa ou ausente. Nessas circunstâncias, a vegetação deu lugar a diferentes tipos de uso do solo, como áreas urbanas densamente habitadas com área de solo exposto.

Ao analisarmos a evolução da área de solo exposto na paisagem (Figura 9), observamos um aumento constante desde o ano 2000, quando a área era de 12,65 km², até 2016, quando atingiu 21,41 km². Entre 2016 e 2022, esse processo acelerou, chegando a 37,93 km². Esse crescimento ocorreu devido à expansão das áreas de novos condomínios de segunda residência no entorno do lago.

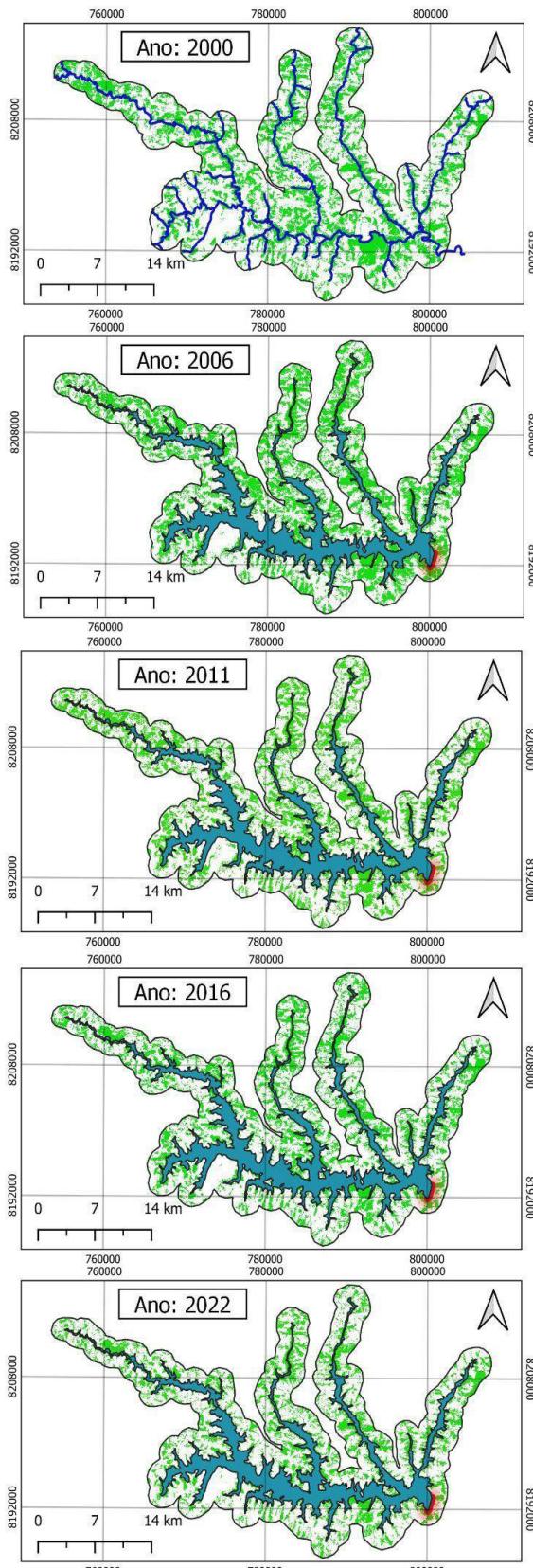


Figura 9: Aumento das áreas de solo exposto no entorno do Lago Corumbá IV.

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

O índice radiométrico NDVI oferece possibilidades de análises sobre como uma parte significativa da Área de Preservação Permanente (APP), localizada a 100 metros das margens, nesses locais verificamos além da presença de matas de galerias, também a presença de gramíneas onde seria adequado a presença de vegetação arbórea. Além disso, foi observado o surgimento de rampas de acesso dos condomínios em direção ao lago, o que pode ter impactos adicionais no ecossistema local.

Para compreender melhor a evolução e a distribuição espaço-temporal da fragmentação nas áreas de matas de galeria, cerradão e cerrado stricto sensu, separamos esse grupo de formações vegetais e realizamos o mapeamento e o cálculo das áreas onde o NDVI foi superior a 0,51 (ver Figura 10). Este mapeamento permitiu verificar uma diminuição significativa das áreas ocupadas por esses tipos de vegetação do cerrado. A análise revelou padrões de fragmentação e perda de cobertura vegetal ao longo do tempo.



Distribuição temporal da Vegetação
do tipo Mata de Galeria, Cerradão e
Cerrado Stricto Sensu no entorno
do Lago Corumbá IV.



- █ Lago Corumbá IV
- █ Barragem
- Limites da área de estudo
- Hidrografia
- █ Cerradão, Mata de Galeria
e Cerrado Stricto Sensu

Universidade de Brasília
Programa de Pós-Graduação em
Geografia da UnB.
Elaborado por: Anderson Muzzolon
Fonte: United States Geological
Survey (USGS) e Agência Nacional
das Águas (ANA) 2024.
Sistema de coordenadas: SIRGAS
2000/UTM, Zona 22 S
Projeção: Transversa de Mercator

Figura 10. Dinâmica das áreas compostas por mata de galeria, cerradão e cerrado stricto sensu no entorno do Lago Corumbá IV.

Elaborado por: Anderson Muzzolon, 2024.

Para analisar os dados de fragmentação da vegetação, estabeleceu-se que o tamanho mínimo de um fragmento é de 900m², considerando a resolução das imagens de 30m por 30m para cada pixel imageado. Desse modo, elaborou-se uma tabela (Figura 11) que apresenta métricas para análise da cobertura vegetal e da fragmentação.

Ano	Área da classe (Km ²)	Área da classe (%)	Número total de fragmentos	Área do maior Fragmento (Km ²)	Área média dos fragmentos (Km ²)	Mediana dos fragmentos (Km ²)
2000	271,76	37,92	3734	21,71	0,74	0,18
2006	251,11	33,80	3467	16,81	0,72	0,18
2011	266,26	35,84	3321	17,87	0,8	0,18
2016	199,92	26,91	3729	6,6	0,53	0,27
2022	169,48	22,81	4482	4,7	0,37	0,18

Figura 11: Tabela com as métricas da paisagem ao longo do período estudado, considerando as vegetações do tipo mata de galeria, cerradão e cerrado stricto sensu.

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Nesta tabela, fica evidente que a área do maior fragmento sofreu uma redução significativa, diminuindo de 21,71 km² em 2000 para 4,7 km² em 2022. A aceleração desse declínio foi particularmente notável a partir dos indicadores apresentados em 2016.. Essa subdivisão é percebida já em 2000, quando a área média dos fragmentos era de 0,74 km², e foi diminuindo até atingir uma média de apenas 0,37 km² em 2022. Esse cenário reflete claramente a degradação das áreas florestais, que foram progressivamente fragmentadas em pedaços menores ao longo do tempo

Esse processo aumenta a vulnerabilidade das áreas remanescentes a eventos como incêndios florestais, invasão por espécies exóticas e mudanças climáticas, tornando mais difícil a manutenção de ecossistemas resilientes. A degradação dos recursos hídricos também é uma preocupação, pois muitas espécies possuem raízes profundas que ajudam na condução e manutenção da água para os aquíferos. Sem essa vegetação, a capacidade dos ecossistemas de sustentar essas funções vitais é gravemente comprometida (Fellet, 2019).

Observa-se, ao longo dos anos, uma redução constante na porcentagem da área coberta por cerradão, mata de galeria e cerrado stricto sensu ($NDVI > 0,51$), passando de quase 38% em 2000 para cerca de 23% em 2022. Analisando os indicadores de área total (figura 12), verificamos essa tendência de queda: em 2000, a área total era de 271,76 km², reduzindo-se para 169,48 km² em 2022.

Um aspecto interessante dessa dinâmica é o período entre 2006 e 2011, quando a área coberta por vegetação aumentou ligeiramente, de 251,11 km² para 266,26 km². Esse crescimento pode ser atribuído ao aumento da umidade no microclima local e à elevação dos lençóis freáticos causada pela formação do lago. No entanto, essa tendência foi revertida, indicando uma perda considerável de vegetação nesses ecossistemas. Inicialmente, o impacto foi provocado pela formação do lago, seguido pela intervenção de agentes imobiliários na região.

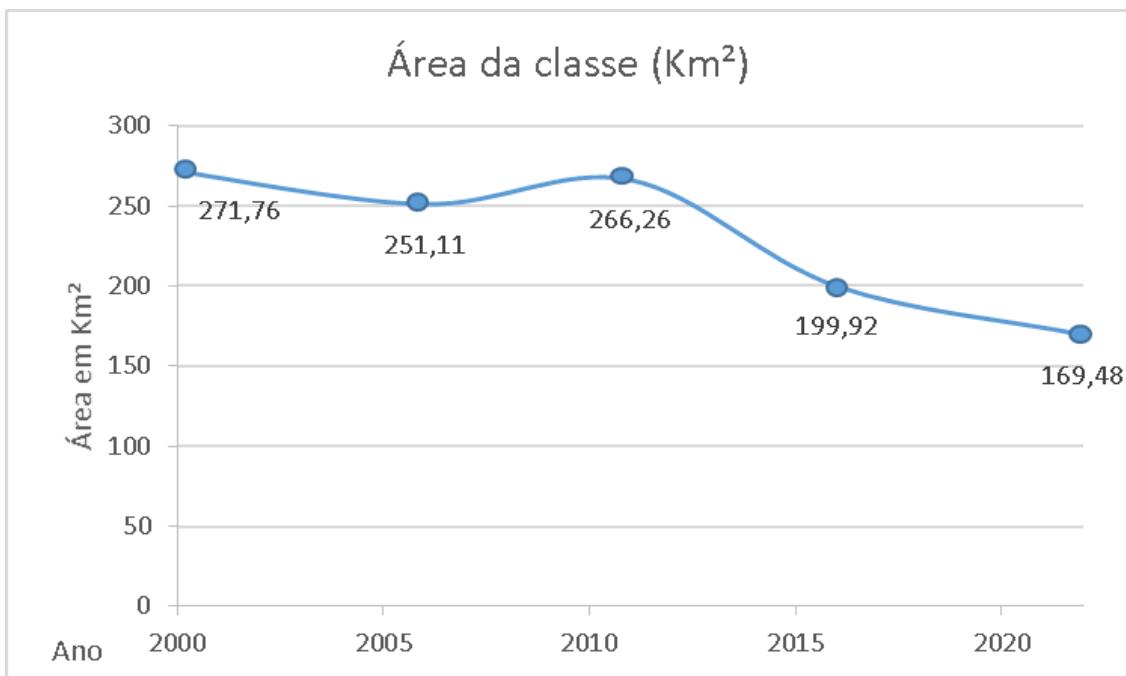


Figura 12: Dinâmica da área total composta por mata de galeria, cerradão e cerrado stricto sensu ($NDVI > 0,51$).

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

É interessante notar que, entre os anos de 2000 e 2011, período marcado pela formação do lago, o número de fragmentos diminuiu inicialmente. Isso pode ter ocorrido devido à eliminação de alguns fragmentos

menores em decorrência do enchimento da barragem e, posteriormente, a um breve período de adaptação da vegetação ao novo microclima gerado, reconectando alguns fragmentos mapeados. No entanto, a partir de 2016, observa-se um aumento gradual no número de fragmentos ao longo do tempo, alcançando seu ápice em 2022, com 4482 fragmentos registrados (figura 13). Esse aumento progressivo indica uma crescente fragmentação do habitat do cerrado nas margens do lago.

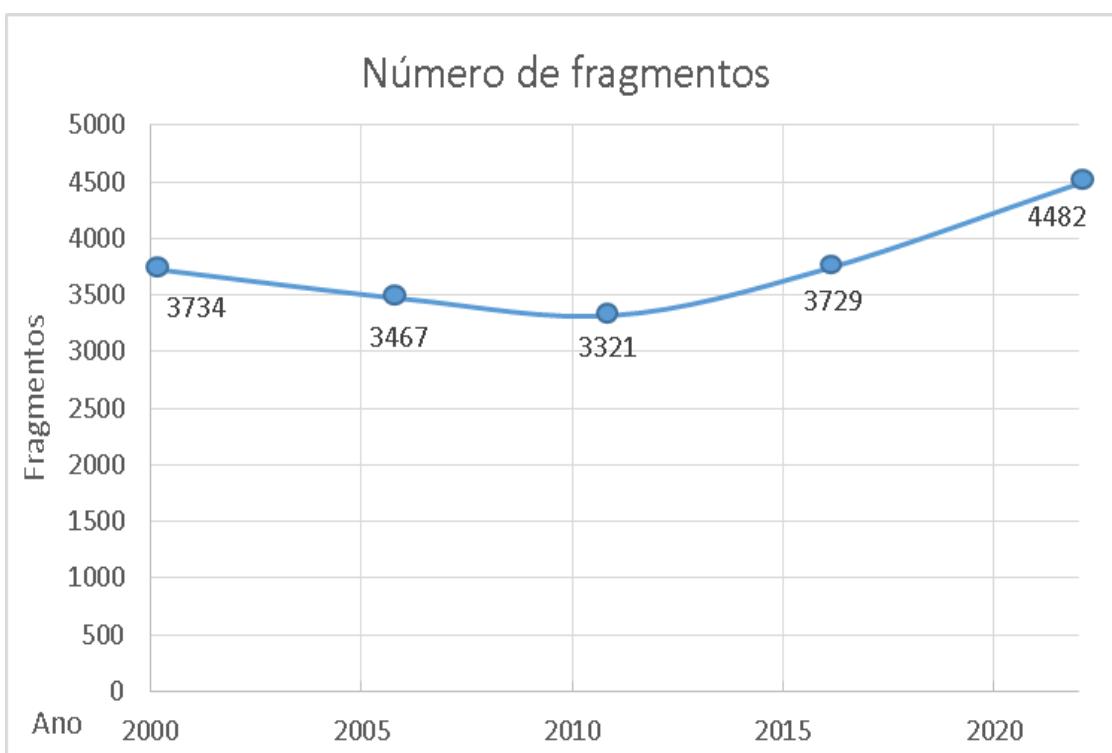


Figura 13: Fragmentação das áreas compostas por mata de galeria, cerradão e cerrado stricto sensu

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Observa-se, portanto, que ao longo das margens do Lago Corumbá IV, ocorreram transformações significativas, evidenciando que a situação ambiental representa riscos para os mananciais que abastecem o Distrito Federal e sua região circunvizinha. Este lago possui Áreas de Proteção e Conservação Ambiental, as quais deveriam ser objeto de uma fiscalização mais criteriosa, principalmente em suas áreas de matas ciliares e nascentes, com o objetivo de promover a conservação e a recuperação ambiental.

Conclusão

Os dados da pesquisa mostram uma redução significativa na área total da vegetação, passando de 271,76 Km² para 169,48 Km² ao longo do período analisado, nas áreas de matas de galerias, cerradão e cerrado stricto sensu. Esse declínio é acompanhado por um aumento na fragmentação do habitat, caracterizado pela formação de mais fragmentos menores (passando de 3734 fragmentos para 4482) e uma diminuição notável no tamanho do maior fragmento existente, que passou de 21,71 Km² para 4,7 Km². Essas tendências refletem as pressões ambientais e as atividades humanas, como a expansão agrícola, a urbanização e a construção de infraestrutura, que têm impactado negativamente essa paisagem.

O NDVI se mostrou um indicador radiométrico eficaz que, ao analisar os espectros do vermelho e do infravermelho próximo, conseguindo distinguir elementos bióticos (como plantas) de elementos abióticos (como água e solo exposto). Isso possibilita análises aprofundadas sobre a dinâmica da vegetação em uma paisagem. Os procedimentos aplicados nesta pesquisa, que integram dados geoespaciais com análises temporais e estruturais da vegetação, apresentam um grande potencial para serem adaptados e utilizados em outras áreas do Cerrado que possuem características semelhantes à região estudada. Essa abordagem contribui para o desenvolvimento de estratégias mais abrangentes aplicáveis à conservação e gestão ambiental.

Os resultados aqui apresentados destacam a necessidade urgente de proteger o Lago Corumbá IV de várias formas: intensificando a fiscalização das áreas de proteção ambiental e de todo o entorno do lago, colocando em prática planos de manejo e projetos de reflorestamento nas áreas que já foram prejudicadas, usando continuamente os dados obtidos por satélite para acompanhar de perto a situação e impedindo a construção ilegal de condomínios. Tudo isso para garantir que esta paisagem vital seja conservada e se mantenha saudável para o futuro.

A análise da vegetação dessa paisagem pode ser aprofundada com a aplicação de estudos de conectividade ecológica, visando compreender o fluxo genético e a resiliência dos fragmentos vegetais. Adicionalmente, a utilização de imagens de alta resolução, focadas em áreas de maior

pressão antrópica. Outra perspectiva promissora reside na análise da sazonalidade e no emprego de outros índices de vegetação, os quais poderão oferecer respostas mais precisas sobre a dinâmica da vegetação frente às variações climáticas e às mudanças no uso do solo.

Referências

- BAMLAKE, A.; YEMIRU, T. Economic Valuation of Forest Ecosystems Service's Role in Maintaining and Improving Water Quality. **Economics**. Vol. 4, No. 5, 2015. Disponível em: <https://www.sciencepublishinggroup.com/article/10.11648/j.eco.20150405.11>. Acesso em: 14 jun. 2025.
- CORDEIRO, A. P. A.; BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C.; MELO, R. W. de; SHIMABUKURO, Y. E.; FIOR, C. S. Regiões homogêneas de vegetação utilizando a variabilidade do NDVI. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 3, p. 883, 31 ago. 2017.
- DAMAME, D. B.; LONGO, R. M.; OLIVEIRA, E. D. Impactos ambientais pelo uso e ocupação do solo em sub bacias hidrográficas de Campinas, São Paulo, Brasil. **Acta Brasiliensis**, Campina Grande, v. 3, n. 1, p. 1-7, 2019.
- FORMAGGIO, A. R.; SANCHES, I. D. **Sensoriamento remoto em agricultura**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017. 288p.
- FELLET, J. **Como as raízes do Cerrado levam água a torneiras de todas as regiões do Brasil**. BBC Brasil. 2017. Acesso em: 28 fev. 2024.
- FRAZIER, A. E. Emerging trajectories for spatial pattern analysis in landscape ecology. **Landscape Ecology**, v. 34, n. 9, p. 2073-2082, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10980-019-00880-1>. Acesso em: 28 fev. 2024.
- GAMARRA, R. M., Texeira-Gamarra, M. C., Carrijo, M. G. G. & Paranhos Filho, A. C. (2016). Use of NDVI in the analysis of vegetation structure and effectiveness of protection of conservation units in the cerrado. **RAEGA**, v. 37, p 307. - 332 , Ago/2016.
- GOERL, R.F.; SIEFERT, C.A.C.; SCULTZ, G.B.; SANTOS, C.S.; SANTOS, I. Elaboração e Aplicação de índices de fragmentação e conectividade da

paisagem para análise de bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.5, n.1, p.1000-1012, 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico da vegetação brasileira: sistema fitogeográfico, inventário das formações florestais e campestres, técnicas e manejo de coleções botânicas, procedimentos para mapeamentos**. IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. - 2. ed., Rio de Janeiro, 2012, 276 p

KRIZEK, J.P.O.; SANTOS, L.C.M., 2021. Protocolo metodológico para obtenção dos valores de reflectância e de NDVI de imagens Landsat 8/OLI utilizando LEGAL. **Revista Brasileira de Geografia Física** v.14(2), 869–880. Disponível: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.2.p869-880>. Acesso: 08 mar. 2024.

MAPBIOMAS. **Desmatamento caiu em todos os biomas brasileiros em 2024**. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/2025/05/15/mapbiomas-desmatamento-caiu-em-todos-os-biomass-brasileiros-em-2024>. Acesso em: 12 jul. 2024a.

NIEBUHR, B.B.; CAVALCANTI, S.M.C.; VILALBA, E.A.; ALBERICO, V.V.; GEBIN, J.C.Z.; SANTOS, D.d.C.; BARBAN, A.d.B.; OLIVEIRA, R.d.; GURARIE, E.; MORATO, R.G. Land Use Effects on the Space Use and Dispersal of an Apex Predator in an Ecotone Between Tropical Biodiversity Hotspots. **Diversity** 2025. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1424-2818/17/6/435>. Acesso em: 12 jun. 2025.

OLIVEIRA, M. T.; CASSOL, H. L. G.; GANEM, K. A.; DUTRA, A. C.; PRIETO, J. D.; ARAI, E.; SHIMABUKURO, Y. E. Mapeamento da Vegetação do Cerrado – Uma Revisão das Iniciativas de Sensoriamento Remoto. **Revista Brasileira de Cartografia**, [S. I.], v. 72, p. 1250–1274, 2020. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/56591>. Acesso em: 12 jul. 2025.

PACUERA, **Plano Ambiental de Conservação e Uso do Entorno do Reservatório da UHE Corumbá IV** Walm Engenharia e Tecnologia Ambiental Ltda. (2011). Brasília, DF, Corumbá Concessões S.A. Disponível

em: <https://www.corumbaconcessoes.com.br/documentos/>. Acesso em:
12 jun. 2025.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. Sensoriamento remoto no estudo da vegetação. São José dos Campos: Parêntese, 2009.

RESENDE, T. M.; ROSOLEN, V. Conversão da vegetação de cerrado em pastagens: impactos ambientais e alterações no teor e natureza do carbono orgânico do solo. **Geografia**, Rio Claro, v. 36, n. 3, p. 609-621, set./dez. 2011. Disponível em: <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/ageteo/article/view/8462/5955>. Acesso em: 14 mai 2025.

ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEEERING, D.W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS (Earth Resources Technology Satellite). In: **PROCEEDINGS OF THE THIRD ERTS SYMPOSIUM**, SP-351 Goddard Space Flight Center, 1973, Washington: NASA, 1973, p. 309–317.

SILVA, O. F. Análise de imagens multitemporais do sensor TM Landsat-5 da vegetação do Cerrado, utilizando técnicas de NDVI, no Parque Nacional das Emas – Goiás. Dissertação de Mestrado em Tecnologias de Processos Sustentáveis - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Goiânia, 2014.

TAGLIARINI, F. S. N. Imagens de drone e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para classificação segmentada em Áreas de Preservação Permanente (APP). 2020. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2020.

USGS (United States Geological Survey). **Landsat project documents**. Disponível em:<https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-project-documents> . Acesso em: 12 de março de 2024.

Weber, E. J., Freire-Silva, J., & Oliveira, J. S. S. (2020). Considerações e procedimentos para o processamento do balanço de energia no software GRASS GIS 7.4.0: um estudo no município de Floresta (Pernambuco – Brasil). **Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto**,

v. 1, n. 1, 51-65. Disponível em: <https://rbsr.com.br/index.php/RBSR/article/view/7>. Acesso em: 12 mar 2024.

YANG, D.; ZHIYUAN, Y. WEN, Q.; MA, L.; GUO, J.; CHEN, A.; ZHANG, M.; XING X.; YUAN, Y.; LAN, X.; CHUN, Y. Dynamic monitoring of aboveground biomass in inner Mongolia grasslands over the past 23 Years. **Journal of Environmental Management**. V. 354. 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479724004018?via%3Dihub>. Acesso em: 10 mai 2025.

Anderson Muzzolon

Doutorando em Geografia na Universidade de Brasília (UnB), Licenciado, Bacharel e Mestre em Geografia pela Universidade Estadual do Centro Oeste (UNICENTRO). Atualmente é professor de Educação Básica da Secretaria de Educação do Distrito Federal (SEDF). Tem experiência no ensino de geografia, sensoriamento remoto, meio ambiente, percepção e educação ambiental.

E-mail: anderson_muzzolon@yahoo.com.br
Orcid: <https://orcid.org/0009-0007-1673-5633>

Ruth Elias de Paula Laranja

Graduada em Licenciatura e Bacharelado em Geografia pela Universidade de Brasília. Pós-Doutorado pela Universidade de Porto, Portugal. Doutorado pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (2002). Atualmente é professora associada I da Universidade de Brasília. Tem experiência na área de Geografia, com ênfase em Geografia Física, atuando principalmente nos seguintes temas: avaliação e impacto ambiental, gestão ambiental, biogeografia, áreas degradadas, ensino de geografia e geografia da saúde.

E-mail: laranja.ruth@unb.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2702-0100>

Recebido para publicação em setembro de 2024.

Aprovado para publicação em agosto de 2025.