

**INSTITUTO FEDERAL DE  
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA**  
**GOIANO**  
Campus Rio Verde - GO

**ENGENHARIA AMBIENTAL**

**CAMILA FERREIRA SILVA**

**ESTIMATIVA DA TURBIDEZ E ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO EM CORPOS  
HÍDRICOS LÊNTICOS URBANOS EM RIO VERDE-GO**

**RIO VERDE – GO**

**2025**

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO - CÂMPUS RIO VERDE – GO**

**ENGENHARIA AMBIENTAL**

**CAMILA FERREIRA SILVA**

**ESTIMATIVA DA TURBIDEZ E ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO EM CORPOS  
HÍDRICOS LÊNTICOS URBANOS EM RIO VERDE-GO**

Trabalho de Curso apresentado ao Instituto Federal de  
Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus  
Rio Verde – GO como requisito parcial para obtenção  
do título de bacharel em Engenharia Ambiental.  
Orientador: Dr. Lucas Peres Angelini

Rio Verde – GO  
NOVEMBRO/2025

# TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO

## PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS

### NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

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

#### IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- ☐ Tese (doutorado)  
☐ Dissertação (mestrado)  
☐ Monografia (especialização)  
☐ TCC (graduação)

- ☒ Artigo científico  
☐ Capítulo de livro  
☐ Livro  
☐ Trabalho apresentado em evento

☐ Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Camila Ferreira Silva

Matrícula:

2020102200740080

Título do trabalho:

ESTIMATIVA DA TURBIDEZ E ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO EM CORPOS HÍDRICOS LÊNTICOS URBANOS  
EM RIO VERDE GO

#### RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: ☒ Não ☐ Sim, justifique:

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


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

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

#### DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

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

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

Documento assinado digitalmente  
 CAMILA FERREIRA SILVA  
Data: 20/11/2025 08:46:45-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Nova Mutum - MT

Local

20 / 11 / 2025

Data

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a)



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

Ata nº 30/2025 - CCBEAMB-RV/GGRAD-RV/DE-RV/CMPRV/IFGOIANO

### ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

No dia 19 de Novembro de 2025, às 09 horas, reuniu-se a banca examinadora composta pelos docentes: Lucas Peres Angelini (orientador), Raysa Moraes Castro (membro), Bruno de Oliveira Costa Couto (membro), para examinar o Trabalho de Curso intitulado “**Estimativa da Turbidez e Índice De Estado Trófico Em Corpos Hídricos Lênticos Urbanos Em Rio Verde-GO**” do estudante **Camila Ferreira Silva (2020102200740080)** do Curso de Engenharia Ambiental do IF Goiano – Campus Rio Verde. A palavra foi concedida ao estudante para a apresentação oral do Trabalho de Curso. Após a apresentação do estudante houve arguição do candidato pelos membros da banca examinadora. Após tal etapa, a banca examinadora reuniu-se e decidiu pela APROVAÇÃO do estudante. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata que segue assinada pelos membros da Banca Examinadora.

*(Assinado Eletronicamente)*

Lucas Peres Angelini

Orientador

*(Assinado Eletronicamente)*

Raysa Moraes Castro

Membro

*(Assinado Eletronicamente)*

Bruno de Oliveira Costa Couto

Membro

**Observação:**

( ) O(a) estudante não compareceu à defesa do TC.

Documento assinado eletronicamente por:

- **Lucas Peres Angelini, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 19/11/2025 14:23:16.
- **Bruno de Oliveira Costa Couto, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 19/11/2025 14:53:02.
- **Raysa Moraes Castro, 2022102320140012 - Discente**, em 19/11/2025 14:55:32.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 19/11/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

**Código Verificador:** 764899

**Código de Autenticação:** ebd0b0fc4c



INSTITUTO FEDERAL GOIANO  
Campus Rio Verde  
Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, 01, Zona Rural, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970  
(64) 3624-1000



## ESTIMATIVA DA TURBIDEZ E ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO EM CORPOS HÍDRICOS LÊNTICOS URBANOS EM RIO VERDE-GO

Camila Ferreira Silva<sup>1</sup>  
Alinne de Assis Veras Queiroz<sup>2</sup>  
Carlos Fernando de O. Vasconcelos<sup>3</sup>  
Derek Keppk Toledo<sup>4</sup>  
Guilherme Barros Souza<sup>5</sup>  
Lucas Peres Angelini<sup>6</sup>

### RESUMO

**Introdução:** O monitoramento das águas superficiais constitui uma atividade de grande relevância para a gestão dos recursos hídricos. Dentre as possibilidades de monitoramento está o uso de ferramentas espaciais, como exemplo, o sensoriamento remoto. Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo testar modelos de índices espectrais, turbidez superficial, clorofila a e o índice de estado trófico dos corpos hídricos lênticos urbanos do município de Rio Verde para o ano de 2023. Foram utilizados dados de reflectância da superfície obtidas pelo sensor OLI do Landsat 8 obtidas do Serviço Geológico Americano, obtidas do serviço geológico americano e reprojatadas para sul. A aquisição das imagens ocorreu via Google Earth Engine. Os índices espectrais NDTI, NDWI, turbidez, clorofila a e estado trófico foram calculados a partir das refletâncias da superfície utilizando modelos amplamente difundidos na literatura. Os dados foram processados utilizando o software Qgis e o software R. Referente aos resultados, foi-se analisado maior variabilidade, em relação aos índices apresentados, no período de seca, principalmente no mês de maio, aliado a altos valores de turbidez no mês de dezembro e menores no mês de junho, evidenciando que as condições climáticas são agentes atuantes direto sobre a qualidade da água, dado o maior escoamento superficial, ou o menor volume de água que impede a dissolução de nutrientes e dos sólidos suspensos, contribuindo ativamente em processos de degradação dos ecossistemas aquáticos. As áreas de estudo foram identificadas como eutróficas, segundo a classificação do Índice de Estado Trófico de Lamparelli (2004), com presença moderada de nutrientes e formação inicial de fitoplânctons. Verificou-se a aplicabilidade de modelos de turbidez para região e identificou possíveis efeitos da poluição hídrica na qualidade da água. A partir desta pesquisa é possível adotar estratégias de gestão ambiental e hídrica que podem vir a ser eficientes para o controle e monitoramento da qualidade da água dos corpos hídricos em estudo, principalmente no Lago Dona Gercina e no Lago Interlagos, que apresentaram níveis elevados de clorofila – a e turbidez, respectivamente.

**Objetivo:** Testar modelos de índices espectrais, turbidez superficial, clorofila-a e o Índice de Estado Trófico dos corpos hídricos lênticos urbanos de Rio Verde (GO), referentes ao ano de 2023, utilizando técnicas de sensoriamento remoto.

**Referencial Teórico:** A pesquisa fundamenta-se em estudos que abordam a aplicação de índices espectrais no monitoramento da qualidade da água, com destaque para a turbidez e a clorofila-a como indicadores ambientais. O Índice de Estado Trófico proposto por Lamparelli (2004) constitui referência essencial para a classificação trófica dos corpos d'água e a avaliação do grau de eutrofização.

**Método:** Foram utilizados dados de reflectância obtidos pelo sensor OLI do satélite Landsat 8, fornecidos pelo Serviço Geológico Americano e processados na plataforma Google Earth Engine. Os índices NDTI, NDWI, turbidez, clorofila-a e IET foram calculados com base em modelos amplamente difundidos na literatura. O processamento e a análise dos dados foram realizados nos softwares QGIS e R, possibilitando a avaliação espacial e temporal da qualidade da água.

<sup>1</sup> Instituto Federal Goiano - campus Rio Verde, Rio Verde, Goiás, Brasil.

E-mail: [camila.silva.estudante@gmail.com](mailto:camila.silva.estudante@gmail.com)

<sup>2</sup> Instituto Federal Goiano - campus Rio Verde, Rio Verde, Goiás, Brasil. E-mail: [alinne.queiroz@ifgoiano.edu.br](mailto:alinne.queiroz@ifgoiano.edu.br)

<sup>3</sup> Instituto Federal Goiano - campus Rio Verde, Rio Verde, Goiás, Brasil. E-mail: [carlos.fernando2396@gmail.com](mailto:carlos.fernando2396@gmail.com)

<sup>4</sup> Instituto Federal Goiano - campus Rio Verde, Rio Verde, Goiás, Brasil. E-mail: [derek.k.toledo@gmail.com](mailto:derek.k.toledo@gmail.com)

<sup>5</sup> Instituto Federal Goiano - campus Rio Verde, Rio Verde, Goiás, Brasil. E-mail: [barrosquirv99@gmail.com](mailto:barrosquirv99@gmail.com)

<sup>6</sup> Instituto Federal Goiano - campus Trindade, Goiânia, Goiás, Brasil. E-mail: [lucas.angelini@ifgoiano.edu.br](mailto:lucas.angelini@ifgoiano.edu.br)



**Resultados e Discussão:** Os resultados indicaram maior variabilidade dos índices espectrais no período seco, especialmente em maio, e valores elevados de turbidez em dezembro. As áreas analisadas foram classificadas como eutróficas. Verificou-se a aplicabilidade dos modelos de turbidez para a região e a influência das condições climáticas e da poluição hídrica sobre a qualidade da água, reforçando a necessidade de ações de gestão ambiental.

**Implicações da Pesquisa:** Os achados oferecem suporte técnico e científico para a formulação de políticas públicas voltadas à conservação e gestão da qualidade da água, incentivando práticas sustentáveis de uso e ocupação do solo. Além disso, demonstram a viabilidade do sensoriamento remoto como alternativa de baixo custo e alta eficiência para o monitoramento contínuo dos recursos hídricos urbanos.

**Originalidade/Valor:** A originalidade do estudo está na aplicação integrada de diferentes índices espectrais, que se mostraram eficientes para avaliar parâmetros relacionados à qualidade da água. A pesquisa evidencia a viabilidade do sensoriamento remoto como ferramenta prática e econômica, oferecendo subsídios técnicos para o monitoramento ambiental e a gestão hídrica no município de Rio Verde (GO).

**Palavras-chave:** Sensoriamento Remoto, Poluição Hídrica, Índices Espectrais, Estado Trófico.

## ESTIMATION OF TURBIDITY AND TROPHIC STATE INDEX IN URBAN LENTIC WATER BODIES IN RIO VERDE, GOIÁS, BRAZIL

### ABSTRACT

**Introduction:** The monitoring of surface waters is a highly relevant activity for water resources management. Among the available monitoring alternatives is the use of spatial tools, such as remote sensing. Thus, this study aimed to test spectral index models, surface turbidity, chlorophyll-a, and the Trophic State Index (TSI) in urban lentic water bodies of Rio Verde, Goiás, for the year 2023. Surface reflectance data obtained by the OLI sensor onboard the Landsat 8 satellite were used, provided by the United States Geological Survey (USGS) and reprojected for the southern hemisphere. The images were acquired through the Google Earth Engine platform. The spectral indices NDTI, NDWI, turbidity, chlorophyll-a, and TSI were calculated from surface reflectance using models widely disseminated in the literature. Data processing was performed using QGIS and R software. Regarding the results, greater variability in the analyzed indices was observed during the dry period, especially in May, along with higher turbidity values in December and lower ones in June, evidencing that climatic conditions directly influence water quality. These variations are associated with increased surface runoff or reduced water volume, which limits the dilution of nutrients and suspended solids, actively contributing to the degradation of aquatic ecosystems. The study areas were identified as eutrophic, according to the classification of the Trophic State Index proposed by Lamparelli (2004), showing moderate nutrient levels and the initial formation of phytoplankton. The applicability of turbidity models to the region was verified, as well as the identification of possible effects of water pollution on water quality. This research demonstrates that the adoption of environmental and water management strategies may be effective for the control and monitoring of water quality in the studied water bodies, particularly in Lago Dona Gercina and Lago Interlagos, which presented high levels of chlorophyll-a and turbidity, respectively.

**Objective:** To test spectral index models, surface turbidity, chlorophyll-a, and the Trophic State Index of urban lentic water bodies in Rio Verde (GO), for the year 2023, using remote sensing techniques.

**Theoretical Framework:** The research is based on studies addressing the application of spectral indices in water quality monitoring, emphasizing turbidity and chlorophyll-a as environmental indicators. The Trophic State Index proposed by Lamparelli (2004) serves as a key reference for classifying water bodies and assessing eutrophication levels.

**Method:** Surface reflectance data from the OLI sensor onboard the Landsat 8 satellite were used, provided by the United States Geological Survey (USGS) and processed on the Google Earth Engine platform. The NDTI, NDWI, turbidity, chlorophyll-a, and TSI indices were calculated based on models widely recognized in the scientific literature. Data processing and analysis were performed using QGIS and R software, allowing spatial and temporal assessment of water quality.

**Results and Discussion:** The results indicated greater variability of spectral indices during the dry period, especially in May, and higher turbidity values in December. The analyzed areas were classified as eutrophic. The



applicability of turbidity models for the region was confirmed, as well as the influence of climatic conditions and water pollution on water quality, reinforcing the need for environmental management actions.

**Research Implications:** The findings provide technical and scientific support for the formulation of public policies aimed at the conservation and management of water quality, promoting sustainable land use and occupation practices. Furthermore, they demonstrate the feasibility of remote sensing as a low-cost and highly efficient alternative for continuous monitoring of urban water resources.

**Originality/Value:** The originality of this study lies in the integrated application of different spectral indices, which proved effective in evaluating parameters related to water quality. The research highlights the practicality and cost-effectiveness of remote sensing as a tool, offering technical insights for environmental monitoring and water management in the municipality of Rio Verde (GO).

**Keywords:** Remote Sensing, Water Pollution, Spectral Indices, Trophic State.

## ESTIMACIÓN DE LA TURBIDEZ Y EL ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO EN CUERPOS DE AGUA LÉNTICOS URBANOS EN RIO VERDE-GO

### RESUMEN

**Introducción:** El monitoreo de aguas superficiales es una actividad fundamental para la gestión de los recursos hídricos. Entre las posibilidades de monitoreo se encuentra el uso de herramientas espaciales, como la teledetección. Por lo tanto, este estudio tuvo como objetivo probar modelos de índices espectrales, turbidez superficial, clorofila a e índice de estado trófico de cuerpos de agua lênticos urbanos en el municipio de Rio Verde para el año 2023. Se utilizaron datos de reflectancia superficial obtenidos del sensor OLI del Landsat 8, proporcionados por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) y reproyectados hacia el sur. La adquisición de imágenes se realizó mediante Google Earth Engine. Los índices espectrales NDTI, NDWI, turbidez, clorofila a e índice de estado trófico se calcularon a partir de las reflectancias superficiales utilizando modelos ampliamente difundidos en la literatura. Los datos se procesaron con los programas QGIS y R. En cuanto a los resultados, se observó una mayor variabilidad en los índices presentados durante la estación seca, principalmente en mayo, junto con altos valores de turbidez en diciembre y valores más bajos en junio. Esto pone de manifiesto que las condiciones climáticas influyen directamente en la calidad del agua, dado que la mayor escorrentía superficial o el menor volumen de agua impiden la disolución de nutrientes y sólidos en suspensión, contribuyendo activamente a la degradación de los ecosistemas acuáticos. Las zonas de estudio se identificaron como eutróficas, según la clasificación del Índice de Estado Trófico de Lamparelli (2004), con una presencia moderada de nutrientes y formación incipiente de fitoplancton. Se verificó la aplicabilidad de los modelos de turbidez para la región y se identificaron los posibles efectos de la contaminación del agua en su calidad. A partir de esta investigación, es posible adoptar estrategias de gestión ambiental e hídrica que resulten eficaces para el control y el monitoreo de la calidad del agua de los cuerpos de agua estudiados, principalmente en el lago Dona Gercina y el lago Interlagos, que presentaron altos niveles de clorofila a y turbidez, respectivamente.

**Objetivo:** Evaluar modelos de índices espectrales, turbidez superficial, clorofila a y el Índice de Estado Trófico (IET) de cuerpos de agua lênticos urbanos en Rio Verde (GO), correspondientes al año 2023, mediante técnicas de teledetección.

**Marco Teórico:** Esta investigación se fundamenta en estudios que abordan la aplicación de índices espectrales en el monitoreo de la calidad del agua, destacando la turbidez y la clorofila a como indicadores ambientales. El IET propuesto por Lamparelli (2004) constituye una referencia esencial para la clasificación trófica de cuerpos de agua y la evaluación del grado de eutrofización.

**Método:** Se utilizaron datos de reflectancia obtenidos del sensor OLI del satélite Landsat 8, proporcionados por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) y procesados en la plataforma Google Earth Engine. Los índices NDTI, NDWI, turbidez, clorofila a e IET se calcularon a partir de modelos ampliamente difundidos en la literatura. El procesamiento y análisis de datos se realizó con los programas QGIS y R, lo que permitió la evaluación espacial y temporal de la calidad del agua.

**Resultados y Discusión:** Los resultados indicaron una mayor variabilidad en los índices espectrales durante la estación seca, especialmente en mayo, y altos valores de turbidez en diciembre. Las áreas analizadas se clasificaron como eutróficas. Se verificó la aplicabilidad de los modelos de turbidez a la región y la influencia de las





condições climáticas y la contaminación del agua en su calidad, lo que refuerza la necesidad de acciones de gestión ambiental.

**Implicaciones de la Investigación:** Los hallazgos ofrecen apoyo técnico y científico para la formulación de políticas públicas dirigidas a la conservación y gestión de la calidad del agua, fomentando prácticas sostenibles de uso y ocupación del suelo. Además, demuestran la viabilidad de la teledetección como una alternativa de bajo costo y alta eficiencia para el monitoreo continuo de los recursos hídricos urbanos.

**Originalidad/Valor:** La originalidad del estudio radica en la aplicación integrada de diferentes índices espectrales, que demostraron ser eficientes para evaluar parámetros relacionados con la calidad del agua. La investigación destaca la viabilidad de la teledetección como herramienta práctica y económica, que ofrece apoyo técnico para el monitoreo ambiental y la gestión del agua en el municipio de Rio Verde (GO).

**Palabras clave:** Teledetección, Contaminación del Agua, Índices Espectrales, Estado Trófico.

RGSA adota a Licença de Atribuição CC BY do Creative Commons (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



## 1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural e renovável, fundamental para o desenvolvimento e manutenção das diversas formas de vida, bem como para atividades antrópicas, tais como o abastecimento humano, irrigação, harmonia paisagística e lazer (Leite, 2020). Além disso, a eutrofização de águas é considerada um dos maiores problemas ambientais atuais em escala mundial, resultante do aumento na concentração de nutrientes, como fósforo e nitrogênio, levando a afloração de algas e plantas aquáticas, gerando como consequência a deterioração da qualidade da água e destruição da ecossistema (Machado e Baptista, 2016; Hu et al., 2021).

Em lagos e reservatórios, é comum a presença de algas, as quais podem atuar como indicadores de qualidade da água. Além disso, é possível detectar algas através do sensoriamento remoto, o princípio baseia-se na reflectância espectral, cor da água, onde diferentes componentes do corpo hídrico, como a clorofila-a, pigmento verde presente nas algas, interagem com a luz solar de maneiras distintas, produzindo "assinaturas espectrais" únicas (Klemas, 2012). De forma semelhante, a detecção de partículas em suspensão na água pode ser realizada pela relação entre reflectâncias da superfície e a turbidez, o que indicaria presença de sedimentos e possíveis lançamentos de efluentes e resíduos no ambiente aquático (Andrade et al., 2024)

Tradicionalmente, a qualidade da água e o estado trófico de reservatórios são monitorados e avaliados por meio da coleta de dados limnológicos, que podem ser onerosos e de difícil aplicação em larga escala (Machado e Baptista, 2016; Shi et al., 2019). A coleta de amostras de água em campo envolve custos elevados devido aos desafios enfrentados, como



deslocamento para áreas de difícil acesso, necessidade de contratação de profissionais, transporte e equipamentos. Essas limitações tornam o monitoramento tradicional caro e pouco acessível (Brito, 2018).

Nesse contexto, o sensoriamento remoto surge como uma ferramenta fundamental e promissora para complementar os programas de monitoramento usuais (Yang et al., 2022). As técnicas de sensoriamento remoto têm sido cada vez mais utilizadas para avaliar diferentes tipos de substâncias em corpos d'água urbanos (Yang et al., 2022; Adjovu et al., 2023). Essa tecnologia permite explorar as mudanças temporais e espaciais em lagos e monitorar a eutrofização, fornecendo a capacidade de estudar a frequência e a área afetada pelas florações de algas (Hu et al., 2021).

Um exemplo notável na utilização do sensoriamento remoto para estudos em corpos hídricos foi-se realizado no Rio Doce, em Minas Gerais, após o rompimento da Barragem de Fundão, em 2015, um dos maiores desastres ambientais registrados no Brasil, que despejou 40 bilhões de litros de rejeitos de minério na bacia. Neste contexto, imagens do satélite Landsat 8 foram empregadas para monitorar parâmetros de qualidade da água, como a turbidez e a transparência (profundidade do disco de Secchi), desde o local do desastre até a chegada ao Oceano Atlântico (Brito et al., 2022). Outro caso foi a estimativa da turbidez da água em reservatórios urbanos, como o de Guarapiranga, em São Paulo, utilizando imagens Sentinel-2 (Silva & Santos, 2021). Esses estudos demonstram que, por meio do sensoriamento remoto, é possível monitorar os impactos ambientais em lagos e em locais de difícil acesso.

Diversos índices espectrais foram desenvolvidos como produtos do sensoriamento remoto para o estudo de ambientes aquáticos. Esses índices são variáveis adimensionais derivadas da reflectância espectral de um elemento, utilizando duas ou mais bandas (Jesus et al., 2023). Os mesmos resultam de operações matemáticas entre os valores numéricos dos pixels das bandas de uma imagem, combinando canais espectrais, e são empregados para indicar a presença, condição e vigor de determinado alvo (Jesus et al., 2023). Seu emprego, possibilita a integração e combinação de diferentes parâmetros (Fitz, 2008).

Um índice em destaque para estudos em corpos hídricos é o Índice de Turbidez de Diferença Normalizada (NDTI), especificamente útil para avaliar a turbidez em corpos hídricos (Araujo et al., 2025). Um estudo realizado por Somvanshi et al. (2011) demonstrou que o uso do NDTI é eficaz na análise da qualidade da água e sua relação com a turbidez, por meio da comparação com dados coletados in situ (Araujo et al., 2025). A pesquisa no Reservatório da Usina Hidrelétrica Marechal Mascarenhas de Moraes (MG), utilizou o NDTI para avaliar o



aporte de sedimentos entre 2015 e 2023, demonstrando a eficácia do índice na avaliação do aporte de sedimentos em ambientes aquáticos (Araujo et al., 2025).

Além do NDTI, outros parâmetros e índices são avaliados pelo sensoriamento remoto para a qualidade da água como o Índice de Diferença Normalizada da Água (NDWI), ao qual é utilizado para filtrar e delinear pixels que correspondem a corpos d'água abertos, proposto por McFeeters (1996). Os modelos de estimativa de clorofila, estado trófico e turbidez (Assunção, 2023)

A turbidez, por sua vez, é um parâmetro essencial na análise da qualidade de água, representando a medida de transparência da mesma, derivada da quantidade de luz que sofre refração pelos constituintes presentes na água (Brito et al., 2022). Inclui a contribuição de matéria inorgânica, como sedimentos em suspensão, e matéria orgânica, como fitoplâncton e resíduos orgânicos (Assunção, 2023). Altos valores de turbidez podem afetar a vida aquática devido à redução da fotossíntese e prejudicar os usos recreacionais da água (Assunção, 2023; Leite, 2020). No Rio Doce, por exemplo, um estudo demonstrou aumento na turbidez de cerca de 445% na estação RD033 durante o período de propagação do desastre da Barragem de Fundão (Brito et al., 2022). A banda do infravermelho próximo (NIR) do Landsat-8 e as bandas RedEdge/NIR do Sentinel-2 demonstraram alta correlação com a turbidez, indicando sua sensibilidade a mudanças nesse parâmetro (Assunção, 2023).

A clorofila-a é um parâmetro-chave para estimar a biomassa de fitoplâncton e, conseqüentemente, avaliar a saúde de ecossistemas aquáticos. Sua mensuração permite classificar o nível trófico da água, identificando o excesso de nutrientes e crescimento de algas. A análise da distribuição geográfica desses níveis é uma técnica de monitoramento crucial, que facilita o entendimento dos padrões espaciais de produtividade primária e de suas variações ao longo de um rio, lago ou represa (Silva et al., 2018).

O monitoramento de mananciais exige a análise de diversos parâmetros de qualidade da água, aos quais refletem a saúde ambiental e o grau de eutrofização do local. Dentre os métodos mais empregados para essa avaliação está o Índice de Estado Trófico (IET). Desenvolvido inicialmente por Carlson (1977) para regiões de clima temperado, o índice foi subsequentemente adaptado por Toledo Júnior (1983) para ambientes lênticos tropicais e mais tarde, reformulados por Lamparelli (2004) para aplicação universal. Na prática, o IET é uma ferramenta crucial, pois quantifica o aporte de nutrientes e permite determinar de forma objetiva o estágio de eutrofização em um ecossistema aquático.

Diante dos impactos da urbanização e atividades antrópicas, que incluem a contaminação por esgoto doméstico, ocupação irregular das margens dos rios e desmatamento



da mata ciliar (Silva et al., 2008; Torres & Fabian, 2006), torna-se cada vez mais necessário o uso de ferramentas complementares como o sensoriamento remoto para contribuir com ações de planejamento e conservação da qualidade das águas (Silveira, 2011).

O município de Rio Verde – GO nos últimos anos tem focado na formação de lagos como política de bem-estar social, proporcionando áreas de lazer, convivência e contato com a natureza à população. Um exemplo foi a implantação de um novo parque com lago, pista de caminhada e áreas de esporte e lazer (RIO VERDE, 2023). Essas ações demandam constante monitoramento da qualidade da água, pois as atividades industriais e o crescimento populacional desordenado resultam em desequilíbrios significativos neste recurso (Monteiro, 2016). A deterioração da qualidade da água urbana, em particular, compromete a segurança da água potável e a saúde humana (Brito et al., 2022). Reservatórios próximos a grandes centros urbanos são mais suscetíveis à eutrofização e à proliferação de cianobactérias, que podem produzir toxinas prejudiciais (Regis et al., 2024; Leite, 2020; Assunção, 2023).

Com isso, o sensoriamento remoto demonstra ser uma ótima ferramenta para o monitoramento da qualidade hídrica de ambientes lênticos, a utilização de sensores como o Landsat 8 permite a obtenção de dados em larga escala, com resolução para detectar alterações nos parâmetros da água, como turbidez, concentração de clorofila-a, IET e material particulado em suspensão.

Diante disso, o objetivo desta pesquisa foi estimar a turbidez superficial e o índice de estado trófico em corpos hídricos lênticos urbanos em Rio Verde – GO, aplicado apenas em lagos com largura/tamanho acima de 90 metros para o ano 2023 a partir de dados orbitais dos sensores OLI do satélite Landsat 8.

## 2 MÉTODO / MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo analisou a relação entre o uso e ocupação do solo e a qualidade dos corpos hídricos urbanos de Rio Verde (GO), com foco na turbidez, clorofila-a e no Índice de Estado Trófico (IET). Foram utilizadas técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, integrando dados do sensor OLI do satélite Landsat 8, processados na plataforma Google Earth Engine.

Os índices NDTI, NDWI, clorofila-a e IET foram calculados com base em modelos consagrados na literatura, e os dados analisados nos softwares QGIS e R. A classificação trófica seguiu a metodologia de Lamparelli (2004).



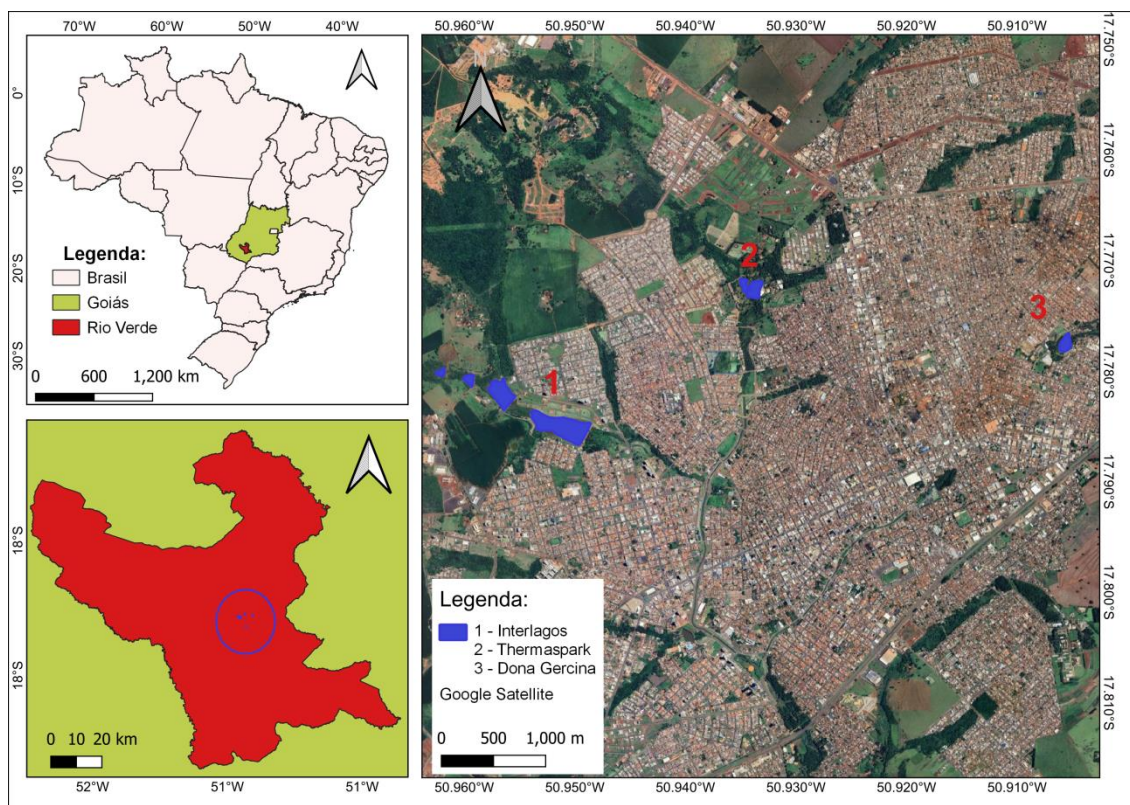
## 2.1 ÁREA DE ESTUDO

Foram estudados os ambientes lênticos dentro do perímetro urbano de Rio Verde, Goiás, Brasil. Os corpos hídricos selecionados possuem largura e comprimento de pelo menos 90 metros para aplicação da metodologia. Nesse sentido, foram priorizados os corpos hídricos com maior lâmina d'água possível. Dessa forma, foram selecionados 03 lagos, sendo eles: Lago Interlagos, Lago Dona Gercina e Lago Silvestre Park (Figura 1).

O município de Rio Verde ( $17^{\circ} 47' 53''$  S e  $51^{\circ} 55' 53''$  W) está localizado na microrregião Sudoeste do Estado de Goiás, na Região Centro Oeste do Brasil. A população estimada do município para 2025 é de 241.494 habitantes de acordo com as estimativas da população residente no Brasil e Unidades da federação (IBGE, 2025). A cidade fica a 220 km de Goiânia, capital do Estado, e a 420 km de Brasília, capital do Brasil. A vegetação natural predominante é o cerrado, apesar da modificação da paisagem devido ao avanço do agronegócio no município. O clima da região, segundo Köppen é do tipo Aw tropical caracterizado por estação chuvosa de novembro a maio e estação seca entre junho e outubro. A média anual da precipitação pluvial é de 1.500 mm, e a média anual da temperatura, de  $23^{\circ}$  C (INMET, 2025).

**Figura 1**

*Mapa da área de estudo, Município de Rio Verde, Estado de Goiás e Brasil.*







## 2.2 DADOS RADIOMÉTRICOS DE SENSORES ORBITAIS

As imagens de refletância da superfície projetadas pelo sensor OLI (*Operational Land Imager*) da série de satélites Landsat-8, já corrigidas dos efeitos da atmosfera, foram adquiridas gratuitamente do USGS (United States Geological Survey) a partir da ferramenta *googleearthengine*, baseando-se na localização geográfica (latitude e longitude). Foram selecionados imagem com cobertura de nuvens abaixo de 5%. Os processamentos das imagens foram executados no software Qgis 3.28.

O sensor OLI opera em nove bandas espectrais, todos com resolução de 30 m, o TIRS opera também em duas bandas termais (resolução de 100 m, mas reamostradas para 30 m).

A resolução temporal do satélite Landsat-8, que carrega o sensor OLI, é de 16 dias, significando que ele revisita a mesma área da superfície terrestre a cada 16 dias, essa capacidade de obter informações de uma mesma área em intervalos de tempo regulares é um dos maiores benefícios dos dados multitemporais, tornando-os adequados para o acompanhamento das mudanças que ocorrem na paisagem (GALO & NOVO, 2000; CHAVEZ JR., 1996).

O sensor OLI do Landsat-8 possui uma resolução radiométrica de 12 bits, que é reamostrada para 16 bits, isso significa que o sensor é capaz de registrar a intensidade da energia eletromagnética com grande precisão, distinguindo até 4096 níveis de tons de brilho (para 12 bits) ou 65.536 níveis de cinza (para 16 bits), o que confere alta sensibilidade e detalhe radiométrico nas imagens, os pixels em uma imagem de satélite são quantificados em níveis de brilho discretos que representam a parcela da energia eletromagnética captada pelos detectores de um sistema de imageamento orbital (GALO & NOVO, 2000).

A consistência radiométrica é vital para a comparação de dados multitemporais (GALO & NOVO, 2000), pois a quantidade de radiação registrada é influenciada por fatores externos à superfície de imageamento, entre os quais a própria atmosfera (GALO & NOVO, 2000; CHAVEZ JR., 1996). Os efeitos atmosféricos podem ser tanto aditivos quanto multiplicativos, dependentes do comprimento de onda, e incluem fenômenos de espalhamento, absorção e refração da luz (GALO & NOVO, 2000; CHAVEZ JR., 1996). Além das condições atmosféricas, diferenças nos ângulos de inclinação e visada, assim como nos parâmetros do sensor, também afetam a radiância e dificultam a comparação de cenas de uma mesma área obtidas em diferentes datas (GALO & NOVO, 2000; SCHOTT et al., 1988).



## 2.3 ESTIMATIVA DOS ÍNDICES ESPECTRAIS

No presente estudo foram utilizados os índices espectrais NDWI e NDTI (Assunção, 2023), calculados a partir dos dados do satélite landsat – 8

$$NDWI = \frac{B_{NIR} - B_{SWIR}}{B_{NIR} + B_{SWIR}} \quad (1)$$

$$NDTI = \frac{B_{Red} - B_{Green}}{B_{Red} + B_{Green}} \quad (2)$$

Em que  $\rho_2$  representa a refletância da banda SWIR

A estimativa da turbidez superficial foi realizada a partir do modelo proposto por Assunção et al.(2023) que utiliza dados orbitais, em específico, da banda NIR do satélite Landsat para estimativa da turbidez em ambientes lênticos:

$$Turbidez = 1749,89 NIR - 11,8 \quad (3)$$

Em que:

*NIR* representa a refletância da superfície da banda do infravermelho próximo do satélite Landsat 8 e 9.

## 2.4 ESTIMATIVA DA TURBIDEZ EM LAGOS

O índice de estado trófico (IET) foi desenvolvido por Carson (1977), sendo estimado com base nos dados de transparência (disco de secchi), concentração de minerais como fósforo e também dos constituintes biológicos como a clorofila A (CL-A). Esse índice foi amplamente aplicado em estudos limnológicos, bem como ferramenta de gestão dos recursos hídricos. Atualmente, estudos têm sido desenvolvidos com objetivo de estimar o IET com dados orbitais a partir de estimativas da CL-A. No presente estudo o IET foi estimado segundo a equação proposta por Lamparelli, 2004:

$$IET = 10 \times \left\{ 6 - \left[ 0,92 - 0,34 \times \left( \frac{\ln CL_a}{\ln 2} \right) \right] \right\} \quad (4)$$








A clorofila A pode ser estimada utilizando a equação proposta por WANG et al. (2008), a partir das bandas correspondentes do espectro vermelho (Red) ao verde (Green) do Landsat.

$$Cl_a = 20,115 \times \left[ \frac{\left( \frac{Red}{Green} - 1 \right)}{\left( \frac{Red}{Green} + 1 \right)} \right] + 7,045 \quad (5)$$

Para determinar os níveis de eutrofização, foi proposto por LAMPARELLI (2004) as seguintes classificações:

**Tabela 1**

*Classificação do IET por estados tróficos.*

Estado Trófico	Faixa de Valores	Cor
Ultraoligotrófico	$IET \leq 47$	
Oligotrófico	$47 \leq IET < 52$	
Mesotrófico	$52 \leq IET < 59$	
Eutrófico	$59 \leq IET < 63$	
Supereutrófico	$63 \leq IET \leq 67$	

Fonte: LAMPARELLI (2004)

## 2.5 PROCESSAMENTO DOS DADOS E ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Após a estimativa dos índices espectrais e do estado trófico, foi realizado a extração dos valores das áreas de estudo. Para este fim utilizou-se o software qgis 3.28. Os dados espectrais foram amostrados utilizando pontos dispostos no interior dos lagos. Posteriormente, foi executado a extração dos valores dos índices a partir dos pontos utilizando a ferramenta “AddRasterValues to Points” do SAGA. Por fim, os dados armazenados na tabela de atributos foram exportados em formato xls, formato aceito no software excel.





### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Resultados da análise espaço-temporal do uso e ocupação do solo e sua relação com a qualidade dos corpos hídricos urbanos de Rio Verde (GO), utilizando como indicadores a turbidez, clorofila-a e o Índice de Estado Trófico (IET), com foco nos lagos Interlagos, Thermaspark e Dona Gercina, evidenciando variações sazonais e heterogeneidade espacial relacionadas ao uso do solo, às condições climáticas e à vulnerabilidade à eutrofização.

#### 3.1 AVALIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DOS ÍNDICES ESPECTRAIS

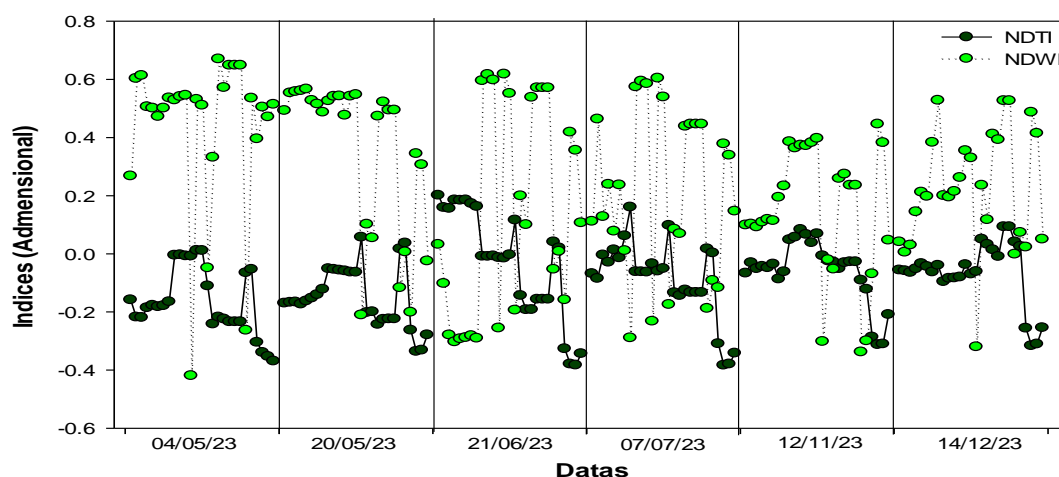
Em 1985, a bacia hidrográfica do São Tomaz apresentava um predomínio do uso da terra voltado para a pecuária, com as áreas de pastagem ocupando aproximadamente 2.799.166,82 hectares, correspondendo a 28,90% da extensão da bacia. Esse dado evidencia a forte influência da atividade pecuária na dinâmica econômica e ambiental da região nesse período. A análise temporal dos índices espectrais NDTI e NDWI apresentou um padrão inverso dos valores na maioria dos pixels. O NDTI variou entre 0,2 a -0,4, com predominância de valores negativos. O NDWI, por outro lado, apresentou predominância de valores positivos, oscilando entre 0,7 a -0,4, demonstrando maior variabilidade de seus valores (Figura 2).

O mês de novembro foi o mês com menor variabilidade dos índices espectrais, com variação de até 0,11 para o NDTI e 0,09 para o NDWI. De modo oposto, o mês de maio apresentou a maior variabilidade, com variação de até 0,18 no NDTI e 0,40 no NDWI. Em relação aos períodos climáticos, observa-se que no período seco (Abril - Setembro) houve maior variabilidade em relação ao período chuvoso (Outubro-Março).



**Figura 2**

*Variação temporal dos índices espectrais NDTI e NDWI, para os lagos urbanos de Rio Verde – GO.*



A variação espacial dos índices espectrais demonstrou que o Lago Interlagos apresentou os maiores valores médios, com -0,03, e valores máximos de até 0,2. Por outro lado, o lago Dona Gercina apresentou os menores valores, alcançando até -0,36. No caso do NDWI, o Lago Silvestre Thermaspark se destacou com valores positivos mais elevados, chegando a 0,61 em maio, enquanto o Lago Dona Gercina apresentou os menores valores, atingindo 0,14 no mesmo período (Tabela 02)

As maiores diferenças entre os lagos ocorreram principalmente no mês de maio, quando o NDWI variou de 0,54 (Interlagos) a 0,14 (Dona Gercina), e o NDTI apresentou diferenças de até 0,22 entre Interlagos e Dona Gercina. Esses resultados indicam maior heterogeneidade espectral entre os lagos no início do período seco, enquanto no período chuvoso os valores tenderam a se aproximar, refletindo condições ambientais mais homogêneas

**Tabela 2**

*Médias diárias de NDTI e NDWI para as áreas de estudo, Lago Interlagos, Lago Silvestre Thermaspark e Lago Dona Gercina, no município de Rio Verde – GO.*

Data	Interlagos (NDTI)	Interlagos (NDWI)	Silvestre Thermaspark (NDTI)	Silvestre Thermaspark (NDWI)	Dona Gercina (NDTI)	Dona Gercina (NDWI)
04/05/2023	-0,15	0,51	-0,22	0,61	-0,34	0,48
20/05/2023	-0,12	0,54	-0,21	0,28	-0,30	0,14
21/06/2023	0,15	-0,19	-0,15	0,36	-0,36	0,23
07/08/2023	-0,03	0,23	-0,13	0,26	-0,36	0,24
12/11/2023	-0,03	0,19	-0,02	0,10	-0,29	0,21
14/12/2023	-0,03	0,20	0,03	0,31	-0,28	0,23

### 3.2 AVALIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA TURBIDEZ

A análise da turbidez por sensoriamento remoto demonstrou que o Lago thermaspark apresentou o menor valor médio, com 70,7 NTU, enquanto o Lago Interlagos apresentou os maiores valores, com média de 108 NTU, ou seja, uma diferença de até 41% entre os lagos estudados. Os maiores valores foram observados no LagoInterlagos e os menores no LagoThermaspark.

No sentido temporal, os dados do mês de dezembro apresentaram os maiores valores de turbidez, sendo até 93% maior do que os dados do mês de abril. Os valores de turbidez alcançaram 157 NTU para o Lago Interlagos. Por outro lado, os menores valores de turbidez ocorreram no mês de junho, com valores de 38 NTU, sendo até 64% menor do que os dados mínimos do mês de dezembro.

**Tabela 3**

*Médias diárias de turbidez para as áreas de estudo, Lago Interlagos, Lago Silvestre Thermaspark e Lago Dona Gercina, no município de Rio Verde – GO.*

Data	Interlagos	Thermaspark	Dona Gercina
05/04/2023	81,71	55,03	69,82
21/06/2023	104,51	37,98	56,28
07/07/2023	98,37	49,57	66,10
12/11/2023	118,15	86,87	89,12
14/12/2023	157,85	147,67	105,92
20/05/2023	87,73	47,03	70,53



### 3.3 AVALIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA CLOROFILA-A E TURBIDEZ

**Tabela 4**

*Médias diárias de clorofila - a para as áreas de estudo, Lago Interlagos, Lago Silvestre Thermaspark e Lago Dona Gercina, no município de Rio Verde – GO.*

Data	Interlagos	Thermaspark	Dona Gercina
05/04/2023	8,14	8,13	8,37
21/06/2023	8,31	8,16	8,06
07/07/2023	8,36	8,40	9,31
12/11/2023	8,26	8,22	8,30
14/12/2023	8,33	8,23	8,50
20/05/2023	8,42	8,21	9,09

**Tabela 5**

*Médias diárias de Índice de Estado Trófico para as áreas de estudo, Lago Interlagos, Lago Silvestre Thermaspark e Lago Dona Gercina, no município de Rio Verde – GO.*

Data	Interlagos	Thermaspark	Dona Gercina
05/04/2023	61,08	61,08	61,22
21/06/2023	61,19	61,09	61,36
07/07/2023	61,21	61,24	61,74
12/11/2023	61,15	61,13	61,18
14/12/2023	61,20	61,14	61,30
20/05/2023	61,25	61,13	61,62

Os resultados obtidos para as variáveis limnológicas de turbidez e clorofila - a nas áreas de estudo (Interlagos, Thermaspark e Dona Gercina) demonstraram diferenças relevantes entre os ambientes monitorados no município de Rio Verde - GO.

No que se refere à turbidez, observou-se que os valores oscilaram em 37,98 e 157,85, com destaque para picos registrados no Lago Interlagos (157,85) e Lago Thermaspark (147,67) no mês de dezembro de 2023, período coincidente com a estação chuvosa. Esse comportamento pode estar relacionado ao aumento de escoamento superficial, responsável por carrear partículas do solo, matéria orgânica e resíduos provenientes das áreas urbanas e agrícolas adjacentes, intensificando a concentração de sólidos suspensos nos corpos hídricos (Esteves, 2011). No Lago Dona Gercina apresentou valores intermediários, variando entre 56,28 e 105,92, sugerindo influências tanto de processos naturais quanto de pressões antrópicas (Santos & Laranja, 2024).

Já em relação à clorofila a, os valores variam entre 8,12 e 9,31µg/L nas três áreas de estudo, situando os ambientes na faixa de eutróficos, segundo critérios de classificação trófica. Lago Dona Gercina apresentou os maiores valores em praticamente todas as datas, com



destaque para julho de 2023 ( $9,31\mu\text{g/L}$ ), o que pode estar relacionado à maior disponibilidade de nutrientes ou à menor renovação da água. Já os Lagos Interlagos e Thermaspark apresentaram comportamento mais estável e valores semelhantes, sem grandes diferenças.

Os valores de IET confirmam a condição eutrófica em todos os locais, com pequenas oscilações temporais. Os índices variam de 61,07 a 61,74, sem mudanças significativas entre as datas. Nota-se, entretanto, que o Lago Dona Gercina apresentou os valores mais elevados, sobretudo em julho de 2023 (61,74), reforçando a tendência observada na clorofila *a*.

A comparação dos três parâmetros evidencia que: i) O lago Interlagos apresenta alta turbidez, provavelmente influenciada pelo aporte de sedimentos, somado a níveis intermediários de clorofila *a* e IET; ii) O Lago Thermaspark tem os menores valores médios de clorofila *a* e IET, mas também sofreu elevação na turbidez em períodos chuvosos e; iii) O Lago Dona Gercina combina turbidez intermediária com os maiores valores de clorofila *a* e IET, revelando maior vulnerabilidade à eutrofização.

Portanto, enquanto a turbidez parece estar mais relacionada à sazonalidade climática e ao uso do solo ao entorno do corpo hídrico, a clorofila *a* e o IET apontam que Dona Gercina é a área mais suscetível ao enriquecimento trófico, devendo ser priorizada em medidas de monitoramento e mitigação (Lamparelli, 2004; Esteves, 2011; ANA, 2019).

A avaliação espaço-temporal dos índices espectrais NDTI e NDWI nos lagos urbanos de Rio Verde – GO revelou variações significativas ao longo do período analisado, refletindo mudanças ambientais e na presença de sólidos suspensos. O NDTI foi eficaz para identificar padrões sazonais de maior turbidez da água durante os meses de chuva apresentou predominância de valores negativos, variando entre 0,2 a -0,4, indicando presença de sedimentos e materiais em suspensão, enquanto o NDWI apresentou valores positivos, entre 0,7 a -0,4, evidenciando variações na presença de água livre e vegetação no ambiente aquático. Isso ocorre devido ao maior escoamento superficial e transporte de sedimentos para o reservatório durante esses períodos (Santos, 2025).

Observando as diferenças temporais, o mês de novembro apresentou menor variabilidade nos índices (0,11 para NDTI e 0,09 para NDWI), indicando maior estabilidade ambiental, possivelmente associada ao início do período chuvoso e à redução do escoamento superficial. Santos (2025) aponta que, em 2023, novembro mostrou uma "clara tendência das áreas de alta turbidez", com predominância de regiões com turbidez média, o que pode ser explicado pela "diminuição das chuvas e, conseqüentemente, do escoamento superficial"

Por outro lado, o mês de maio apresentou maior variabilidade (até 0,18 no NDTI e 0,40 no NDWI), refletindo a maior heterogeneidade no início do período seco, quando os lagos são



mais suscetíveis às mudanças no nível de água e à concentração de sedimentos. Os dados coletados em abril, junho e julho também mostraram variações equilibradas, demonstrando a influência direta da variação entre períodos chuvosos e secos sobre os índices espectrais.

A análise da turbidez reforça essas observações temporais. Os maiores valores foram registrados em dezembro, com até 157 NTU no lago Interlagos, enquanto os menores valores ocorreram em junho, com 38 NTU, evidenciando variações sazonais de até 93%. O Lago Thermaspark apresentou valores mais estáveis (37,9 a 147,6 NTU), enquanto o Lago Dona Gercina manteve níveis equilibrados.

As diferenças observadas na qualidade da água, evidenciadas por indicadores como a turbidez (Silva et al., 2021), refletem não apenas a influência dos períodos chuvoso e seco, mas também a possibilidade de impactos de mudanças climáticas, como eventos extremos de precipitação ou longos períodos de estiagem, que alteram o aporte de sedimentos, o nível da água e a qualidade ambiental dos corpos hídricos (Santos, 2025).

Portanto, os resultados indicam que os lagos urbanos de Rio Verde apresentam heterogeneidade espaço-temporal significativa, ao qual são influenciados por variações sazonais e por possíveis mudanças climáticas. A maior variabilidade no início do período seco (maio) e a maior estabilidade no período chuvoso (novembro) demonstram a importância de considerar não apenas os índices espectrais e a turbidez, mas também os fatores climáticos e sazonais, ao planejar monitoramento ambiental e estratégias de gestão dos ecossistemas aquáticos urbanos.

O lago Dona Gercina, por apresentar maiores valores de clorofila *a* e IET, deve ser priorizada em estratégias de monitoramento e mitigação, incluindo controle de sedimentos, manejo de áreas agrícolas, reflorestamento de margens e monitoramento contínuo da qualidade da água. O monitoramento contribui para a gestão da qualidade da água, as variações são influenciadas por fatores climáticos, topográficos e antropogênicos, e uma compreensão detalhada é essencial para estratégias de gestão eficazes (Santos, 2025).

#### **4 CONCLUSÃO/CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A avaliação espaço-temporal dos índices espectrais (NDTI e NDWI) evidenciou que os lagos urbanos de Rio Verde - GO apresentam forte influência das variações sazonais, sobretudo em função da transição entre os períodos chuvoso e seco. O NDTI mostrou-se eficiente para identificar a presença de sedimentos em suspensão, enquanto o NDWI refletiu a disponibilidade de água livre e a relação com a vegetação aquática. Os resultados apontam maior variabilidade



no início do período seco (maio) e maior estabilidade no período chuvoso (novembro), o que reforça as considerações apresentadas por estudos que destacam a redução das áreas de alta turbidez, devido à diminuição das chuvas e do escoamento superficial

Além disso, as diferenças registradas entre os lagos, apresentam comportamentos distintos: o Lago Interlagos destacou-se pelos maiores valores de turbidez, indicando maior vulnerabilidade ao acúmulo de sedimentos; o Lago Thermaspark apresentou estabilidade ao longo do período estudado; e o Lago Dona Gercina demonstrou maior produtividade biológica, com valores elevados de clorofila-a e IET, sugerindo condições eutróficas que reforçam a importância do monitoramento contínuo.

Portanto, os resultados evidenciam que, embora os lagos compartilhem a mesma região climática, cada um sofre influências específicas de fatores topográficos, antrópicos e hidrológicos, o que reforça a necessidade de estratégias de gestão ambiental diferenciadas, com prioridade para as áreas mais vulneráveis, como o Lago Dona Gercina, por seus maiores níveis de clorofila-a e IET. Medidas como controle do aporte de sedimentos, manejo adequado de áreas agrícolas, recuperação de margens degradadas e monitoramento sazonal devem ser implementadas para garantir a sustentabilidade hídrica e ecológica dos lagos urbanos de Rio Verde (SANTOS, 2025; Araujo et al., 2025).

## REFERÊNCIAS

- Acaux, J. P.; Tourre, Y. M.; Vignolles, C.; Ndione, J. A.; Lafaye, M. Classification of ponds from high-spatial resolution remote sensing: Application to Rift Valley fever epidemics in Senegal. *Remote Sensing of Environment*, v. 106, n. 1, p. 66-74, 2007.
- Adjovu, G. E.; Stephen, H.; James, D.; Ahmad, S. Overview of the Application of Remote Sensing in Effective Monitoring of Water Quality Parameters. *Remote Sensing*, Basel, v. 15, n. 1938, 2023. DOI: 10.3390/rs15071938. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs15071938>. Acesso em: 15 jun. 2025.
- Almeida, R. F. B.; Almeida, Ítalo W.; Maciel, G. F. Capacidade De Autodepuração De Corpos D'água Urbanos Em Situações De Vazões Críticas: O Caso Do Córrego Pernada, Paraíso Do Tocantins – TO. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, [S. l.], v. 10, n. 4, p. 218–238, 2021.
- Alves, W. S. Scopel, I. Martins, A. P.; Moraes, W. A. Análise Morfométrica Da Bacia Do Ribeirão Das Abóboras – Rio Verde (GO). *Geociências*, v. 35, n 4, p. 568-584, 2016.
- Alves, W. S.; Santos, L. N. S., Medeiros; V. S., Aquino, D. S; Moraes, W. A., Saleh; Pereira, V. C; Moura, D. M. B. Avaliação da qualidade da água e estado trófico do Ribeirão das Abóboras, em Rio Verde – GO, Brasil. *Geociências*, v. 36, n. 1, p. 13-29, 2017.





- Alves, W. S.; Santos; Balbino, M. A. P.; Martins, A. P.; Scopel, I. Silva, H. T. F. Qualidade e estado trófico da água na alta bacia hidrográfica do Ribeirão da Laje, em Rio Verde (GO). *III Fórum Regional das Águas e XX Encontro de Geografia da UEG*, p. 295-306, 2018.
- Alves, W. S; Morais W. A; Martins, A. P.; Aquino D. S.; Pereira, M A B.; Saleh, B. B. Análise do uso da terra, da cobertura vegetal e da morfometria da bacia do Ribeirão Douradinho, no sudoeste de Goiás, Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.12, n.03, p.1093-1113, 2019.
- Andrade, Laura Coelho de; Lopes, Tiago Oliveira; Medeiros, Nilcilene das Graças; Ferreira, Italo Oliveira; Santos, Afonso de Paula dos; Poz, William Rodrigo Dal. Estimativa da turbidez da água utilizando imagens de RPA's associadas às técnicas de Machine Learning : Water turbidity estimation using RPA's images and Machine Learning techniques. **Revista de Geociências do Nordeste**, [S. l.], v. 10, n. 1, p. 506–517, 2024. DOI: 10.21680/2447-3359.2024v10n1ID34612. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/revistadoregne/article/view/34612>. Acesso em: 8 out. 2025.
- ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. *Panorama da qualidade das águas superficiais no Brasil*. Brasília: ANA, 2019.
- Araujo, Elisangela de; Magri, Rômulo Amaral Faustino; Santos, Rodrigo César de Vasconcelos dos. Aplicação do Índice de Turbidez de Diferença Normalizada (NDTI) para avaliação do aporte de sedimentos no reservatório da Usina Hidrelétrica Marechal Mascarenhas de Moraes-MG. *Revista Eletrônica do Curso de Geografia*, Jataí-GO, n. 51, p. 277-297, jan.-abr. 2025.
- Assunção, I. S. Uso do sensoriamento remoto para avaliação da dinâmica espaço-temporal de parâmetros de qualidade da água de um reservatório urbano: estudo de caso na Lagoa da Pampulha. 2023. 183 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2023.
- BRASIL. Lei Nº 9.433. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos [...].
- Brito, H. C. de. Aplicação de sensoriamento remoto como ferramenta de monitoramento de parâmetros de qualidade da água em corpos hídricos. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2018.
- Brito, H. C. de et al. Uso de sensoriamento remoto para monitoramento de parâmetros de qualidade de água no Rio Doce, Minas Gerais, Brasil. *Revista Caminhos de Geografia*, Uberlândia-MG, v. 23, n. 90, p. 108–119, dez. 2022. DOI:<http://doi.org/10.14393/RCG239060922>.
- CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. *Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo 2022*. São Paulo: CETESB, 2023.
- Esteves, F. A. *Fundamentos de Limnologia*. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.
- Fitz, P. R. *Geoprocessamento Sem Complicação*. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.





- Galo, M. de L. B. T.; Novo, E. M. L. de M. Normalização radiométrica de imagens: um meio de integrar dados multitemporais de sensoriamento remoto para monitoramento ambiental. *Revista Instituto Florestal*, São Paulo, v. 12, n. 1, p. 67-75, 2000.
- Hu, M. et al. Optimized remote sensing estimation of the lake algal biomass by considering the vertically heterogeneous chlorophyll distribution: Study case in Lake Chaohu of China. *Science of the Total Environment*, v. 771, p. 144811, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144811>. Acesso em: 17 jun. 2025.
- Hu, M. et al. Remote Estimation of Trophic State Index for Inland Waters Using Landsat-8 OLI Imagery. *Remote Sens.*, v. 13, e1988, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs13101988>. Acesso em: 17 jun. 2025.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Manual técnico de uso da terra*. Rio de Janeiro, 2013. 171 p.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/>.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Diretoria de Pesquisas - DPE - Coordenação de População e Indicadores Sociais - COPIS. Disponível em: [https://ftp.ibge.gov.br/Estimativas\\_de\\_Populacao/Estimativas\\_2025/estimativa\\_dou\\_2025.pdf](https://ftp.ibge.gov.br/Estimativas_de_Populacao/Estimativas_2025/estimativa_dou_2025.pdf) Acesso em: 06 de outubro de 2025.
- Jesus, J. B. de; Souza, B. B. de; Gama, D. C. Relação entre condição hídrica e formações vegetacionais nativas por meio de índices espectrais. *Caminhos de Geografia*, v. 24, n. 91, p. 322–332, 2023. DOI: 10.14393/RCG249161230.
- Klemas, V. Remote sensing of algal blooms: an overview with case studies. *Journal of Coastal Research*, v. 28, n. 1A, p. 34–43, 2012.
- Lamparelli, M. C. Grau de trofia em corpos d' água do Estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento. São Paulo, 2004. 235 f. Tese (Doutorado em Ecologia Aplicada). Universidade de São Paulo.
- Leite, A. C. C. Qualidade da água e uso e cobertura do solo em bacias contribuintes do Lago de Furnas (MG): implicações na balneabilidade. 2020. 97 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020.
- Liang, Q. et al. A Modis-Based Novel Method to Distinguish Surface Cyanobacterial Scums and Aquatic Macrophytes in Lake Taihu. *Remote Sens.*, v. 9, e133, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs9020133>. Acesso em: 17 jun. 2025.
- Machado, M. T. S.; Baptista, G. M. M. Sensoriamento remoto como ferramenta de monitoramento da qualidade da água do Lago Paranoá (DF). *Revista Engenharia Sanitária*, v. 21, n. 2, p. 357-365, 2016.
- Maia, K. P.; Silva, G. A.; Libânio, M. Aplicação de análise multivariada no estudo da frequência de amostragem e do número de estações de monitoramento de qualidade da água. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 24, n. 5, 2019.



- Mattiuzzi, C. D. P.; Marques. Gestão integrada dos recursos hídricos: avaliação dos benefícios do uso conjunto de águas superficiais e subterrâneas em uma região no sul do Brasil. *Águas Subterrâneas*, v. 33, n. 4, p. 340-353, 2019.
- Mcfeeters, SK (1996). O uso do Índice de Diferença Normalizada de Água (NDWI) na delimitação de características de águas abertas. *International Journal of Remote Sensing*, 17 (7), 1425–1432. <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>
- Monteiro, F. S. Análise geoespacial como subsídio para proposta de enquadramento de corpos hídricos. 2016. 77 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2016.
- Montoya, M. A.; Finamore, E. B. Os recursos hídricos no agronegócio brasileiro: Uma análise insumo-produto do uso, consumo, eficiência e intensidade. *Revista Brasileira de Economia*, v. 74, 2020.
- Olivo, A. de M.; Ishiki, H. M. Brasil frente à escassez de água. *Colloquium Humanarum*, v. 11, n. 3, p. 41–48, 2015.
- Oronoz, V. N. Evaluación de algoritmos de aprendizaje automático para la determinación de parámetros de calidad del agua mediante teledetección. 2023. Dissertação (Mestrado) – Universitat Oberta de Catalunya. Disponível em: <https://openaccess.uoc.edu/handle/10609/147355?locale=es>. Acesso em: 21 ago. 2025.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE RIO VERDE. Rio Verde ganhará novo parque. Rio Verde: Prefeitura Municipal, 2023. Disponível em: <https://www.rioverde.go.gov.br/rio-verde-ganhara-novo-parque/>. Acesso em: 3 ago. 2025.
- Regis, A. S. et al. Fatores abióticos e o crescimento de cianobactérias em reservatórios de água superficiais do Estado de Pernambuco. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, Miami, v. 18, n. 4, p. 1-18, 2024. DOI: <https://doi.org/10.24857/rgsa.v18n4-159>.
- Santos, Elias Vitor Rosa dos. Aplicação de índices espectrais na avaliação do aporte de sedimentos ao reservatório da Usina Hidrelétrica Itumbiara (Brasil). 2025. 38 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Goiás, Instituto de Estudos Socioambientais (Iesa), Programa de Pós-Graduação em Geografia, Goiânia, 2025.
- Santos, G. B.; Valentini, M. H. K.; Vieira, B. M. Análise de regressão linear aplicada à modelagem de uma nova equação para o monitoramento de qualidade da água: estudo de caso do Arroio Moreira/Fragata. *Revista Ambientale*, Ano 13, Vol. 13 (1), 2021.
- Santos, M. J. de Jesus; Laranja, R. E. de Paula. Influence of agriculture on surface water quality in three lentic environments in a conservation unit of Brazil. *International Journal of Environmental Science and Technology*, v. 21, p. 4295-4306, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13762-023-05296-8>.
- Shi, K. et al. A semi-analytical approach for remote sensing of trophic state in inland waters: Bio-optical mechanism and application. *Remote Sensing of Environment*, v. 232, e111349, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111349>. Acesso em: 17 jun. 2025.
- Silva, Caio Abreu Araújo; Nolasco, Elaine; Couto Júnior, Antonio Felipe; Salemi, Luiz Felipe. Efeito da estação climática sobre a turbidez da água de um manancial: implicações para a



gestão da qualidade da água. *Revista de Geografia*, v. 38, n. 2, p. 421–435, 2021. DOI: 10.51359/2238-6211.2021.249019.

Silva, E. R.; Delgado, R. C.; Souza, L. P. S.; Silva, I. S. Caracterização física em duas bacias hidrográficas do Alto Juruá, Acre. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 18, n. 7, p. 714-719, 2014.

Silva, J. D.; Santos, M. P. Uso do sensoriamento remoto para avaliação da dinâmica espaço-temporal de parâmetros de qualidade da água de um reservatório urbano. [Detalhes da publicação pendentes].

Topp, S. N. et al. Research trends in the use of remote sensing for inland water quality science: Moving towards multidisciplinary applications. *Water*, v. 12, n. 1, p. 169, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/w12010169>.

Von Sperling, M. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 3 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

Wang, J.; Han, L.; Du, G. S. Use of satellite imagery to assess the trophic state of Miyun Reservoir, Beijing, China. *Environmental Pollution*, v. 155, n.1, p. 13-19, 2008.

Yang, Z.; Gong, C.; Ji, T.; Hu, Y.; Li, L. Water Quality Retrieval from ZY1-02D Hyperspectral Imagery in Urban Water Bodies and Comparison with Sentinel-2. *Remote Sensing*, Basel, v. 14, n. 5029, 2022. DOI: 10.3390/rs14195029.