

DIAGNÓSTICO DAS MATAS CILIARES DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO MEIA PONTE - GO

ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF RIPARIAN FORESTS IN THE ALTO MEIA PONTE WATERSHED – GO, BRAZIL

DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DE LAS FORMACIONES DE BOSQUE DE GALERÍA EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL ALTO MEIA PONTE – GO



10.56238/MultiCientifica-058

Pedro Luiz Teodoro Clemente de Oliveira

Graduando em Agronomia

Instituição: Escola de Agronomia - Universidade Federal de Goiás (UFG)

E-mail: pedroluizteodoro25@gmail.com

Nori Paulo Griebeler

Doutor em Engenharia Agrícola

Instituição: Escola de Agronomia - Universidade Federal de Goiás (UFG)

E-mail: nori@ufg.br

João Ricardo Nobre Ramos

Graduando em Agronomia

Instituição: Escola de Agronomia - Universidade Federal de Goiás (UFG)

E-mail: nobrerosj@gmail.com

RESUMO

O monitoramento da degradação da vegetação no entorno de mananciais é fundamental para avaliar impactos ambientais e subsidiar ações voltadas ao restabelecimento do equilíbrio ecológico entre a mata ciliar e os cursos hídricos. Nesse contexto, a proposta se justifica ao integrar ferramentas de geoprocessamento e sensoriamento remoto à análise ambiental. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a presença e a situação da vegetação remanescente nas Áreas De Preservação Permanente (APPs) da Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte a montante da Estação Elevatória de Água Bruta da SANEAGO em Goiânia (GO). Os procedimentos de avaliação envolveram o manuseio do software SIG QuantumGIS para delimitação da bacia hidrográfica através do MDE do projeto TOPODATA, utilizando também como base imagens dos satélites Landsat 8-9 e Sentinel-2 adquiridos por bancos de dados públicos, aplicação do índice NDVI e reclassificação dos pixels para identificação da fitofisionomia do Cerrado que contemplasse as matas ciliares. Os resultados demonstraram diferença na acurácia dos sensores, sendo o Sentinel-2 com maior acurácia espacial, e indicaram que apenas 3,62% e 5,09% (Landsat 8-9 e Sentinel-2 respectivamente) da área total da bacia corresponde a vegetação remanescente em APPs, evidenciando significativa pressão sobre as matas ciliares dos mananciais. O presente trabalho demonstrou a relevância do uso de geotecnologias, como ferramentas eficazes para a avaliação de APPs na bacia hidrográfica em questão. A análise das imagens dos satélites permitiu mapear com precisão os afluentes do rio e identificar a presença e ausência de vegetação contígua aos mananciais, dentro das faixas legalmente protegidas.



Palavras-chave: Vegetação Remanescente. Índice de Vegetação (NDVI). Conservação da Vegetação Nativa. Landsat 8-9. Sentinel-2.

ABSTRACT

Monitoring vegetation degradation in the surroundings of water sources is essential to assess environmental impacts and to support actions aimed at restoring ecological balance between riparian forests and watercourses. In this context, the proposed study is justified by integrating geoprocessing and remote sensing tools into environmental analysis. This study aimed to evaluate the presence and condition of remnant vegetation within the Permanent Preservation Areas (PPAs) of the Meia Ponte River Basin upstream of the Raw Water Pumping Station operated by SANEAGO in Goiânia, Goiás. The assessment procedures involved the use of QuantumGIS (QGIS) software to delineate the watershed based on the Digital Elevation Model (DEM) from the TOPODATA project. Publicly available satellite imagery from Landsat 8–9 and Sentinel-2 was also used, along with the application of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and pixel reclassification to identify Cerrado phytophysionomies that include riparian vegetation. The results revealed differences in sensor accuracy, with Sentinel-2 presenting higher spatial accuracy. They also indicated that only 3.62% and 5.09% of the total basin area (Landsat 8–9 and Sentinel-2, respectively) corresponds to remnant vegetation within PPAs, highlighting significant pressure on riparian forests associated with water sources. The study demonstrated the relevance of geotechnologies as effective tools for assessing PPAs in the watershed under analysis. Satellite image analysis enabled accurate mapping of river tributaries and identification of the presence and absence of vegetation adjacent to water sources within legally protected buffer zones.

Keywords: Remnant Vegetation. Vegetation Index (NDVI). Native Vegetation Conservation. Landsat 8-9. Sentinel-2.

RESUMEN

O monitoramento da degradação da vegetação no entorno de mananciais é fundamental para avaliar impactos ambientais e subsidiar ações voltadas ao restabelecimento do equilíbrio ecológico entre a mata ciliar e os cursos hídricos. Nesse contexto, a proposta se justifica ao integrar ferramentas de geoprocessamento e sensoriamento remoto à análise ambiental. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a presença e a situação da vegetação remanescente nas Áreas De Preservação Permanente (APPs) da Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte a montante da Estação Elevatória de Água Bruta da SANEAGO em Goiânia (GO). Os procedimentos de avaliação envolveram o manuseio do software SIG QuantumGIS para delimitação da bacia hidrográfica através do MDE do projeto TOPODATA, utilizando também como base imagens dos satélites Landsat 8-9 e Sentinel-2 adquiridos por bancos de dados públicos, aplicação do índice NDVI e reclassificação dos pixels para identificação da fitofisionomia do Cerrado que contemplasse as matas ciliares. Os resultados demonstraram diferença na acurácia dos sensores, sendo o Sentinel-2 com maior acurácia espacial, e indicaram que apenas 3,62% e 5,09% (Landsat 8-9 e Sentinel-2 respectivamente) da área total da bacia corresponde a vegetação remanescente em APPs, evidenciando significativa pressão sobre as matas ciliares dos mananciais. O presente trabalho demonstrou a relevância do uso de geotecnologias, como ferramentas eficazes para a avaliação de APPs na bacia hidrográfica em questão. A análise das imagens dos satélites permitiu mapear com precisão os afluentes do rio e identificar a presença e ausência de vegetação contígua aos mananciais, dentro das faixas legalmente protegidas.

Palabras clave: Vegetación Remanente. Índice de Vegetación (NDVI). Conservación de la Vegetación Nativa. Landsat 8-9. Sentinel-2.



1 INTRODUÇÃO

A presença de vegetação nativa nos arredores dos mananciais é essencial para manutenção da vazão ecológica ao longo do ano por reduzirem a perda natural de água ao longo de todo manancial através, principalmente, da infiltração e da evaporação, mas também pela redução da sedimentação e erosão, e interceptação de chuva que permite uma melhor infiltração efetiva da água no solo (Ferraz *et al.*, 2014 *apud* Ferreira *et al.*, 2019).

Observando o comportamento da água sobre um recorte de bacia hidrográfica é possível rastrear as diferentes formas como se ocorre a perda, consumo ou escoamento hídrico. Os principais elementos que alteram a disponibilidade da água através da retirada natural ou artificial de cursos d'água naturais são: evaporação, insolação, infiltração, consumo humano (captação), dessedentação, irrigação (captação), evapotranspiração natural das plantas, dentre outros; fatores que também são considerados em estudos de modelagem de perda superficial de solo e disponibilidade hídrica em cenários de uso do solo (Lima; Ferreira; Ferreira, 2018)

Além do próprio consumo, que seria a exportação de água dos mananciais, deve-se considerar a recarga natural das bacias hidrográficas através das chuvas e das zonas de recarga. Os lençóis freáticos são abastecidos pelas precipitações que atingem regiões de solos profundos e permeáveis, além de mantidos por uma vegetação nativa que impede a evaporação da água, mantém e redistribuem a água da chuva (Hollanda *et al.*, 2014). As áreas de mata ciliar são consideradas e descritas, pela Legislação Brasileira, zonas protegidas que exercem um papel importante no ecossistema. Conforme é descrito pela Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012:

II – Área de Preservação Permanente – APP: áreas protegidas com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas. (Brasil, 2012, p. 2).

Em muitos casos ocorre a supressão de vegetação em Área de Preservação Permanente e, independente da legalidade, é obrigatório a compensação pelos danos ambientais causados, que por sua vez, é regido principalmente pela Lei nº 12.651/2012 (de âmbito nacional), pela Lei Estadual nº 18.104/2013 e Lei Estadual nº 21.231/2022.

Assim, a recuperação da área degradada, principalmente no entorno de nascentes fica à mercê tanto das ações do proprietário do imóvel onde ocorreu a supressão quanto dos órgãos ambientais responsáveis pela fiscalização. Portanto, é comum encontrar áreas ao longo dos mananciais onde há uma Área de Preservação Permanente invadida, degradada ou ausente. Estudos sobre adequação da ocupação do solo em APPs ressaltam a necessidade de ações de restauração e fiscalização para garantir a função hídrica dessas áreas (Santos *et al.*, 2014)

No estudo de Novaes (2022), foi identificada significativa degradação nas APPs ao longo dos



cursos hídricos e nos arredores de nascentes dentro da Bacia de Captação do Rio Meia Ponte. O uso de sensoriamento remoto e técnicas de classificação tem sido apontado como ferramenta eficaz para esse monitoramento e para a tomada de decisão (Liu, 2006; Maxwell; Warner; Fang, 2018). Reforça-se a importância de se monitorar a vegetação nativa no entorno dos mananciais como método de compreender e avaliar os impactos da perda ou recomposição da fauna sobre todo agroecossistema.

Todo o território do estado de Goiás insere-se no bioma Cerrado, uma savana tropical de elevada importância ecológica devido à sua biodiversidade e às distintas fitofisionomias que o compõem. A configuração da paisagem no Cerrado está intimamente associada às formações geológicas, aos tipos de solo e aos relevos, fatores que, juntamente com a presença de nascentes e cursos d'água, moldam os padrões hidrológicos locais. Além disso, o Cerrado é reconhecido como “caixa-d'água” do Brasil, abrigando nascentes que contribuem para diversas grandes regiões hidrográficas do país — característica que reforça sua relevância para a segurança hídrica e para a conservação das matas ciliares. (Brasil, 2023).

Os mananciais em especial são a fonte de vida para toda vegetação presente, que por sua vez, cumpre a função fundamental de proteger os solos no entorno dos mananciais, preservar a vazão do manancial e contribuir na qualidade da água. Em busca da necessidade de mitigação dos impactos ambientais, surgiu diferentes leis que estabeleceram os instrumentos legais como as Áreas de Preservação Permanente (APPs) e as Reservas Legais (RL) que delimitaram áreas obrigatórias na propriedade que devem ser preservadas e recompostas. No entanto, a efetividade da legislação é dependente da pressão de fiscalização pelos órgãos ambientais competentes e pelos próprios descumprimentos das normativas em propriedades rurais.

A forma como os órgãos ambientais avaliam a presença de supressões vegetais ilegais é através de ferramentas de geotecnologias, em especial, a análise temporal de imagens satélites. Monitora-se a presença ou a ausência de uma vegetação nativa, sendo ela vegetação excedente em uma propriedade ou áreas de conservação como APP ou RL e através disso, o órgão ambiental planeja juntamente com o proprietário, a recuperação das áreas irregularmente suprimidas.

A análise temporal de imagens satélites é fundamental para o monitoramento das matas ciliares ao longo dos cursos hídricos. O primeiro passo para investigar os impactos ambientais sobre os mananciais através da degradação de vegetação nativa, é a correlação entre a vegetação nativa e a vazão ecológica do manancial. Com a análise integrada entre o uso do solo, a vegetação nativa remanescente e a disponibilidade hídrica, o empreendedor e o órgão ambiental podem contribuir, conjuntamente, em uma gestão dos recursos naturais mais sustentável, conciliada a políticas públicas existentes.

Naturalmente, a vazão hidrológica do rio é prejudicada ao longo do ano, principalmente em estações de seca prolongada, pela ausência de mata ciliar. Com estas funções comprometidas, as



tendências são processos erosivos causados pelo próprio curso hídrico, seca completa do manancial e perda da biodiversidade. Do ponto de vista legal, o Código Florestal Brasileiro (Lei nº 12.651/2012) estabelece claramente o princípio de que os recursos naturais, especialmente a água, a vegetação nativa e o solo, são bens de interesse comum de toda a sociedade.

Assim, o monitoramento da degradação da vegetação no entorno de mananciais é importante quanto a avaliação dos impactos e desenvolvimento de potenciais soluções para reestabelecer o equilíbrio ecológico da relação entre mata ciliar e curso hídrico, mas também, para gerar o retorno econômico para aqueles que detêm mananciais em suas propriedades através dos diversos benefícios que uma boa gestão dos recursos hídricos traz.

A proposta também se insere em um esforço acadêmico de integrar ferramentas de geoprocessamento e sensoriamento remoto na análise ambiental, compreendendo a relação entre o uso da terra e a disponibilidade hídrica, avaliando impactos, trazendo resultados que subsidiem políticas públicas e fornecendo estratégias de manejo integrado da paisagem por meio de práticas agroecológicas que conciliam produção agrícola e conservação dos recursos hídricos. Nesse contexto, a proposta se justifica ao integrar ferramentas de geoprocessamento e sensoriamento remoto à análise ambiental.

O objetivo desta pesquisa é avaliar a presença da vegetação nativa das Áreas de Preservação permanente através da classificação de imagens satélites (Utilizando o Landsat e o Sentinel-2) considerando o agroecossistema da Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte a montante da Estação Elevatória de Água Bruta Meia Ponte em Goiânia, Goiás. Os objetivos específicos são: delimitar a área de estudo e identificar os afluentes da bacia hidrográfica a partir de Modelos Digitais de Elevação e bases cartográficas públicas; processar e analisar imagens dos satélites Landsat e Sentinel-2 para mapear a vegetação na zona de APP, comparando sua precisão, acurácia e desempenho; desenvolver e testar uma metodologia reprodutível utilizando exclusivamente softwares livres e dados públicos para identificação de vegetação em APPs; e discutir as implicações dos resultados para a formulação de políticas públicas voltadas à conservação da vegetação nativa e à gestão sustentável dos recursos hídricos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Escolhido determinado ponto no trecho de um manancial, existe um traçado imaginário que delimita uma área de drenagem, região da superfície terrestre que recebe água advinda da chuva, sedimentos e materiais dissolvidos para uma saída em comum, um ponto focal (Santana, 2003). Delimitando um traçado entre estes pontos focais, forma-se um canal fluvial.

[...] O termo bacia hidrográfica refere-se a uma compartimentação geográfica natural delimitada por divisores de água. Esse compartimento é drenado superficialmente por um



curso d'água principal e seus afluentes.” (Santana, 2003, p. 27).

Um sistema determinado por fatores bióticos e abióticos possui um volume de entrada de água e um volume de saída, sendo determinados por alguns fatores como por exemplo, a água evaporada, transpirada e infiltrada (Silva, 2014 apud Silveira, 1993). No entanto, um fator importante que interfere no comportamento das bacias é o escoamento superficial.

Quando a superfície terrestre se encontra saturada de água ou impermeável, a água escoar superficialmente seguindo em direção a um curso de água mais próximo (Miranda; Silva; Oliveira, 2010). Este fenômeno é importante quando observado a presença de vegetação para amortecer, absorver e redistribuir a água da chuva sem que prejudique e altere as propriedades físicas do solo.

Quando há presença de vegetação nativa, o comportamento da água em relação a superfície terrestre altera significativamente, a presença de cobertura vegetal no solo regula fatores como a erosão, transporte de sedimentos, interceptação de chuvas e infiltração efetiva da água pelo perfil do solo (Carvalho, 2019).

A capacidade de retenção e recarga do volume de água que flui nos mananciais de uma bacia hidrográfica é determinada pela capacidade de geração de água pelas nascentes em cada manancial, mas também pelas áreas de recarga. As áreas de infiltração, como são conhecidas as áreas de recarga, são zonas que permitem a infiltração de água no perfil do solo, atingindo o lençol freático que abastece as minas d'água e os próprios mananciais (Santana, 2003).

O potencial de uma bacia hidrográfica delimita muito uma atividade que depende da água em uma determinada região. A atividade humana por sua vez também impacta diretamente no comportamento das bacias, a pressão agrícola, por exemplo, é uma interferência antrópica que altera a paisagem através da conversão do uso do solo. Naturalmente, a ausência de vegetação, a compactação do solo e a degradação da paisagem através de erosões provocadas por falta de manejo do solo levam a consequências diretas na forma como a água se comporta em uma bacia.

O desmatamento, portanto, é uma atividade de menor custo quando comparado ou arrendamento de novas áreas, na Amazônia, existe uma correlação direta do desmatamento com a expansão da pecuária e agricultura de larga escala (Rivero, 2009). No estado de Goiás, a mecanização sobre as atividades agropastoris tem causado impactos severos sobre a vegetação nativa, comprometendo funções ecológicas importantes do agroecossistema, como a proteção do solo, a recarga das bacias hidrográficas e a filtragem da água da chuva pela própria vegetação (Crestana; Reichardt; Silva, 1993; Campos *et al.*, 2015).

O sensoriamento remoto e o geoprocessamento são elementos essenciais no monitoramento dinâmico e temporal da paisagem ao longo do tempo, permitindo identificação de áreas críticas para conservação e restauração (Campos *et al.*, 2015; Fitz, 2008). Portanto, para compreender o impacto da agricultura e pecuária sobre a vegetação nativa, em especial, as matas ciliares, é necessária uma análise



multidisciplinar quantificando alterações no uso do solo e cobertura vegetal, associando aos impactos ambientais e hidrológicos.

Em diversas propriedades rurais de Goiás, as APPs representam a única vegetação nativa remanescente, tornando-as vulneráveis à pressão agrícola. No contexto da Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte, essa conversão do solo resulta na degradação de matas ciliares e perda de retenção hídrica dos agroecossistemas (Lima; Ferreira; Ferreira, 2018).

O monitoramento destas atividades serve como um marco regulatório tanto para o empreendedor responsável pela intervenção na natureza, quanto para o órgão fiscalizador que busca por intervenções irregulares. O sensoriamento remoto desempenha um papel importante na avaliação da condição de áreas protegidas e na facilitação dessa ampliação do foco de áreas protegidas para paisagens inteiras (Wiens *et al*, 2009).

Atualmente, no Brasil, os principais satélites utilizados são o Sentinel-2 e o Landsat por capturarem imagens de forma periódica de todo território brasileiro e serem disponibilizados gratuitamente na internet. Os diagnósticos das áreas são feitos através do processamento das imagens satélites em produtos como mapas e imagens que realçam diferentes elementos a depender do objeto de interesse.

A utilização das ferramentas SIG são cruciais para o monitoramento da vegetação presente em uma área. Segundo Tagliari e Baptista (2020), o processamento de imagens satélites através de ferramentas SIG permite a avaliação da presença de APPs que sofreram intervenção ao longo de vários trechos, sendo utilizado índices de vegetação como critério para avaliação da presença de vegetação.

O produto varia de acordo com o objetivo de cada análise, o estudo de Nepomuceno (2012) apresenta, como referência, vários mapas elaborados a partir do processamento de imagens que melhor ilustram a realidade da bacia hidrográfica do Ribeirão Gomeral, como a cobertura vegetal e as curvas de nível. O Geoprocessamento, área do conhecimento responsável por todo este processo, é descrito por Cubas e Taveira (2020) como sendo o meio (através do SIG) que é possível transformar dados georreferenciados em informação.

As imagens orbitais são criadas a partir de sensores acoplados em satélites que captam a radiação refletida ou emitida pela superfície terrestre. As características dos sensores mudam de acordo com o seu propósito e a sua tecnologia e isto influencia diretamente na qualidade, acurácia e precisão da imagem. Os sensores possuem diferentes resoluções espaciais, espectrais e temporais, e devem ser considerados de acordo com a aplicabilidade da imagem (Wiens *et al.*, 2009).

A utilização de água pela agricultura varia de acordo com a modalidade de produção, disponibilidade de água outorgável nos mananciais e a necessidade da cultura. Em 2022 foi feita uma avaliação quanto a utilização de água pelas culturas, tanto de sequeiro, quanto irrigada, consumindo um total de 9,2 mil m³ por segundo, sendo deste valor, 864,8 m³ por segundo, ou seja, 9,4% de água



suplementada via irrigação, o restante é caracterizado por água de chuvas e disponibilizada no solo, sem interferência humana (Ana, 2022).

O programa Landsat mantém desde 1972 um “registro multiespectral ininterrupto” das superfícies terrestres, e o Landsat 8, lançado em 2013, reforça essa continuidade ao operar com um desfasamento orbital de oito dias em relação ao Landsat 7 (lançado em 1999), aumentando a frequência de revisita e a disponibilidade de imagens para monitoramento ambiental e pesquisas (Usgs, 2019).

A missão Copernicus Sentinel-2 tem como objetivo principal é monitorar a variabilidade nas condições da superfície terrestre, apoiando o acompanhamento das mudanças por meio de uma combinação de ampla largura de faixa e alta frequência de revisita; a missão apresenta uma largura de faixa de 290 km e oferece revisitas de 10 dias no equador com um satélite e 5 dias com dois satélites, o que se traduz em intervalos de aproximadamente 2–3 dias em latitudes médias (Copernicus, 2020).

3 METODOLOGIA

A pesquisa avaliou uma porção da Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte, a montante da Estação Elevatória de Água Bruta Meia Ponte (EEAB) consistindo em uma área de aproximadamente 1.662,15 km² que contempla os municípios de Goiânia, Goianira, Santo Antônio de Goiás, Brazabrantes, Nerópolis, Nova Veneza, Ouro Verde de Goiás, Damolândia, Inhumas e Itauçu.

Esta região carrega uma importância socioeconômica devido a sua importância estratégica no abastecimento urbano, na irrigação de sistemas agrícolas e na dessedentação animal. A região, por estar dentro do estado de Goiás, também- é monitorada por órgãos públicos como a Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Goiás (SEMAD-GO) que promove diferentes políticas públicas e estratégias para manutenção da bacia hidrográfica.

O mapeamento da área foi realizado utilizando a ferramenta SIG gratuita QGIS que realizou a interpretação e análise dos arquivos shapefile e raster gerados ao longo da pesquisa. Através de um Modelo Digital de Elevação adquirido através do projeto TOPODATA, foi recortado apenas a área a jusante da Estação Elevatória de Água Bruta (EEAB) da SANEAGO, respeitando as curvas de nível que converge até o ponto de interferência (16°34'11.16"S 49°19'44.97"O).

Para avaliação da vegetação nas APPs, foram utilizadas imagens de satélite obtidas das missões Landsat 8-9 Level 2 (Operational Land Imager - OLI) e Sentinel-2 (MultiSpectral Instrument - MSI), as quais oferecem resoluções espaciais de 30 metros e 10 metros, respectivamente. Para manipulação dos dados, foi utilizado ambiente virtual Quantum GIS.

A delimitação se deu por meio do arquivo de Modelo Digital de Elevação (MDE) adquirido através do projeto TOPODATA do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Os quadrantes na qual a área da bacia hidrográfica se encaixa são 16s 51 ZN e 16s 495 ZN, foi realizado o download especificamente dos arquivos rasters que disponibilizassem as informações numéricas da altitude



(extensão ZN) por pixel.

Devido à natureza do arquivo, foi realizada a referência manual do Sistema de Referência de Coordenadas (SRC) do arquivo original, neste caso, o SRC EPSG:4674 – SIRGAS 2000. Os arquivos raster foi reprojetado para estar padronizado de acordo com o sistema de referência da pesquisa, o SRC EPSG:31982 – SIRGAS 2000 (Projeção UTM Zona 22S). Os arquivos foram mesclados e recortados dentro da extensão da tela que contemplasse toda bacia hidrográfica a montante da EEAB utilizando como referência o arquivo shapefile disponibilizado gratuitamente pelo portal SIGA-GO da SEMAD.

A extração do perímetro da área de drenagem foi realizada através de três etapas: delimitação da bacia, reclassificação dos pixels da imagem raster e poligonização dos pixels reclassificados. A primeira e a terceira etapa foram automatizadas através de scripts em Python que, além de garantirem a execução do procedimento e geração de um arquivo sem erros, automatizaram várias etapas que poderiam ter sido feitas manualmente.

Estes scripts foram gerados e adequados através do auxílio do Copilot, uma assistente de Inteligência Artificial da Microsoft, para que estes scripts fossem gerados é necessário que haja uma metodologia de condução da I.A. para adquirir o resultado desejado. O arquivo desejado é o “raster de bacias”. Os pixels deste arquivo, devido à natureza do seu processamento, geram pixels cujo valor varia de 0 a 8000. São valores representativos e proporcionais ao valor do pixel do arquivo a qual foi processado, sendo 0 o pixel mais ao noroeste do arquivo raster e 8000 o pixel mais ao sudeste do arquivo raster, ou seja, respeitando a declividade natural do terreno capturado pelo MDE. O arquivo “raster de bacias” é reclassificado utilizando o algoritmo nativo do QGIS “Reclassificar por tabela”, utilizando como parâmetro os valores apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Tabela de reclassificação do pixel.

Valor Mínimo	Valor Máximo	Valor do Pixel
5264	6836	1
- ∞	5263	0

Fonte: Autoria própria, 2026.

O delimitador foi definido de acordo com a avaliação manual das manchas cinzas formadas na representação gráfica do arquivo raster utilizando banda simples cinza. O valor do pixel no ponto EEAB é de 5264, logo, toda bacia é delimitada pelos pixels acima deste valor e abaixo de 6836. O limite máximo foi definido pois, em toda extensão do arquivo raster, existem pontos de elevação maior que a da bacia hidrográfica, portanto, deve inserir no algoritmo um delimitador máximo para corrigir a formação do perímetro da área de drenagem. Ao reclassificar o arquivo raster da bacia, isso gera um novo arquivo raster em preto e branco, onde preto é a representação dos pixels com valor atribuído de 1 e em branco, são os pixels com valor atribuído de 0.

Para identificação da vegetação presente dentro das delimitações da APP, foi utilizado as



imagens satélites advindas do Landsat 8-9 Level 2 e do Sentinel-2 Level 2. Os arquivos rasters foram adquiridos através dos portais oficiais EarthExplorer da USGS e do Copernicus. Para a análise de presença de vegetação, foi considerada o uso do índice de vegetação NDVI (Normalized Difference Vegetation Index ou Índice de Vegetação por Diferença Normalizada). O índice utiliza em seu cálculo os números digitais (ND) das bandas na faixa do Infravermelho Próximo e Vermelho.

$$NDVI = \frac{ND_{\text{Infravermelho Próximo}} - ND_{\text{Vermelho}}}{ND_{\text{Infravermelho Próximo}} + ND_{\text{Vermelho}}} \quad (1)$$

Os arquivos foram reprojatados para o SRC EPSG:31982 – SIRGAS 2000 (Projeção UTM Zona 22S). Os arquivos rasters foram recortados utilizando a camada de sobreposição o arquivo vetorial da área de drenagem, obtendo assim um arquivo raster delimitado pela bacia hidrográfica. Para obtenção do arquivo raster calculado de acordo com o índice NDVI utilizando a banda B4 (resolução espectral de 0,76 – 0,90 µm) e a banda B5 (resolução espectral de 1,55 – 1,75 µm) para o Landsat 8-9, para o Sentinel-2, utilizou a banda B4 (resolução espectral de 0,665 µm) e a banda B8 (resolução espectral de 0,842 µm). A classificação do NDVI seguiu a classificação de Bitencourt *et al.* (1997) para as fitofisionomias de Cerrado (Tabela 2).

Tabela 2 – Classes NDVI de acordo com a fitofisionomia.

Fitofisionomias	Classes NDVI
Campo Sujo	0,0261 a 0,2036
Campo Úmido	0,0261 a 0,2036
Campo Cerrado	0,2037 a 0,2629
Cerrado sensu stricto	0,2630 a 0,3813
Cerrado sensu stricto tendendo a Cerradão	0,3814 a 0,4405
Cerradão	0,4406 a 0,5589
Mata mesófila	0,4406 a 0,5589

Fonte: Adaptado de Bitencourt (1997).

Para identificação de áreas de preservação permanente adjacentes a mananciais, é necessário selecionar uma fitofisionomia densa o suficiente para ofertar uma cobertura vegetal densa sobre o solo, como critério, foi considerado como mínimo em quesito de densidade vegetal, a formação de Cerradão sensu stricto até a mata mesófila, ou seja, os ND que armazenarem um valor igual ou superior a 0,2630 indicaram presença de vegetação saudável para compor a APP (Matas ciliares), enquanto que valores abaixo de 0,2630 representaram um déficit ou ausência de vegetação.

Para realçar somente os pixels que continha a vegetação dentro do limite determinado, é necessário a reclassificação do arquivo raster calculado pelo NDVI para redefinir através de um parâmetro pré-determinado, alterando a imagem original (Fitz, 2008). Foi utilizado o algoritmo nativo do QGIS “Reclassificar por tabela” para impor os parâmetros pré-estabelecidos. Todo pixel com valor igual ou acima de 0,2630 será reclassificado para 1, enquanto todo pixel com valor inferior a 0,2630



será reclassificado para 0.

O produto da execução deste algoritmo sob estes parâmetros é um arquivo raster em preto e branco que permite a melhor visualização dos locais onde há presença de vegetação considerada suficiente para compor uma mata ciliar. O arquivo raster foi recortado para dentro dos limites das APPs dos cursos hídricos e vetorizado para formar um arquivo único em formato de polígono, permitindo o cálculo da área e visualização por sobreposição em formato KML no Google Earth Pro.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A utilização de ferramentas SIG é fundamental quanto a análise crítica, tanto quantitativa quanto qualitativa, da modificação sofrida pela vegetação natural ou implantada por interferência humana. Visto a dificuldade de acesso e recursos para capturar imagens áreas extensas, a utilização de imagens satélites é crucial na análise de vegetação em grandes escalas, compensando a baixa acurácia quando comparado a utilização de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) com sensores óticos acoplados.

Para quantificação da presença de vegetação nas zonas legais de áreas de preservação permanente, o uso de dados de sensoriamento remoto demonstrou ser eficaz para o monitoramento destas áreas interceptadas por empreendimentos lineares, permitindo identificar alterações na cobertura vegetal (Tagliari; Batista, 2020).

Todos os polígonos utilizados foram adquiridos gratuitamente em diferentes bancos de dados na internet, utilizando como referência para iniciar a análise, os dados disponibilizados por órgãos públicos como o Sistema Estadual de Geoinformação (SIEG) e o Sistema de Informações Geográficas Ambientais (SIGA-GO). Quanto os arquivos rasters, a sua obtenção se dá através dos portais oficiais que publicam periodicamente as imagens capturadas pelos sensores dos satélites.

O acesso gratuito destes dados permite a fomentação de pesquisas e análises realizadas por iniciativas privadas ou públicas, com fins lucrativos ou não, estabelecendo uma comunidade ativa para análises ambientais. Estes bancos de dados desempenham papel fundamental na seleção e conservação de áreas verdes para biodiversidade, pois fornece dados consistentes sobre o uso da terra e cobertura vegetal (Wiens *et al.*, 2009).

Os resultados obtidos no diagnóstico das Áreas de Preservação Permanente (APPs) da Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte, a montante da Estação de Elevatória de Água Bruta da SANEAGO em Goiânia, foram satisfatórios. Estes reforçam a importância do uso de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento para dimensionamento de área verde nas zonas de importância ecológica.

Estudos anteriores já demonstraram a eficácia dessas ferramentas SIG no monitoramento da cobertura vegetal e na avaliação da pressão antrópica sobre APPs (Tagliari; Baptista, 2020; Campos *et al.*, 2015; Santos *et al.*, 2014). Nesse contexto, a incorporação de métodos de inteligência artificial



representa um avanço significativo, pois amplia a capacidade de classificação e interpretação de imagens orbitais, permitindo maior precisão na detecção de alterações ambientais (Maxwell; Warner; Fang, 2018).

O processamento de dados em ferramenta SIG, em meios científicos, seguem protocolos para que a experiência seja passível de repetição em outras máquinas. Muitos dos procedimentos aplicados podem ser simplificadas como sequência de ações promovidas pelas ferramentas através de algoritmos nativos do software. A utilização de I.A.s permite a automatização destes protocolos e a compreensão dos procedimentos realizados.

Essa perspectiva dialoga com Liu (2006) e Wiens *et al.* (2009), que destacam a importância de ferramentas de sensoriamento remoto aplicadas a análises ambientais e ecológicas. Além disso, ao considerar que a função hidrológica das matas ciliares é essencial para a regulação do ciclo da água (Lima; Zakia, 2000; Miranda; Silva; Oliveira, 2010), o uso de algoritmos de aprendizado se torna uma ferramenta promissora automatizar procedimentos, facilitando diagnósticos ambientais mais robustos.

O cálculo para bacia hidrográfica foi feito considerando a resolução do arquivo raster disponibilizado pelo banco de dados do projeto TOPODATA. A área total da zona de drenagem do ponto da Estação de Elevatória de Água Bruta da SANEAGO em Goiânia foi de 1614,1426 km², aproximadamente 13,25% da bacia hidrográfica do Rio Meia Ponte.

O Landsat 8-9 e o Sentinel-2 possuem divergências em seus sensores ópticos, principalmente na resolução espacial e resolução espectral. Foi identificada uma divergência considerável, o que interfere diretamente no cálculo de área verde presente dentro da bacia hidrográfica, especificamente na zona legal das áreas de preservação permanente. Houve uma diferença de vegetação de 1,47% entre as análises realizadas das duas imagens satélites, conforme demonstrado na Tabela 3.

Tabela 3 – Tabela de reclassificação do pixel.

Satélite	Área Total (km ²)	Porcentagem da Área Total (%)
Landsat 8-9	58,5666	3,62
Sentinel - 2	82,2799	5,09
Média	70,4232	4,36

Fonte: Autoria própria, 2026.

Existe uma limitação do quanto que a imagem satélite é capaz de capturar através dos seus sensores, a luz emitida pela vegetação, isso se dá por fatores como distorções atmosféricas, presença de nuvens, resolução espacial do pixel, estágio fisiológico da planta, período de seca ou de chuva, e assim em diante. Todos estes fatores afetam a acurácia da análise, distorcendo a informação adquirida da realidade.

De acordo com Liu (2006), as imagens satélites são representações indiretas da superfície terrestre, estão limitadas a resolução espacial, espectral e temporal. O mesmo autor também ressalta que a cobertura de nuvens e condições atmosféricas comprometem a fidelidade da informação.



Portanto, criamos um ambiente virtual que represente a realidade, ainda que com uma certa distância da realidade, para facilitar a interpretação de dados que são imperceptíveis aos sentidos humanos.

O monitoramento da presença de vegetação está associado a avaliação do vigor da população florestal em um determinado período de análise, estando sujeitos a variações, e que dependem intrinsecamente do tipo de fitofisionomia. No trabalho de Bitencourt *et al.* (1997), demonstrou de forma satisfatória que é possível identificar diferentes fitofisionomias do Cerrado, utilizando classificações de NDVI.

Estas classificações se tornaram efetivas para avaliação da presença de vegetação em matas ciliares na bacia hidrográfica desta pesquisa, foi possível separar as classes utilizando como referência o trabalho de Bitencourt *et al.* (1997) e visualizar onde está presente as formações florestais como matas de galeria, cerradão e cerrado sensu stricto.

No entanto, a pressão da agricultura se apresenta como um dos fatores da supressão de matas ciliares, pela qual ainda é um avanço pertinente que substitui a vegetação existente por uma implantada, exógena do local. Em uma operação de classificação de imagens, as áreas mescladas com matas de galeria e zonas de cultivo aparentam como sendo uma única área contínua de vegetação de forma indistinguível.

Existe uma zona de vegetação contígua aos mananciais, que apesar de já ter sido filtrado utilizando a reclassificação do raster utilizando como referência os valores da Tabela 4, ainda existem zonas onde há esta mesclagem entre cultivos e vegetação nativa. É um erro considerado durante o diagnóstico da presença de vegetação, mas que exige o desenvolvimento de novos métodos para realizar essa separação.

Tabela 4 – Quadro de áreas da vegetação total da bacia.

Satélite	Área Total (km ²)	Porcentagem da Área Total (%)
Landsat 8-9	221,3424	13,71
Sentinel - 2	402,3410	24,92
Média	311,8417	19,31

Fonte: Autoria própria, 2026.

A capacidade de captura dos comprimentos das radiações eletromagnéticas refletidas pela vegetação depende das características intrínsecas do sensor e da sua resolução espacial. A diferença expressiva entre as áreas de vegetação detectada pelos dois satélites se dá, neste caso, pela resolução espacial, sendo 30 metros para o Landsat 8-9 e 10 metros para o Sentinel-2. Portanto, para análises mais precisas, o Sentinel-2 possui maior acurácia, facilitando a compreensão da realidade através do ambiente virtual do SIG.

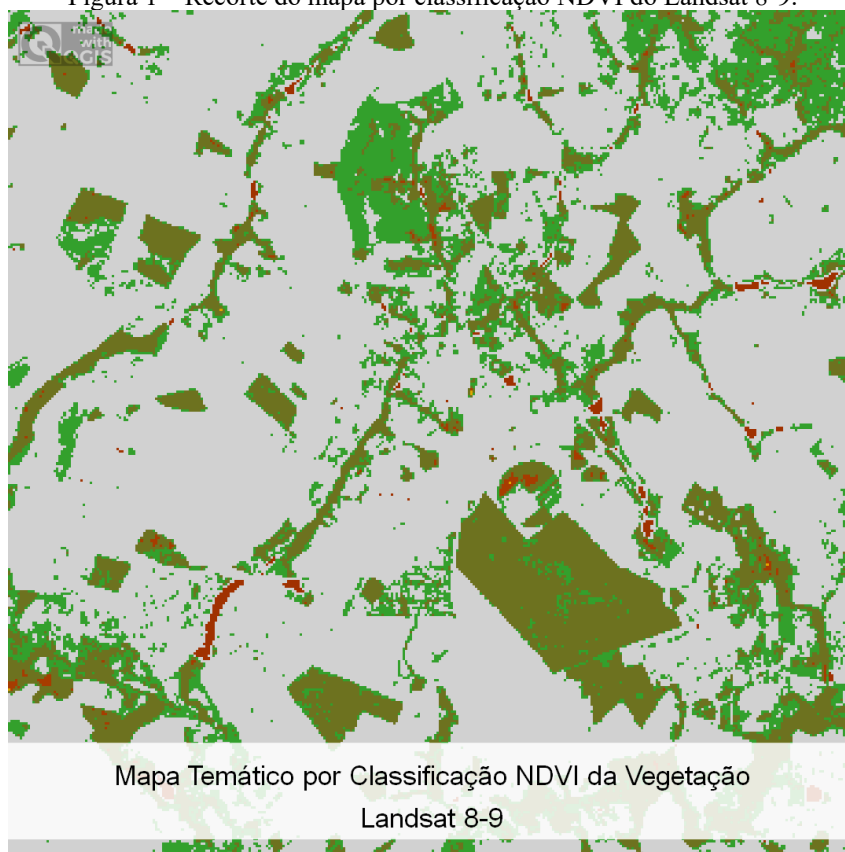
A área de preservação permanente de toda bacia hidrográfica a jusante da EEAB pertence a apenas 3,62% e 5,09%, analisado pelo Landsat e Sentinel-2 respectivamente. E, comparado a toda área vegetada, classificada de acordo com o trabalho de Bitencourt *et al.* (1997), compõe apenas 26,45% e



20,45%, analisados pelo Landsat e Sentinel-2 respectivamente. A proporção de vegetação pela área total e pela área vegetada nos fornecem pontos importantes para analisar a complexidade do sistema de flora da bacia hidrográfica.

É notoriamente pequeno a quantidade de área vegetada mesmo que, ainda considerando dentro destes valores, as zonas de cultivo, ou seja, aproximadamente 70% de toda esta área é composta de pastagens, faixas de servidão, espelhos d'água ou zona urbana. É notoriamente pequeno a quantidade de área vegetada mesmo que, ainda considerando dentro destes valores, as zonas de cultivo, ou seja, aproximadamente 70% de toda esta área é composta de pastagens, faixas de servidão, espelhos d'água ou zona urbana. A remoção de vegetação nativa em zonas de APPs de mananciais, como matas de galerias e veredas, compromete diretamente na qualidade da água, acelera a sedimentação dos rios e reduz a recarga de aquíferos subterrâneos (Silva, *et al.*, 2010). A Figura 1 e a Figura 2 representam claramente a diferença gerada pela diferença na resolução espacial da imagem.

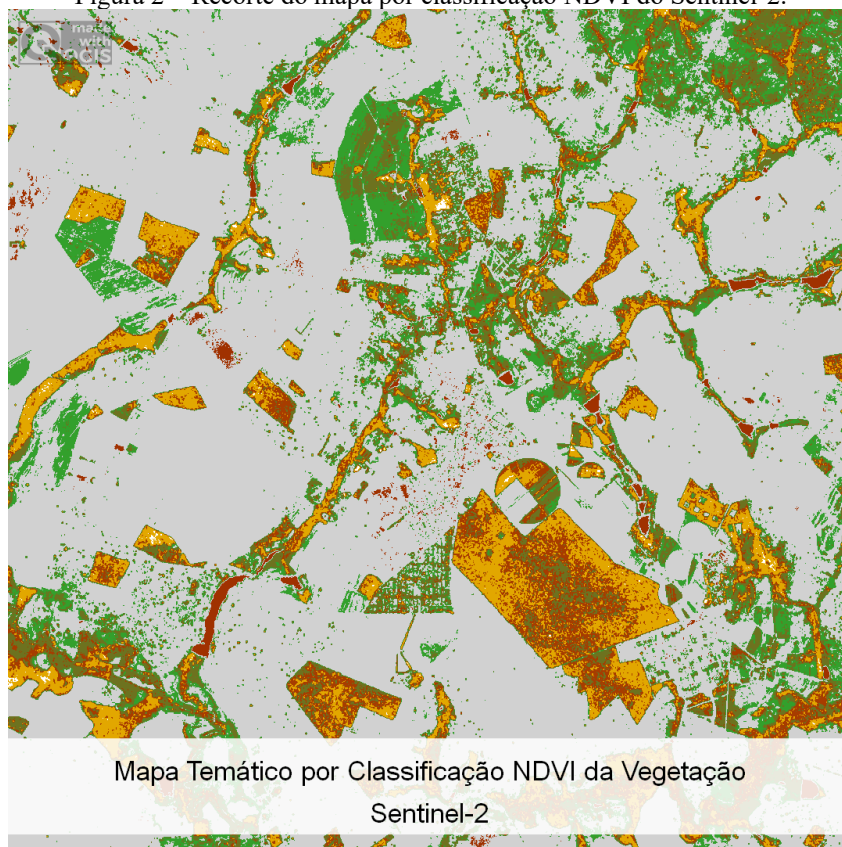
Figura 1 – Recorte do mapa por classificação NDVI do Landsat 8-9.



Fonte: Autoria própria, 2026.



Figura 2 – Recorte do mapa por classificação NDVI do Sentinel-2.



Mapa Temático por Classificação NDVI da Vegetação
Sentinel-2

Fonte: Autoria própria, 2026.

É através do monitoramento via satélite da APP que se permite diagnosticar a extensão das zonas com ausência de vegetação em APP, apesar que a averiguação in loco possa validar diretamente a realidade de um empreendimento, a avaliação em grandes escalas só se dá por meio da criação de um ambiente virtual que permite a visualização por completo destas grandes áreas.

Ambos os satélites apresentaram uma diferença na captura de luz por metro quadrado devido a resolução espacial, esta análise interferiu diretamente na determinação de vegetação por pixel do raster. Enquanto o Landsat oferece uma imagem com zonas quadriculadas e menos fluidas, onde há pouca compreensão de continuidade de vegetação, o Sentinel-2 permitiu uma maior precisão nos locais que há vegetação e no início e fim das manchas verdes.

A Tabela 3 e 4 demonstram essa diferença através da quantificação por quilômetro quadrado de área vegetada através de um processo de reclassificação do pixel que usa, como condição, o trabalho de Bitencourt (1997). No entanto, para análises ambientais de grande escala, o Landsat ainda pode se provar útil quanto a avaliação de vegetação em grandes áreas, enquanto para pesquisas cujo objetivo é a avaliação mais detalhada, o recomendável é a utilização do Sentinel-2.

Esta pesquisa foi conduzida considerando as possibilidades de acesso a informações que estão publicamente disponibilizadas na internet através de diferentes bancos de dados, todas as fontes citadas, manipuladas e utilizadas estão disponíveis na internet. A disponibilização de imagens satélites por projetos como Landsat e Sentinel-2, por exemplo, viabilizaram o monitoramento da cobertura



vegetal, possibilitando a identificação de conflitos de uso de solo (Copernicus, 2025; Oliveira; Pirajá, 2022).

Atualmente há muitas consultorias que se usufruem das imagens de satélites disponibilizadas na internet para geração de produtos comercializáveis como cartas, mapas e relatórios técnicos. Há uma busca ativa de empreendimentos por serviços ambientais que sejam capazes de prestar serviços de sensoriamento remoto para regularização de passivos ambientais ou realocação estratégica de recursos em sua propriedade.

O estudo de Tagliari e Baptista (2020) demonstram como que o uso de dados abertos de sensoriamento remoto é eficaz na detecção de interferências em APPs causadas por grandes empreendimentos, como ferrovias. Serviços públicos como o CAR exigem uma análise prévia do empreendimento rural por meio do empreendedor ou da consultoria para análise e delimitação de vegetações, pastos, talhões de cultivo, áreas consolidadas, faixas de servidão, construções e assim em diante. O geoprocessamento não depende exclusivamente de dados restritos ou de alta resolução, mas sim de uma metodologia bem estruturada e da iniciativa de quem analisa.

Esta pesquisa teve também como objetivo um desenvolvimento simples e pedagógico, utilizando de ferramentas como inteligência artificial e scripts em Python que são acessíveis ao público, de uma metodologia para produção de produtos cartográficos cuja finalidade é a classificação, identificação e avaliação da presença de vegetação em uma área de estudo. A informação, por sua vez, é um dado modificado e transformado para que seja legível e interpretável por um usuário.

A ocupação irregular do solo em áreas de preservação permanente pode ser identificada através destas ferramentas e metodologias acessíveis, como mostrado por Campos *et al.* (2015) e Santos *et al.* (2014), que utilizaram o geoprocessamento para avaliar conflitos do uso de solo em microbacias. Portanto, a fiscalização realizada a distância através de imagens satélites, é um meio de identificações de áreas com passivos.

No entanto, a identificação e regularização somente irá ocorrer mediante a ação receptiva das secretarias (municipal ou estadual) do meio ambiente, algo que já é facilitado dada a acessibilidade dos fiscais quanto as imagens satélites diariamente atualizadas e ferramentas como VANTs e transporte para deslocamento. A identificação destes passivos ambientais ocorre somente após a entrada de solicitação de abertura de algum processo para regularização de alguma atividade do empreendedor solicitante dentro de um imóvel rural.

Somente após a prévia análise da documentação e abertura do processo que haverá um diagnóstico do empreendimento para identificação destes passivos, desde que, na abertura desta solicitação haja como critério a detecção de áreas e zonas irregulares. Com esta detecção, o empreendedor é obrigado a realizar as medidas cabíveis para que os passivos ambientais estejam regularizados.



É uma lógica de monitoramento ambiental passiva, retrograda e lenta. O resultado disso é a ineficácia dos órgãos ambientais públicos em realizar uma manutenção adequada de zonas ecológicas que necessitam de atenção, conservação, regeneração e preservação. A regularização ambiental e preservação do meio ambiente depende da denúncia ou autodenúncia de uma atividade ambiental. Enquanto isso, a supressão irregular da vegetação, em especial das matas ciliares, progride exponencialmente em benefício da detecção passiva e linear destas irregularidades pelos órgãos competentes.

Com a alteração do código florestal pela Lei nº 12.727/2012, houve preocupações quanto a flexibilização da proteção dos recursos hídricos, isso tornou ainda mais relevante o papel ativo da sociedade quanto a vigilância ambiental (Brasil, 2012; Silva *et al.*, 2010). A fiscalização ambiental pode ser descentralizada e colaborativa, especialmente nestes casos em que os órgãos oficiais demonstram lentidão ou passividade diante de empreendimentos que aguardam licenciamento.

O sensoriamento remoto cria um ambiente virtual e orgânico entre diferentes pessoas, que exercem diferentes pesquisas e atividades, a partir da criação de produtos cartográficos e distribuição destas informações. Em um mundo ideal, estas informações, em formato de produtos cartográficos ou arquivos shapefiles ou rasters por exemplo, poderiam ser compartilhadas em um grande banco de dados público que seria fomentado continuamente pelos próprios usuários.

Isso reduziria o tempo de análise e coleta de dados para diferentes usuários do geoprocessamento. Além disso, neste cenário, haveria cada vez mais dados recentes e atualizados para diferentes objetivos, integrando um ecossistema virtual que buscasse constantemente mapear a realidade através de sensores ópticos instalados em drones ou satélites. A possibilidade de cruzar dados públicos, como os do IBGE (SIDRA e Contas Econômicas Ambientais), com imagens de satélite, permite uma análise integrada da pressão sobre os recursos naturais, especialmente em áreas de expansão agrícola e pecuária (Ana, 2022; Rivero *et al.*, 2009).

Quem, a princípio, identifica os primeiros passivos ambientais, são as consultorias ou analistas privados que realizam uma análise prévia sob critérios estabelecidos pela legislação, das atividades de seus clientes. Com as informações em mãos, já é possível elaborar uma estratégia de regularização para que seja apresentada ao órgão ambiental.

As regularizações somente irão ocorrer caso, após a análise prévia, o empreendedor decide continuar com o processo administrativo para adquirir sua autorização desejada, sob a condição de regularizar o seu passivo. Fica resguardado para os órgãos público a iniciativa de unificar todos estes agentes do geoprocessamento em um único ambiente virtual para compartilhamento e cruzamento de dados, assim, aumenta o contato entre agentes públicos e privados e aumenta a quantidade de imposto.



Os dados obtidos podem subsidiar ações de regularização ambiental via Cadastro Ambiental Rural (CAR) e Programas de Recuperação Ambiental (PRA), contribuindo para o planejamento territorial e a conservação dos recursos hídricos.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho demonstrou a relevância do uso de geotecnologias, especialmente o sensoriamento remoto para avaliação de Áreas de Preservação Permanente (APPs) na Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte a jusante da Estação Elevatória de Água Bruta da SANEAGO em Goiânia.

A análise das imagens dos satélites Landsat e Sentinel-2 permitiu mapear com precisão os afluentes do rio e identificar a presença e ausência de vegetação contígua aos mananciais, dentro das faixas legalmente protegidas. A identificação da vegetação foi possível através da classificação da imagem por índice NDVI, realçando os pixels que eram contemplados pela classe vinculada a uma vegetação densa.

O Sentinel-2 conseguiu ser mais preciso quanto a identificação de vegetação em toda zona de APP da bacia hidrográfica utilizando os mesmos critérios de classificação. Através do desenvolvimento de uma metodologia simples e eficiente, utilizando como recursos principais dados advindos de bancos de dados públicos, qualquer usuário de SIG open source é capaz de replicar os procedimentos para identificação de vegetação no entorno de APPs em outras bacias hidrográficas. Este estudo reforça a necessidade de políticas públicas mais eficazes e integradas, que incentivem a recomposição da vegetação nativa e promovam a gestão sustentável dos recursos hídricos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, acima de tudo, a Olorum, que permitiu a iluminação necessária eu enxergar toda trajetória até poder chegar a este momento. Por ter me dado forças quando não havia mais por onde sustentar. Por ter me ensinado a ter amor em cada ação aplicada sobre este mundo.

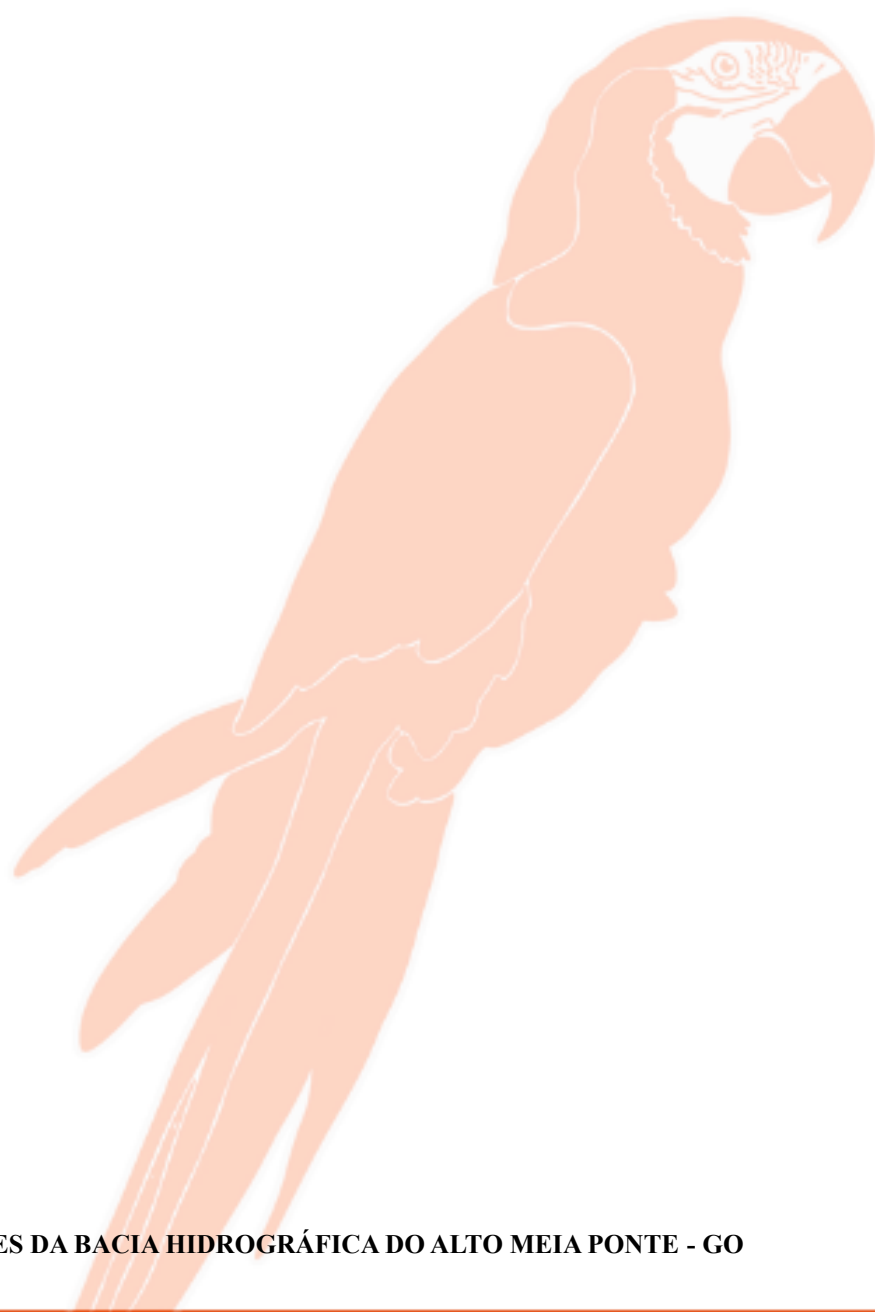
Agradeço a todos aqueles que amo no fundo do meu coração, em especial, meus pais Anegleyce Teodoro Rodrigues e Jefferson Luiz Clemente de Oliveira, que me ofertaram todos os recursos materiais, emocionais e mentais para que minha graduação se tornasse realidade.

Agradeço ao Terreiro Casa Espírita Anjo Ismael, que me ofertou a esperança, a força e a fé necessária para sustentar esta caminhada, por meio do amor.

Agradeço a todos aqueles que ao longo da minha trajetória, me auxiliaram, me sustentaram e me motivaram de alguma maneira ao longo da minha graduação e da construção do meu TCC.



Agradeço também, ao Leonardo de Campos Lopes por ter sido meu tutor de forma que me transformasse no profissional que sou hoje e por ter me introduzido a todo o universo da minha área de atuação.





REFERÊNCIAS

- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. Contas econômicas ambientais da água no Brasil: uso da água na agricultura de sequeiro e irrigada. Boletim do SNIRH, n. 3, 2022.
- BITENCOURT, M. D. *et al.* Identificação de fisionomias de cerrado com imagem índice de vegetação. In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 3., 1997, Brasília. Anais. Brasília: Universidade de Brasília, 1997.
- BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 28 maio 2012.
- BRASIL. Lei nº 12.727, de 17 de outubro de 2012. Altera a Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 18 out. 2012.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Bioma Cerrado — PPCerrado. Brasília: MMA, 2023.
- CAMPOS, M. de. *et al.* Geoprocessamento aplicado no conflito do uso do solo em Áreas de Preservação Permanente na microbacia do Córrego Três Barras – Botucatu (SP). Energia na Agricultura, Botucatu, v. 30, n. 4, p. 378–382, 2015.
- CARVALHO, I. A. de. O papel das matas ciliares na conservação do solo e água. Biodiversidade, v. 3, n. 18, p. 171-179, 2019.
- COPERNICUS. Sentinel-2 – Documentation. 2020. Disponível em: <https://documentation.dataspace.copernicus.eu/Data/SentinelMissions/Sentinel2.html#sentinel-2-level-2a-top-of-canopy-toc>. Acesso em: 15 out. 2025.
- CRESTANA, S.; REICHARDT, K.; SILVA, W. L. C. Atributos físicos de solos com diferentes culturas sob rotação e sob monocultura. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 17, n. 1, p. 71–77, 1993.
- CUBAS, M. G.; TAVEIRA, B. D. de A. Geoprocessamento: fundamentos e técnicas. Curitiba: Intersaberes, 2020.
- FERREIRA, N. C. de F. *et al.* O papel das matas ciliares na conservação do solo e água. Biodiversidade, v. 3, n. 18, p. 171-179, 2019.
- FITZ, P. R. Geoprocessamento sem complicação. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.
- HOLLANDA, M. P.; CAMPANHARO, W. A.; CECÍLIO, R. A. Manejo de Bacias Hidrográficas e a Gestão Sustentável dos Recursos Naturais. In: Lima D. M. *et al.* Atualidades em Desenvolvimento Sustentável. 1 ed. Manhuaçu - MG: Suprema Gráfica e Editora Ltda, 2012, v. 1, p. 57-66.
- LIMA, G. S. A. de; FERREIRA, N. C.; FERREIRA, M. E. Modelagem da perda superficial de solo para cenários de agricultura e pastagem na Região Metropolitana de Goiânia. Revista Brasileira de Cartografia, v. 70, n. 4, p. 1510–1536, 2018.
- LIMA, W. P.; ZAKIA, M. J. B. Função hidrológica da vegetação florestal. 2. ed. São Paulo: EdUSP, 2000.



LIU, W. T. L. Aplicações de sensoriamento remoto. Campo Grande: Ed. UNIDERP, 2006.

MAXWELL, A. E.; WARNER, T. A.; FANG, F. Implementation of machine-learning classification in remote sensing: an applied review. *International Journal of Remote Sensing*, v. 39, n. 9, p. 2784–2817, 2018.

MIRANDA, R. A. C.; OLIVEIRA, M. V. S.; SILVA, D. F. Ciclo hidrológico planetário: abordagens e conceitos. *Geo UERJ*, v.1, n. 21, p. 109–123, 2010.

NEPOMUCENO, P. L. M. Diagnóstico de áreas de preservação permanente com utilização de técnicas de sensoriamento remoto e SIG: estudo de caso Bacia Hidrográfica do Ribeirão Gomerl. 2012. 74f. Monografia (Especialização em Geoprocessamento) – Departamento de Arquitetura, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

NOVAES, R. D. Avaliação das áreas de preservação permanente – APPs presentes nos cursos d’água e nas nascentes da bacia de captação do rio Meia Ponte – BCRMP, Estado de Goiás. 2022. 23f. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais do Cerrado) - Câmpus Anápolis de Ciências Exatas e Tecnológicas - Henrique Santillo - Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, 2022.

OLIVEIRA, A. K. M.; PIRAJÁ, R. V. Análise multitemporal da cobertura vegetal na Bacia Hidrográfica do Córrego Ceroula, Mato Grosso do Sul. *Interações*, Campo Grande, v. 23, n. 4, p. 997–1011, 2022.

RIVERO, S. *et al.* Pecuária e desmatamento: uma análise das principais causas diretas do desmatamento na Amazônia. *Nova Economia*, Belo Horizonte, v. 19, n. 1, p. 41–66. jan/abr. 2009.
SANTANA, D. P. Manejo integrado de bacias hidrográficas. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 63 p. (Documentos, 30).

SANTOS, J. R. dos *et al.* Avaliação da adequação da ocupação do solo em Áreas de Preservação Permanente (APPs). *Revista Irriga*, Botucatu, v. 19, n. 2, p. 333–344, 2014.

SILVA, J. M. C. *et al.* Impactos potenciais das alterações do Código Florestal nos recursos hídricos. *Biota Neotropica*, São Paulo, v. 10, n. 4, p. 45–50, 2010.

SILVEIRA, A. L. L., Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: Tucci, C. E. M. *Hidrologia - Ciência e aplicação* / organizado por Carlos E. M. Tucci - Porto Alegre: Ed. Da Universidade: ABRH: EDUSP, 1993. 943 p.

TAGLIARI, P. D.; BAPTISTA, G. M. de M. Monitoramento de áreas de preservação permanente (APP) interceptadas pela Ferrovia Norte-Sul em um trecho do estado de Goiás/Brasil por meio de dados de sensoriamento remoto. *Revista Brasileira de Geomática – RBGeo*, Curitiba, v. 8, n. 3, p. 181-201, jul./set. 2020.

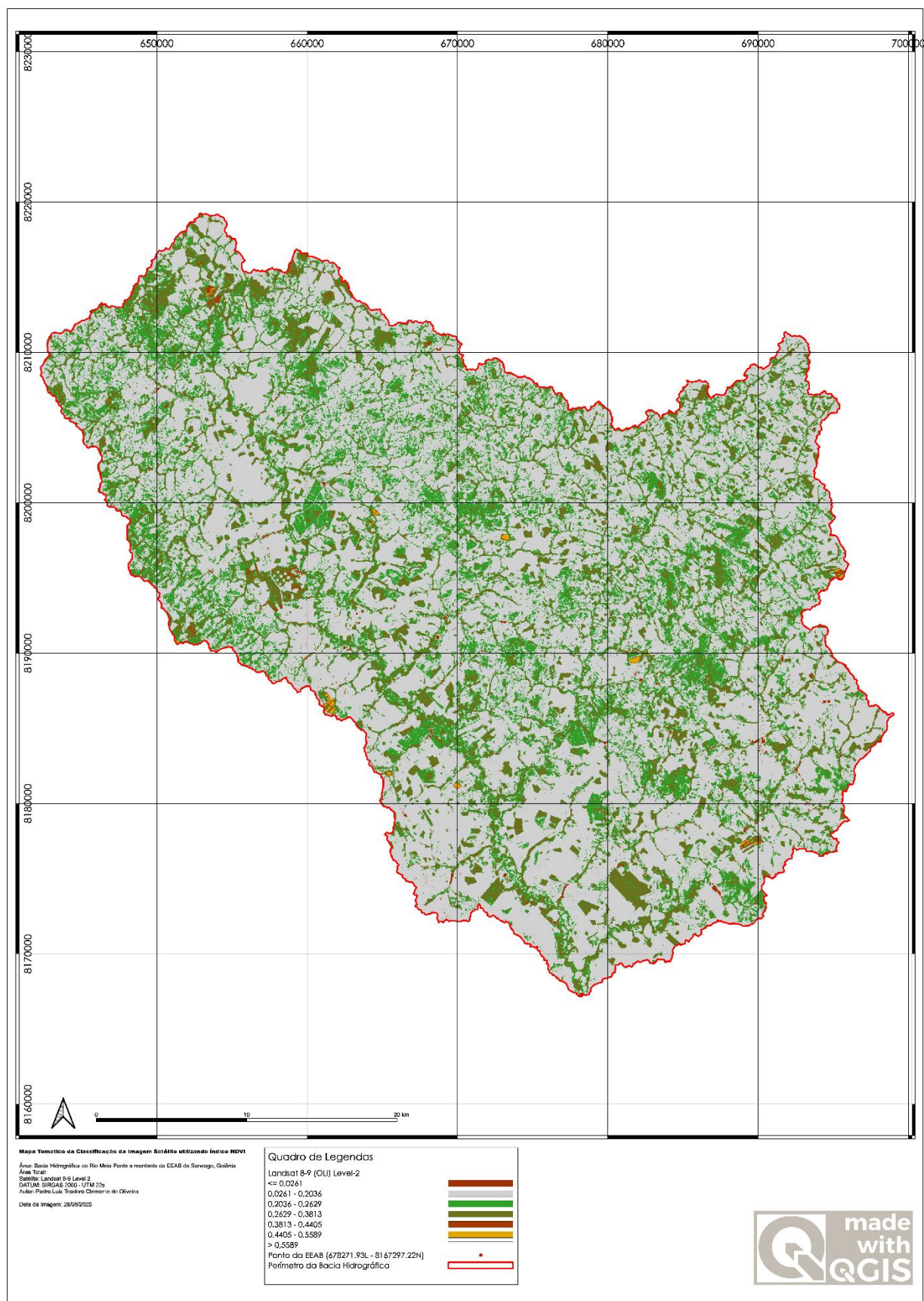
USGS. Landsat Satellite Missions. 2025. Disponível em: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-satellite-missions>. Acesso em: 15 out. 2025.

WIENS, J. *et al.* Selecting and conserving lands for biodiversity: The role of remote sensing. *Remote Sensing of Environment*. v.113, p.1370–1381, 2009.



APÊNDICE

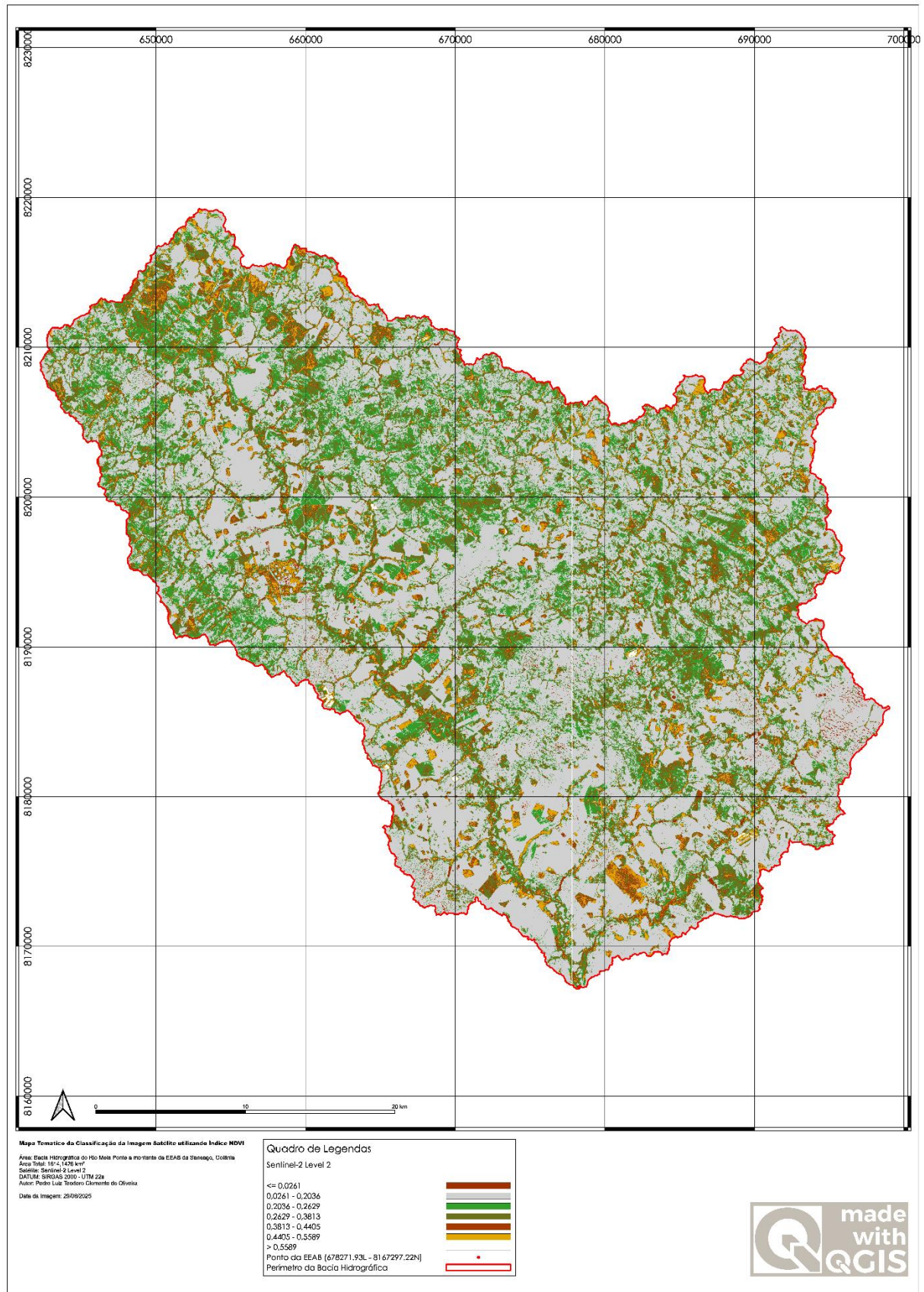
Figura 3



Fonte: Autores.



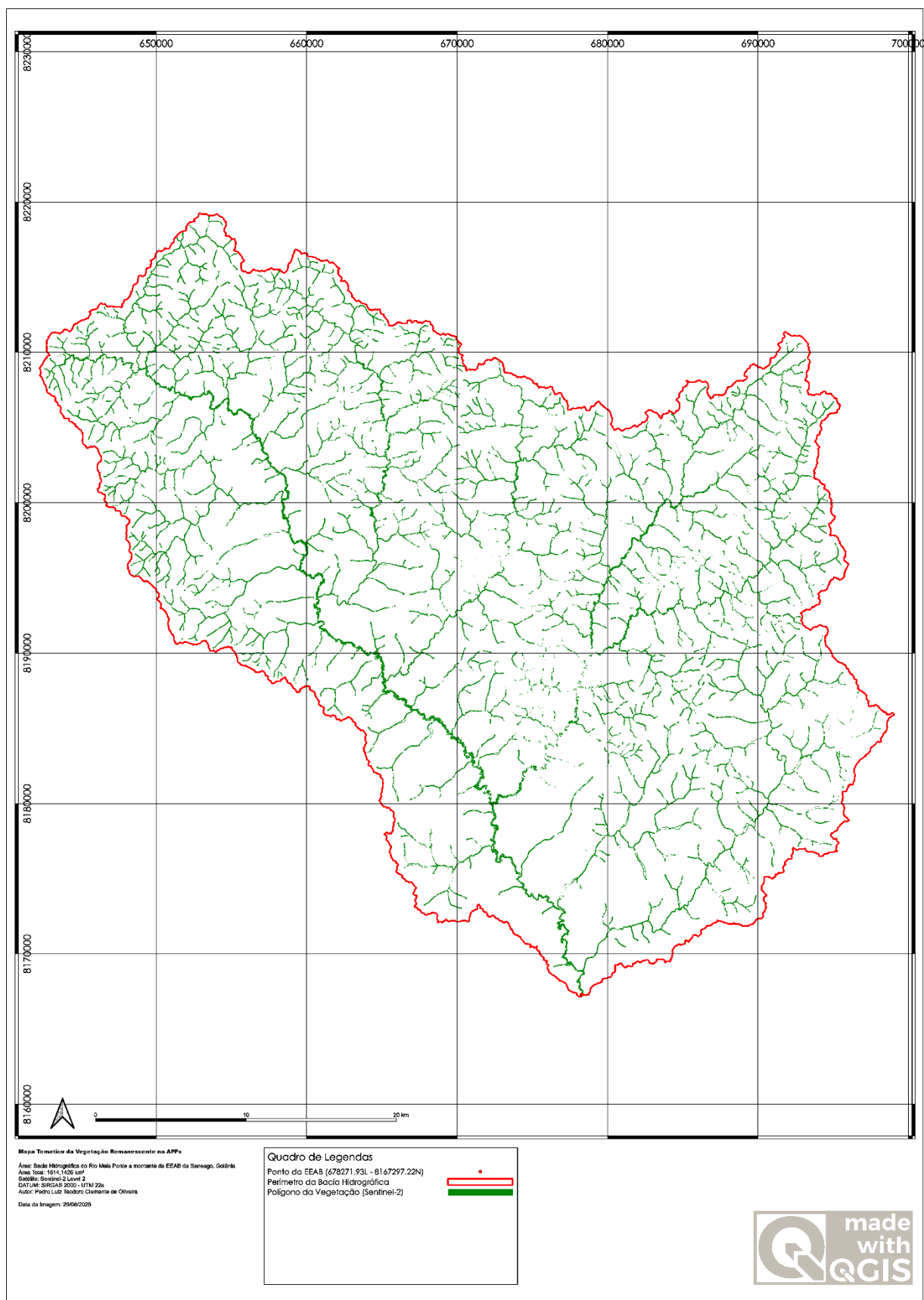
Figura 4



Fonte: Autores.



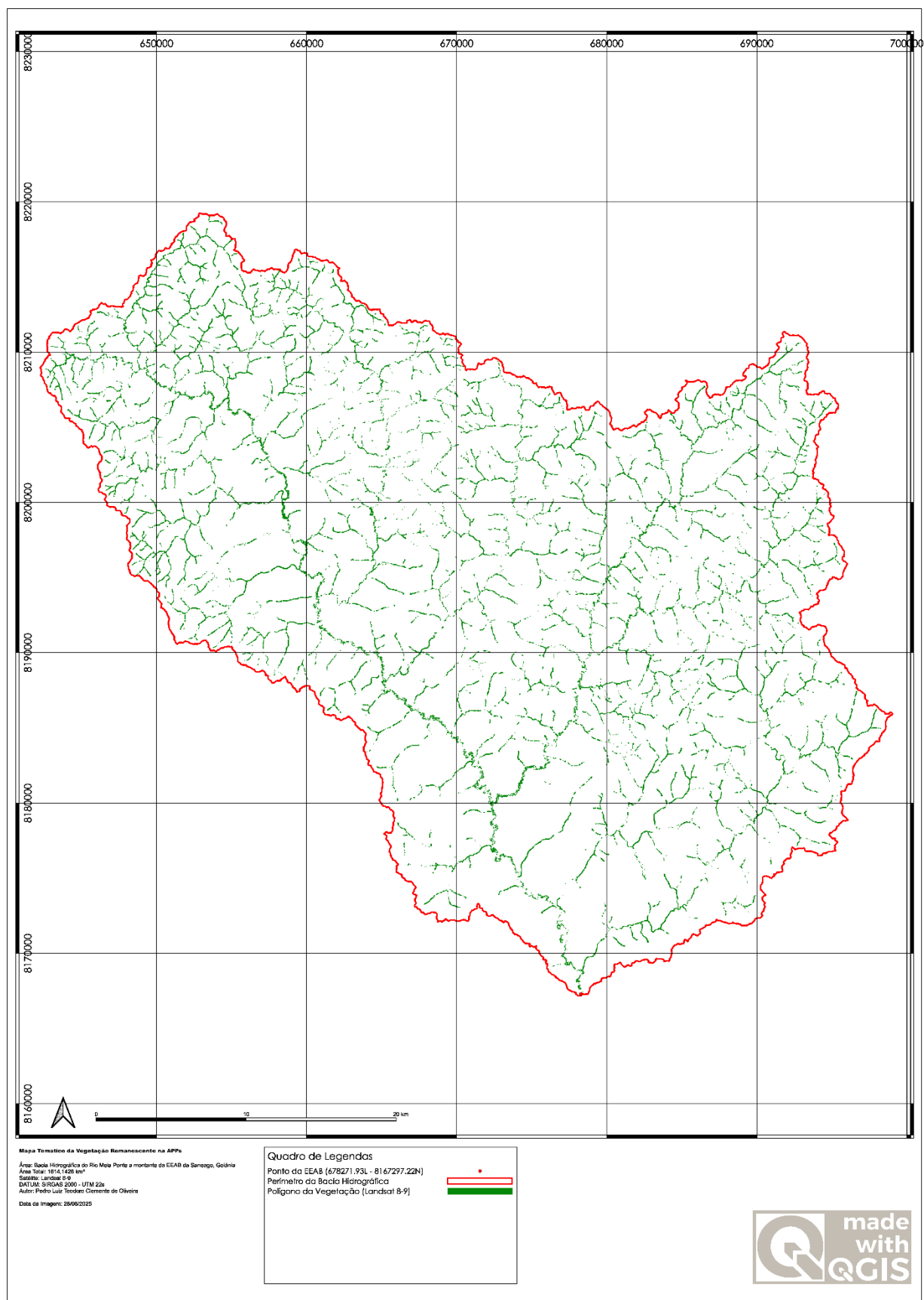
Figura 5



Fonte: Autores.



Figura 6



Fonte: Autores.