

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE GEOGRAFIA

DANIELLE REGINA VIOLONTE PIRES GERVÁSIO

**Análise da variação de áreas de vegetação em imagens NDVI em diferentes bandas
espectrais da plataforma SENTINEL-2A**

Uberlândia

2021

DANIELLE REGINA VIOLONTE PIRES GERVÁSIO

**Análise da variação de áreas de vegetação em imagens NDVI em diferentes bandas
espectrais da plataforma SENTINEL-2A**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Geografia.

Orientador: Claudionor da Silva Ribeiro.

Uberlândia

2021

DANIELLE REGINA VIOLONTE PIRES GERVÁSIO

Análise da variação de áreas de vegetação em imagens NDVI em diferentes bandas espectrais da plataforma SENTINEL-2A

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Geografia.

Uberlândia, 07 de Junho de 2021.

Banca Examinadora:

Claudionor Ribeiro da Silva – Doutor (UFU)

Tatiane Assis Vilela Meireles – Doutora (UFU)

Emanuelle Zordan de Melo – Mestre (UFU)

RESUMO

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) é bastante empregado em estudos de Sensoriamento Remoto, nos quais apresenta-se como um rápido e simples método de identificação de áreas de vegetação. O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de calcular e analisar a qualidade dos mapas temáticos e dos valores de NDVI dos pares das bandas B4xB5, B4xB6, B4xB7 e B4xB8A do satélite SENTINEL-2^a, com resolução espacial de 20 m, que foram determinados em uma área de plantio silvicultural (eucalipto e pinus). Foi realizado o cálculo do NDVI e a classificação de seus valores foi efetivada usando rotinas implementadas no software QGIS. Os resultados se mostraram eficientes para a identificação da cobertura vegetal da área de silvicultura e para a separação das diferentes feições da imagem (vegetação densa, vegetação crescente ou cortada e outras classes) nas diferentes bandas espectrais, evidenciando a diferença de refletância entre as bandas utilizadas, além da diferenciação na homogeneidade visual da vegetação devido a diferenças numéricas dos valores no espectro.

Palavras-chave: Índice de Vegetação; Sensoriamento Remoto; NDVI.

ABSTRACT

The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) is widely used in Remote Sensing studies, in which it is a quick and simple method of identifying vegetation areas. The present work was developed with the objective of calculating and analyzing the quality of thematic maps and NDVI values of the pairs of bands B4xB5, B4xB6, B4xB7 and B4xB8A of the SENTINEL-2A satellite, with a spatial resolution of 20 m, which were determined in a silvicultural planting area (eucalyptus and pine). The NDVI calculation was performed and the classification of its values was carried out using routines implemented in the QGIS software. The results were efficient for the identification of vegetation cover in the forestry area and for the separation of different image features (dense vegetation, growing or cut vegetation and other classes) in the different spectral bands, showing the difference in reflectance between the used bands, in addition to the differentiation in the visual homogeneity of the vegetation due to numerical differences in the values in the spectrum.

Keywords: Vegetation Index; Remote sensing; NDVI.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - A configuração orbital do satélite SENTINEL-2A e do satélite gêmeo (cortesia Astruim GmbH).....	16
Figura 2 - Imagem do SENTINEL-2A.....	17
Figura 3 - Mapa de localização da área	21
Figura 4 - Imagem da tela do site USGS dos resultados da pesquisa.....	22
Figura 5 - Cenas baixadas sem nenhum processamento.....	23
Figura 6 - Cenas recortadas de acordo com o perímetro da área de estudo.....	23
Figura 7 - Composição colorida (RGB)	24
Figura 8 - Fluxograma sobre o processo de processamento das imagens NDVI.....	25
Figura 9 - Mapa de NDVI das bandas 04 e 05 de 20 m do satélite SENTINEL-2A.....	27
Figura 10 - Histograma Raster do NDVI das bandas 04 e 05 de 20m do satélite SENTINEL-2A.....	28
Figura 11 - Mapa de NDVI das bandas 04 e 06 de 20 m do satélite SENTINEL-2A.....	29
Figura 12 - Histograma Raster do NDVI das bandas 04 e 06 de 20m do satélite SENTINEL-2A.....	30
Figura 13 - Mapa de NDVI das bandas 04 e 07 de 20 m do satélite SENTINEL-2A.....	31
Figura 14 - Histograma Raster do NDVI das bandas 04 e 07 de 20m do satélite SENTINEL-2A.....	32
Figura 15 - Mapa de NDVI das bandas 04 e 08A de 20 m do satélite SENTINEL-2A.....	33
Figura 16 - Histograma Raster do NDVI das bandas 04 e 08A de 20m do satélite SENTINEL-2A.....	34
Figura 17 - Mapas NDVI das bandas 04x05, 04x06, 04x07 e 04x08A do SENTINEL-2A	35
Figura 18 - Histogramas Raster do NDVI das bandas 04x05, 04x06, 04x07 e 04x08A do SENTINEL-2A.....	36

LISTA DE TABELAS E GRÁFICOS

Tabela 1 - Características do sensor SENTINEL-2.....	18
Tabela 2 - Critérios de classificação NDVI	26
Tabela 3 - Dados das áreas dos quatro recortes.....	37
Gráfico 1 - Discrepâncias entre os recortes Máximo Verossimilhança x NDVI.....	38

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CCRS	Canada Centre for Remote Sensing
ESA	European Spacial Agency
GMES	Global Monitoring for Environment and Security
GNSS	Global Navigation Satellite System
MSI	Instrumento Multiespectral
NDVI	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
NIR	Infravermelho Próximo
PDI	Processamento Digital de Imagens
REM	Radiação Eletromagnética
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SR	Sensoriamento Remoto
SWIR	Infravermelho de Onda Curtas
USGS	United States Geological Survey
VANT	Veículos Aéreos Não Tripulados
VNIR	Infravermelho Próximo e Visível

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 OBJETIVOS	11
2.1 Objetivos específicos	11
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	11
3.1 Geotecnologias.....	11
3.1.1 Sensoriamento Remoto.....	12
3.1.2 SENTINEL-2A	15
3.1.3 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)	19
4. MATERIAIS E MÉTODOS	20
4.1 Área de Estudo	21
4.2 Material	22
4.3 Método	24
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	26
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	39
REFERÊNCIAS	40

1. INTRODUÇÃO

O Sensoriamento Remoto abrange dentre os seus principais objetivos o de distinguir as diferentes propriedades dos materiais superficiais, que é possível devido a cada um desses materiais ter um comportamento específico ao longo do espectro eletromagnético, tornando possível a sua identificação. As diferentes respostas espectrais proporcionam a separação dos diferentes elementos presentes na imagem, tendo como técnica bem conhecida para separar tais elementos a classificação de imagem. A classificação de imagem é uma das técnicas comumente usadas para separar os elementos presentes na imagem.

A classificação busca relacionar cada pixel da imagem a uma classe que exemplifica um alvo real. Assim, ao realizar esse procedimento todos os pixels serão vinculados a uma determinada classe, resultando em um mapa temático, que mostrará a distribuição geográfica do elemento. Desse modo, pode-se dizer que uma imagem de sensoriamento classificada é uma forma de mapa digital temático (CRÓSTA, 1992).

Conforme Santiago et al. (2009), a técnica de Sensoriamento Remoto permite avaliar as mudanças ocorridas na paisagem, podendo-se, por exemplo, registrar o uso do solo ao longo do tempo. Devido à complexidade em analisar os vários fatores ambientais que interagem ao mesmo tempo, é preciso usar técnicas específicas para caracterizar a superfície terrestre. Como um relevante fator ambiental, destaca-se a cobertura vegetal, que trata-se de um elemento que apresenta assinatura espectral particular, o que proporcionou a geração de diversos índices que facilitam sua identificação e permitem a evidenciação de seu comportamento espectral em relação a outros alvos.

A vegetação possui uma assinatura espectral específica quando comparada com os outros elementos terrestres. Diversos estudos associados à identificação e mapeamento da vegetação têm se sustentado no argumento da existência de um alto contraste espectral entre a reflectância da vegetação e os elementos de fundo da cena (GURGEL et al., 2001). Os índices de vegetação foram desenvolvidos com o intuito de melhor explicar os atributos espectrais da vegetação, operando em especial nas regiões do visível e do infravermelho próximo. Esses índices têm por finalidade realçar o contraste espectral entre a vegetação e os outros elementos presentes na cena, tais como o solo e a água (PONZONI, SHIMABUKURO, 2010).

Segundo Gamon et al. (1995), os índices de vegetação são modelos numéricos que apontam uma relação direta com a fitomassa foliar verde, mostrando a relação da refletância da cobertura vegetal com as propriedades estruturais e ópticas da vegetação (MATSUMOTO & BITTENCOURT, 2001).

Dentre os índices de vegetação, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) tem sido bastante empregado em estudos de Sensoriamento Remoto, apresentando uma forma simples e rápida de identificação de áreas vegetadas. O NDVI é processado como a razão da subtração pela soma das duas bandas espectrais equivalentes aos comprimentos de ondas do vermelho e do infravermelho, sendo, portanto, não linear e é influenciado por efeitos ruidosos aditivos, tais como radiação de trajetória atmosférica (BRAZ et al., 2015). Nesse contexto, a segmentação dos valores de NDVI permite a categorização de alvos em imagens digitais.

Alguns satélites apresentam diferentes sensores que coletam bandas espectrais tanto na região do vermelho quanto na região do infravermelho, o que permite diferentes cálculos de NDVI. Segundo relatório da ABRAF (2012), em todo o território brasileiro existe um potencial muito grande para o desenvolvimento de atividades agroindustriais com base na silvicultura de eucalipto. Assim, é importante a medida de áreas ocupadas por silvicultura de forma simples, direta e de baixo custo, dado que a metodologia convencional (topografia) é morosa e onerosa.

O mapeamento do uso e cobertura do solo tornou-se muito importante em diferentes áreas do conhecimento, em especial a ambiental. As áreas com plantio de silvicultura (ex.: eucalipto e pinus) facilita o processo de classificação/segmentação pela análise dos valores de NDVI, por apresentar cobertura do solo por longo período de tempo, mantendo a intensa cor verde da clorofila. O NDVI é o índice ideal para determinar a presença de vegetação, facilitando a geração do mapa temático dessa feição e da posterior análise da qualidade geométrica do referido mapa, ao usar imagens de diferentes sensores (BRAZ et al., 2015).

A série de satélites SENTINEL foi concebida a partir de um projeto da Agência Nacional Europeia (ESA)/Comissão Europeia para fornecer a riqueza de dados e imagens essenciais para o programa Copernicus da Comissão Europeia. O SENTINEL-2 carrega um inovador gerador de imagens multiespectral de alta resolução de ampla faixa com 13 bandas espectrais para uma nova perspectiva dos solos e da vegetação. A combinação de alta resolução, novas capacidades espectrais, uma largura de faixa de 290 km e tempos de revisita frequentes fornecem vistas sem precedentes da Terra. A missão é baseada em uma constelação de dois satélites idênticos na mesma órbita, 180° separados para uma cobertura ideal e entrega de dados. Juntos, eles cobrem toda a superfície terrestre, incluindo grandes ilhas, águas interiores e costeiras, com o tempo de revista a cada cinco dias no Equador. As bandas do SENTINEL-2A serão utilizadas para esse trabalho, tendo sido lançado em 23 de junho de 2015 (UNITED STATIONS, 2021).

Nesse contexto, a hipótese do trabalho é que aplicando-se o NDVI em diferentes imagens, geradas a partir de diferentes bandas espectrais, integrantes ao satélite SENTINEL-2A, há variação nos valores correspondentes à classe de vegetação plantada (silvicultura).

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivos Geral

Analisar a qualidade dos produtos (mapas temáticos de vegetação) gerados com os valores de NDVI, determinados em área com silvicultura (eucalipto e pinus), usando diferentes bandas espectrais do SENTINEL-2A, com resoluções espaciais de 20 m.

2.2 Objetivos específicos

- Gerar limite, em formato vetorial, da área de estudo com silvicultura;
- Calcular o NDVI com os pares de bandas B4xB5, B4xB6, B4xB7 e B4xB8A;
- Segmentar e classificar os valores de NDVI correspondentes à silvicultura.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Geotecnologias

O uso de geotecnologias no Brasil é recorrente em diversas áreas do conhecimento científico, o que as tornam indispensáveis em pesquisas geográficas, sendo de grande importância no monitoramento ambiental. Associadas as geotecnologias está à espacialização das informações e dados da superfície terrestre, que abrange um conjunto de tecnologias associadas à coleta de dados, processamento e tratamento da informação espacial, análise e oferta de informações com referência geográfica (SOUZA, 2017).

As geotecnologias são um conjunto de técnicas e ferramentas, como no Sensoriamento Remoto (SR), Sistema de Informações Geográficas (SIG ou GIS), Processamento Digital de Imagens (PDI), Cartografia Digital, uso de GNSS (*Global Navigation Satellite System*), Levantamentos Topográficos, Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs), softwares e outros. O Sensoriamento Remoto tem sido bastante aplicado no monitoramento da vegetação, voltado para o comportamento espectral e ou fisiológico da cobertura vegetal (JENSEN, 2009; LONGHITANO, 2010).

De acordo com Simioni et al. (2012), o Sensoriamento Remoto é uma importante ferramenta das geotecnologias, usada para o levantamento de dados, como da agricultura, permitindo estudos e o conhecimento das relações ambientais em que uma determinada cultura está inserida. Em complemento, as técnicas de processamento digital de imagens têm sido

bastante utilizadas nas extrações de informações de feições na superfície terrestre, especialmente para monitorar as características biofísicas e as ações antrópicas (OLIVEIRA et al., 2012).

Pode-se observar ao longo dos últimos anos que a utilização do Sensoriamento Remoto e técnicas de Processamento Digital de Imagens, em estudos ambientais, vem trazendo notáveis resultados no âmbito de propiciar informações acerca de diversas feições/alvos. O uso dessas ferramentas e plataformas estão se tornando de grande importância para pesquisas em geral (LINHARES, 2016), especialmente os produtos disponibilizados gratuitamente.

3.1.1 Sensoriamento Remoto

O Sensoriamento Remoto (SR) pode ser definido como um conjunto de sensores, equipamentos de transmissão em aeronaves, espaçonaves e em outras plataformas, com o objetivo de compreender fenômenos, eventos e processos que ocorrem na superfície do planeta, desde o registro de análise das influências entre a radiação eletromagnética e as substâncias que o compõe em suas mais diversas manifestações (NOVO, 2010). É utilizado desde a década de 1960 na construção de modelos de parâmetros biofísicos da cobertura vegetal, que podem ser mensurados por índices de vegetação (JENSEN, 2009), fazendo com que através dessa tecnologia seja possível obter informações a partir de imagens e auxiliar as pesquisas de campo (FLORENZANO, 2002; LONGHITANO, 2010).

O SR está relacionado com a busca pela informação e entendimento de parâmetros físicos através de suas técnicas de extração de informações da superfície terrestre sem contato direto. Os dados provenientes do objeto são a radiação eletromagnética (REM) refletida ou emitida, e os sensores responsáveis por capturar a energia eletromagnética dividem-se em dois tipos: imageadores e não imageadores. O sensor é imageador quanto sua capacidade de gerar ou não imagens e, não-imageador, refere-se a fonte de REM poder ser definida em ativos, quando emitem alguma forma de energia ou passivos quando têm a capacidade só de captar a REM (PINHEIRO, 2007).

O SR envolve uma interação entre a radiação incidente e os alvos de interesse, isto é exemplificado pelo uso de sistemas de imageamento onde os sete elementos seguintes são envolvidos: A primeira necessidade é possuir uma fonte de energia ou iluminação (1) que fornece energia eletromagnética para os alvos de interesses; Radiação e atmosfera (2), ou seja, como a energia viaja da sua fonte para o alvo, ela irá ter contato e interagir com a atmosfera, essa interação pode ocorrer uma segunda vez quando a energia viaja do alvo para o sensor;

Interação com o alvo (3) uma vez que a energia faz seu caminho para o alvo através da atmosfera, ela interage com o alvo, conforme as propriedades do alvo e a radiação; Registro da energia pelo sensor (4), onde após a energia ter sido espalhada ou emitida pelo alvo, um sensor remoto que não esteja em contato físico com o alvo coleta e registra a radiação eletromagnética; Transmissão, recepção e processamento (5), onde a energia registrada pelo sensor tem que ser transmitida, sempre na forma eletrônica, para uma estação de recepção e processamento na terra, onde os dados são processados e uma imagem é gerada; Interpretação e análise (6), a imagem processada é interpretada, visualmente e/ou digitalmente ou eletronicamente, para extrair informações sobre os alvos que foram iluminados e; A aplicação (7) da informação extraída das imagens para melhor entendê-la, para revelar alguma nova informação ou auxiliar na solução de algum problema particular (CCRS, 2019).

Dependendo da complexidade do alvo, e dos comprimentos de ondas da radiação envolvida, é possível observar muitas respostas diferentes para os mecanismos de absorção, transmissão e reflexão. Medindo a energia que é refletida (ou emitida) pelos alvos na superfície da terra sobre uma variedade de comprimentos de ondas, é possível construir uma resposta espectral para os objetos. Comparando os padrões de respostas de diferentes materiais, é possível observar as distinções entre eles levando em consideração os comprimentos de onda. Por exemplo, água e vegetação podem ter reflexão similar em comprimentos de ondas visíveis, mas são muito diferentes na porção do infravermelho. A resposta espectral pode variar um pouco para o mesmo tipo de alvo, e também pode variar com o tempo (verde das folhas) e localização. O conhecimento dos fatores que influenciam a resposta espectral dos alvos é muito importante para uma correta interpretação da interação da radiação eletromagnética com a superfície terrestre (CCRS, 2019).

Diferentes classes e detalhes em uma imagem podem, quase sempre, ser distinguidas pela comparação de suas respostas em diferentes faixas de comprimento de onda. Classe muito distintas como água e vegetação podem ser discriminadas em comprimentos de onda distintos como visível e infravermelho próximo. Outras classes mais específicas como diferentes tipos de rochas podem não ser facilmente distinguidas com faixas de comprimentos de onda tão separados, e necessitam de uma comparação em comprimentos de onda mais próximos para separá-los. Portanto, necessita-se neste caso de sensores com alta resolução espectral. A resolução espectral descreve a capacidade do sensor de definir intervalos de comprimentos de onda (CCRS, 2019).

Toda vez que uma imagem é adquirida por um filme ou sensor, sua sensibilidade para a magnitude da energia eletromagnética determina a resolução radiométrica. A resolução

radiométrica de uma imagem é a capacidade de discriminar pequenas diferenças na energia. Um sensor de alta resolução radiométrica é capaz de detectar pequenas diferenças na energia refletida ou emitida. Dados de imagem são representado por números que variam de 0 até a valor final que é 2 elevado ao número de bits da imagem. Cada bit é um expoente de 2 ($1\text{bit} = 2^1 = 2$). O número máximo de níveis de brilho depende do número de bits usado na representação da energia registrada, portanto, se um sensor usa 8 bits para registrar o dado, então ele teria $2^8 = 256$ valores digitais disponíveis, variando de 0 a 255. Por outro lado, se somente 4 bits forem usados, então somente $2^4 = 16$ variando de 0 a 15 estariam disponíveis, assim, a resolução radiométrica é menor. Comparando a imagem de 2 bits com a imagem de 8 bits, pode-se notar que elas são diferentes em nível de detalhamento. A Resolução Temporal representa a frequência com que a área de interesse é revisitada ou imageada (CCRS, 2019).

As imagens geradas pelos sensores são representadas em forma de matriz, onde cada célula é denominada de pixel, que é o menor elemento (ou unidade) desse produto. O tamanho da área imageada no terreno é representada nesse menor elemento da imagem em qualquer tipo de sensor, define uma propriedade importante da imagem, a resolução espacial. A resolução espacial é um importante parâmetro do sensor por determinar o tamanho do menor objeto que pode ser identificado na imagem, ou seja, um objeto só pode ser detectado quando o seu tamanho for maior do que o tamanho do elemento da resolução espacial do sensor (CCRS, 2019).

Existem várias técnicas de extração de informações em imagens digitais, como a classificação, a segmentação e os índices espectrais. No caso da vegetação, existem vários índices específicos, capazes de extrair informações relacionadas ao vigor vegetativo (intensidade de clorofila e condição estrutural das folhas) dessa feição. Na literatura vários índices de vegetação são apresentados, com o objetivo de examinar as características espectrais da vegetação, principalmente nas regiões do visível e do infravermelho próximo. O fundamento desses índices sucede-se em razão do comportamento oposto da reflectância da vegetação nas regiões mencionadas (PONZONI e SHIMABUKURO, 2010).

Mediante os conhecimentos espectrais adquiridos nas imagens, utilizam-se índices para simplificar a análise de dados das imagens captadas pelos sensores, mostrando o comportamento espectral da vegetação reduzindo o efeito do solo ou de outros objetos. A principal motivação dos estudos em vegetação envolvendo a aplicação das técnicas de SR, consiste na compreensão da fisionomia que uma cobertura vegetal atribui em um determinado produto de sensoriamento remoto, além do custo relativamente baixo e da possibilidade de análise de grandes áreas.

3.1.2 Sentinel – 2A

A Agência Espacial Europeia (ESA) e a Astrium assinaram em abril de 2008 um contrato de € 195 milhões para fornecer o primeiro satélite de observação da Terra SENTINEL-2, dedicado ao monitoramento do ambiente terrestre, como parte do programa europeu Global Monitoring for Environment and Security (GMES). Como contratante principal, a Astrium foi responsável pelo design, desenvolvimento e integração do satélite, desenvolvendo uma missão de imagem óptica multiespectral de alta qualidade. O GMES visa fornecer serviços ambientais e de segurança e é liderado pela Comissão Europeia (GUNTER'S SPACE PAGE, 2020).

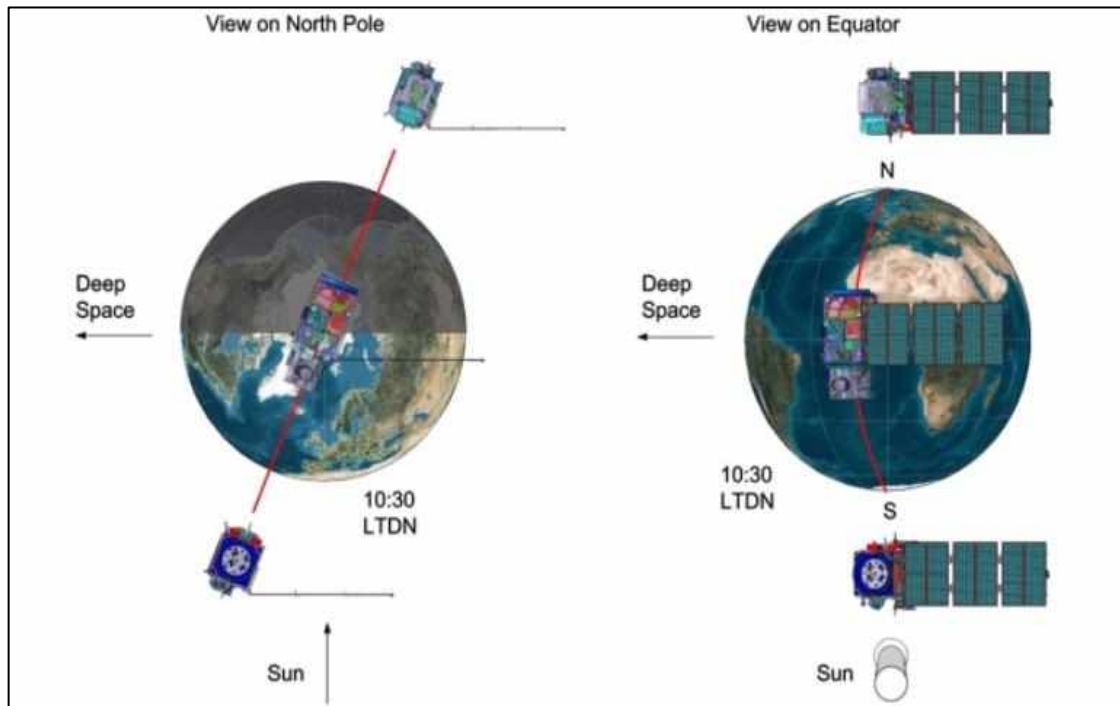
A ESA é a responsável pela implementação da Componente Espacial GMES, um conjunto de missões de observação da Terra envolvendo a ESA, os Estados-Membros da União Europeia (EU) / ESA e outros parceiros. O SENTINEL-2 apoia a geração operacional de produtos como o mapeamento da cobertura do solo e uso do solo, detecção de mudanças e variáveis geofísicas. O objetivo da missão é a cobertura sistemática da superfície terrestre para produzir imagens sem nuvens, normalmente a cada 15 a 30 dias na Europa (GUNTER'S SPACE PAGE, 2020).

A Missão SENTINEL-2 compreende uma constelação de dois satélites (SENTINEL-2A e 2B) de órbita polar, colocados na mesma órbita sincronizada com o Sol, divididos em 180° entre si. A resolução temporal de cada sensor é 10 dias, sendo que o SENTINEL-2B atinge a mesma posição do SENTINEL-2A após 5 dias de sua passagem. Fornecem imagens terrestres de media resolução espacial, espectral e temporal e visam assegurar a continuidade das observações LANDSAT e SPOT (THE EUROPEAN SPACE AGENCY, 2021).

As imagens deste sensor são distribuídas pela ESA (European Space Agency), com resolução de 16 bits e nível 1C de correção, que incluem correções radiométricas e geométricas, ortorretificação e registro espacial em um sistema de referência global com precisão subpixel (THE EUROPEAN SPACE AGENCY, 2021).

Os SENTINEL são uma frota de satélites concebidos especificamente para fornecer a riqueza de dados e imagens essenciais para o programa Copernicus da Comissão Europeia, como já mencionado. Dessa forma, o SENTINEL-2 carrega um inovador gerador de imagens multiespectral de alta resolução de ampla faixa para uma nova perspectiva dos solos e da vegetação (Figura 1). A combinação de alta resolução, novas capacidades espectrais, uma largura de faixa de 290 km e tempos de revisita frequentes, fornecem vistas sem precedentes da Terra (UNITED STATIONS, 2021).

Figura 1: A configuração orbital do satélite SENTINEL-2 do satélite gêmeo (cortesia Astrium GmbH)



Fonte: The European Space Agency, 2021.

Os dados adquiridos, cobertura de missão e alta frequência de revisita permitem a geração de geoinformação em escalas local, regional, nacional e internacional. Os dados são projetados para serem modificados e adaptados por usuários interessados em áreas temáticas como: planejamento espacial, monitoramento agroambiental, monitoramento de água, monitoramento de floresta e vegetação, carbono terrestre, monitoramento de recursos naturais, monitoramento de safra global (THE EUROPEAN SPACE AGENCY, 2021).

As resoluções da Missão SENTINEL-2 e seu instrumento MSI de carga útil são três: a resolução temporal de um satélite em órbita, que é a frequência de revisita do satélite para um local específico, tendo como frequência de revisita de cada satélite SENTINEL-2 a de 10 dias e a revisita da constelação combinada a de 5 dias, como já mencionado. Quanto maior a resolução radiométrica, mais capaz será o dispositivo de detectar diferenças na intensidade ou refletância, ela é rotineiramente expressa como um número de bits, sendo no MSI de 12 bits, permitindo que a imagem seja adquirida em uma faixa de 0 a 4095 valores potenciais de intensidade de luz (THE EUROPEAN SPACE AGENCY, 2021).

No ano de 2015 foi lançado o satélite SENTINEL-2A (Óptico) (Figura 2), pela Agência Espacial Europeia (ESA), para dar continuidade as imagens multiespectrais fornecidas pela série de satélites SPOT e pelo instrumento USGS LANDSAT Thematic Mapper. Após a

disponibilização de suas imagens, de forma gratuita, elas passaram a ser exploradas com maior frequência para estudos científicos (THE EUROPEAN SPACE AGENCY, 2021).

Figura 2: Imagem do SENTINEL-2A



Fonte: The European Space Agency, 2021.

O SENTINEL-2A incorpora três novas bandas espectrais na região da borda vermelha, que são centradas em 705, 740 e 783 nm, possuindo 13 bandas espectrais com uma resolução radiométrica de 12 bits. O Instrumento Multiespectral SENTINEL-2 (MSI) coleta 13 bandas espectrais: quatro bandas em 10 metros, seis bandas em 20 metros e três bandas em resolução espacial de 60 metros. Suas 13 bandas espectrais variam do Visível (VNIR) e do Infravermelho Próximo (NIR) ao Infravermelho de Ondas Curtas (SWIR): bandas de 4 x 10 metros: as três bandas RGB clássicas ((azul (~ 493nm), verde (560nm) e vermelho (~ 665nm)) e uma banda infravermelha próxima (~ 833nm); as bandas de 6 x 20 metros: 4 bandas estreitas no domínio espectral da borda vermelha da vegetação VNIR (~ 704nm, ~ 740nm, ~ 783nm e ~ 865nm) e 2 bandas SWIR mais largas (~ 1610nm e ~ 2190nm) para aplicações como neve / gelo / detecção de nuvens ou avaliação de estresse por umidade da vegetação; e as bandas de 3 x 60 metros voltadas principalmente para a triagem de nuvens e correção atmosférica (~ 443nm para aerossóis e ~ 945nm para vapor d'água) e detecção de cirrus (~ 1374nm), como pode-se ver na Tabela 1. A largura da faixa orbital é de 290 km (THE EUROPEAN SPACE AGENCY, 2021).

Tabela 1: Características do sensor SENTINEL-2A.

Resolução	Nº da Banda	Nome da Banda	Comprimento de Onda Central (nanômetro)	Combinações de Bandas
10 m	B02	Blue (Azul)	490	Cor Verdadeira RGB 04/03/02 Falsa Cor 1 e 2 RGB 08/04/03 e 04/08/03
	B03	Green (Verde)	560	
	B04	Red (Vermelho)	665	
	B08	NIR (Infravermelho Próximo)	842	
20 m	B05	Red Edge 1	705	SWIR 1 RGB 12/11/8A
	B06	Red Edge 2	740	
	B07	Red Edge 3	783	
	B08A	Red Edge 4	865	
	B11	SWIR 1	1610	
	B12	SWIR 2	2190	
60 m	B01	Aerossol	443	-
	B09	Water Vapor	940	
	B10	Cirrus	1375	

Fonte: Engesat, 2015.

Quatro dias após ser colocado em órbita, o SENTINEL-2A entregou suas primeiras imagens da Terra, oferecendo um vislumbre da visão colorida que fornece para o programa de monitoramento ambiental Copernicus. A primeira aquisição do satélite começou na Suécia e fez uma observação em forma de faixa através da Europa Central e do Mediterrâneo, terminando na Argélia. Os dados foram transmitidos em tempo real para a estação terrestre italiana de Matera, onde as equipes aguardavam ansiosamente a chegada para processamento. O SENTINEL-2 é a primeira missão óptica de observação da Terra desse tipo a incluir três bandas na borda vermelha, que fornecem informações importantes sobre o estado da vegetação (THE EUROPEAN SPACE AGENCY, 2021).

Embora as resoluções espaciais da banda do visível seja de 10m, os arquivos disponibilizados pelo site da United States Geological Survey (USGS) apresentam as bandas espectrais com resolução de 20m, possivelmente com a interpolação dos dados de 10m.

3.1.3 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

Os índices de vegetação são um dos algoritmos mais eficientes para destacar o verde da vegetação, e ao mesmo tempo, minimizar as variações na irradiância solar e os efeitos do substrato de um dossel de vegetação (JIMÉNEZ-LÓPEZ et al, 2015). De acordo com Liu (2007), são encontrados mais de quarenta índices de vegetação processados com dados de satélites, sendo praticamente todos obtidos de padrões de reflectâncias nas faixas espectrais do vermelho e do infravermelho próximo, que são medidas referentes ao espectro eletromagnético.

De acordo com Ponzoni e Shimabukuro (2010), os índices de vegetação foram criados com o intuito de melhor expor as características espectrais da vegetação, empregando sobretudo as regiões do visível e do infravermelho próximo e tendo como finalidade salientar o contraste espectral entre a vegetação e o solo, sendo capaz de ter a obtenção dos dados através de imagens de satélite ou por equipamentos próximos ao alvo de interesse, além de seus resultados não dependerem das condições de iluminação.

Dentre as várias técnicas de processamento de imagens que permitem a análise dos dados de sensores remotos, enfatiza-se o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), que possibilita discernir a presença de vegetação e caracterizar sua distribuição espacial e seu desenvolvimento ao longo do tempo. Segundo Oliveira et al. (2009), os cálculos do NDVI foram desenvolvidos para discriminar os elementos espectrais da vegetação em relação as outras superfícies terrestres além de apontar a quantidade e qualidade da vegetação na área imageada.

Esse índice é um indicador importante para a análise da cobertura de vegetação em diferentes períodos, sendo realizado por técnicas de SR, e tem por objetivo proporcionar a visualização das mudanças na cobertura do solo, oriundas das atividades antrópicas, assim como seu desenvolvimento, possuindo uma função importante como índice para avaliar a deterioração e condição da vegetação ao absorver a radiação fotossintética (QUESADA et al., 2017).

Segundo Braz et al. (2015), atualmente o NDVI tem sido bastante empregado em estudos da cobertura vegetal, apresentando uma forma simples e rápida de identificação de áreas vegetadas. Esse índice é processado pela razão da subtração pela soma das duas bandas espectrais equivalentes aos comprimentos de ondas do vermelho e do infravermelho, sendo, portanto, não linear. Ressalta-se que os valores de NDVI são influenciados pelos efeitos ruidosos aditivos, como radiância de trajetória atmosférica. Os resultados do NDVI variam de -1 a +1, onde os valores mais próximos de +1 caracterizam áreas com maiores quantidades de

vegetação “fotossinteticamente” ativa; valores próximos a zero indicam a influência de solo, enquanto valores próximos a -1 representam feições com baixa resposta espectral, tais como água e sombra.

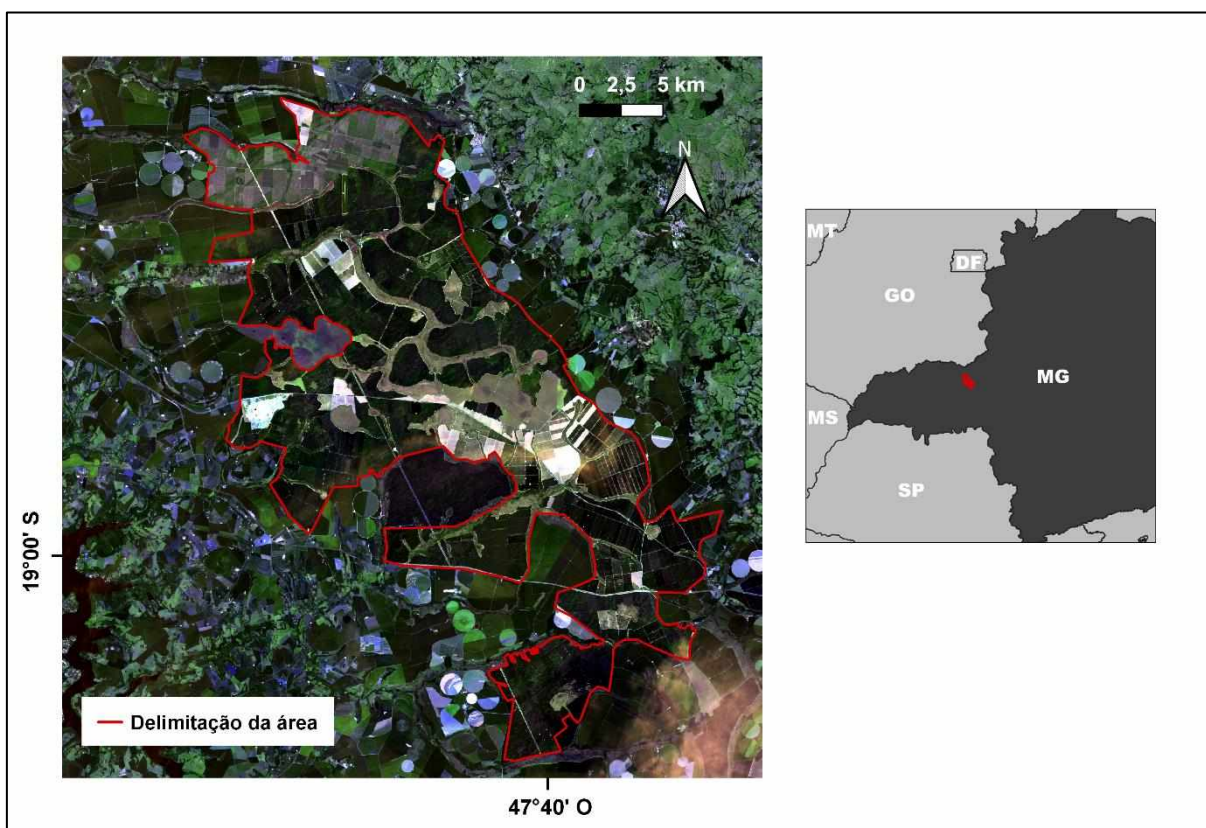
O NDVI apresenta um papel significativo no estudo e na compreensão da disposição dos tipos de vegetação ao redor do mundo, assim como o de suas propriedades físicas, estruturais e variações temporais e espaciais, e seus dados viabilizam o monitoramento, quantificação e a apuração das alterações de grandes escalas na vegetação (BINDER et al., 2009). Para classificar a distribuição global de vegetação, compreender variabilidades ecológicas e ambientais, produção de fitomassa, radiação fotossintética ativa e a produtividade de culturas, o emprego do NDVI é crucial (LIU, 2007).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Área de Estudo

A área adotada para a realização desse trabalho foi escolhida através de identificação visual do plantio de silvicultura e delimitada manualmente sobre imagem do Google Earth (2021) localizando-se, aproximadamente, entre as coordenadas 18°41'14”S a 19°02'44”S de latitude e 47°58'40”O a 47°38'07”O de longitude. Essa área, onde está localizada a plantação de silvicultura, possui aproximadamente 950 km² e pertence aos municípios de Indianópolis, Uberlândia, Araguari, Romaria, Irai de Minas, e Nova Ponte (Figura 3).

Figura 3: Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: IBGE, 2019.

Elaboração: Autor, 2021.

Localizada na Bacia Sedimentar do Paraná, tendo como Unidade o Grupo Bauru de Formação Marília (arenitos com conglomerados na base e níveis de sílex), e da Unidade B do Grupo Araxá (muscovita-quartzo xisto, com intercalações de sericita quartzito e subordinadamente granada-biotita xisto), a área de estudo é caracterizada por relevos de chapadas e planaltos.

O Programa Nacional de Solos do Brasil (PronaSolos) contempla o Portal de Dados do PronaSolos (SigWeb) que disponibiliza informações sobre os diversos solos do Brasil <https://geoportal.cprm.gov.br/pronasolos/>, assim, verificou-se que os solos da área de estudo são os Argissolos Vermelhos e os Latossolos Vermelhos. Os Argissolos são tipos de solos encontrados em praticamente todas as regiões do país em diversas condições de clima e relevo, e os Latossolos são típicos de regiões equatoriais e tropicais, em antigas superfícies de erosão, sedimentos e terraços fluviais antigos, normalmente em relevos ondulados e planos, sendo os solos mais representativos do Brasil (EMBRAPA, 2021).

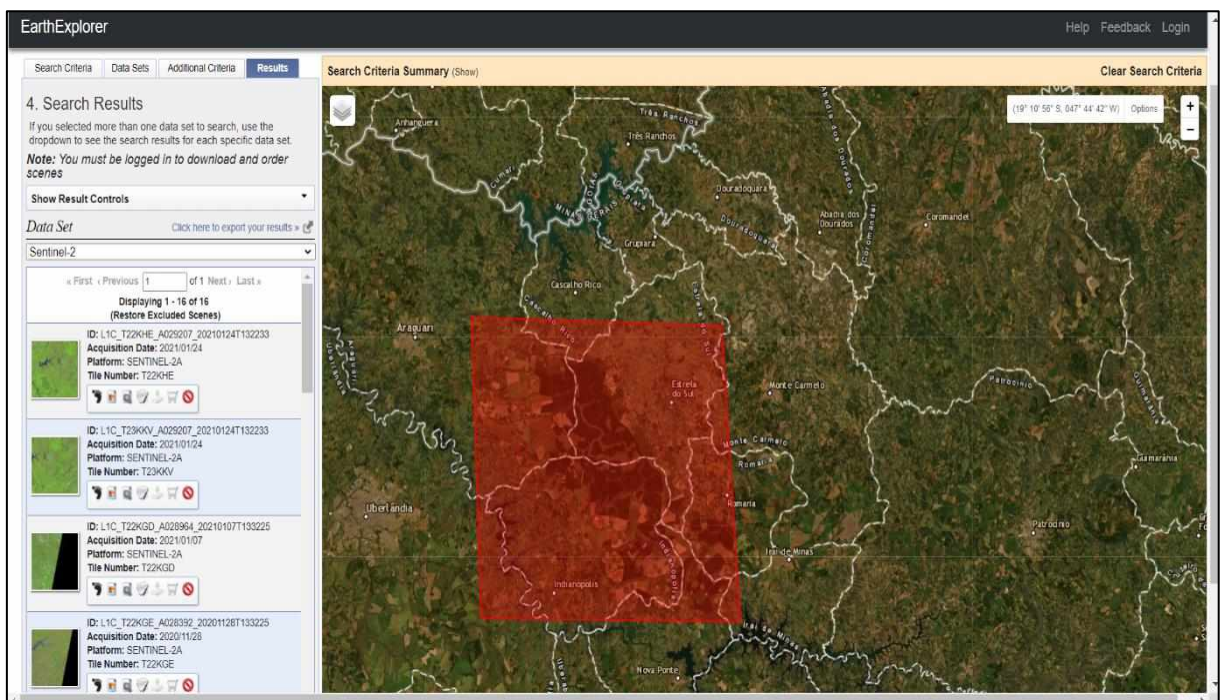
De acordo com o sistema de classificação climática global de Köpper-Geiger é uma área com clima temperado úmido com inverno seco e verão quente e chuvoso (Cwa/Cwc), com duas

estações bem definidas, onde há presença de vegetações secundárias (floresta estacional semidecidual) e Cerrado com atividades agrárias.

4.2 Material

Para a realização da pesquisa foram obtidas cenas (Banda 04, 05, 06, 07 e 08A) do satélite SENTINEL-2A com resolução espacial de 20 m, através do United States Geological Survey (USGS), as quais se encontram disponíveis gratuitamente no link <<https://earthexplorer.usgs.gov/>> em formato GeoTIFF (Figura 4).

Figura 4: Imagem da tela do site USGS dos resultados da pesquisa.

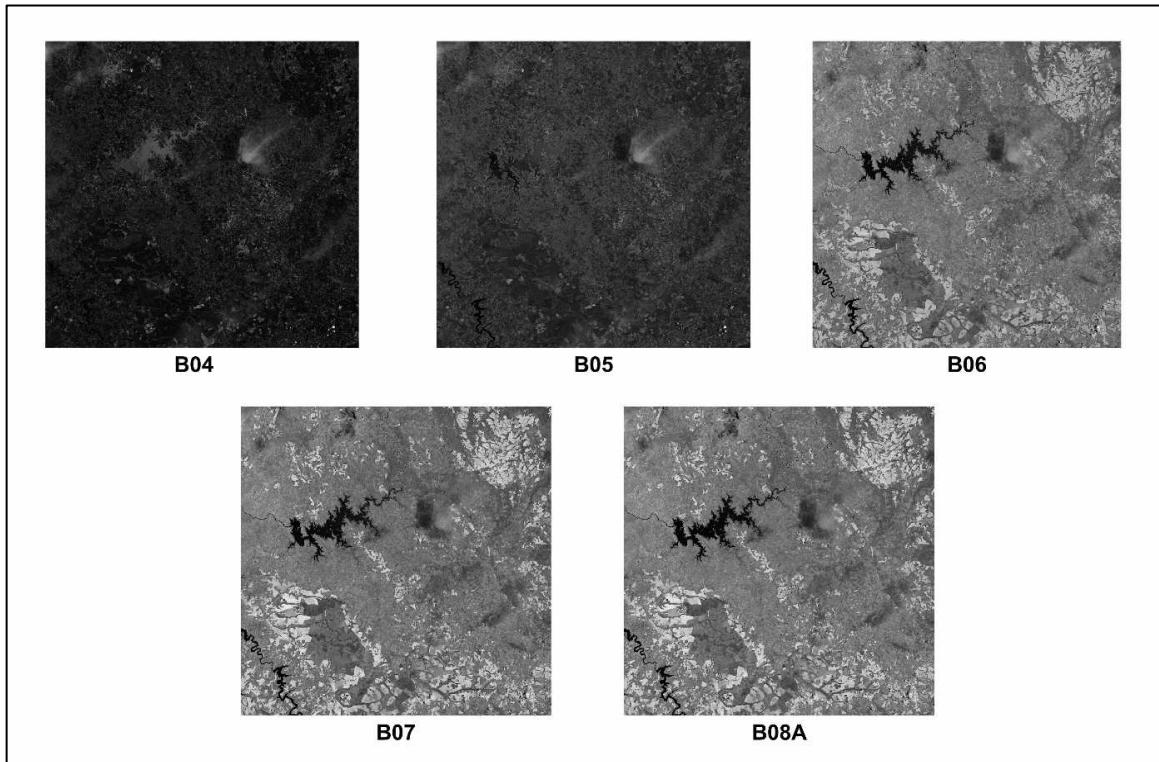


Fonte: USGS, 2021.

As cenas foram baixadas na data de 24 de janeiro do ano de 2021, devido a melhor qualidade e menor cobertura de nuvens da área imageada. Foram utilizadas as bandas espectrais da plataforma do Sentinel-2A: 04 (Red), 05 (Red Edge 1), 06 (Red Edge 2), 07 (Red Edge 3) e 08A (Red Edge 4), todas com 20 m de resolução espacial (Figura 5).

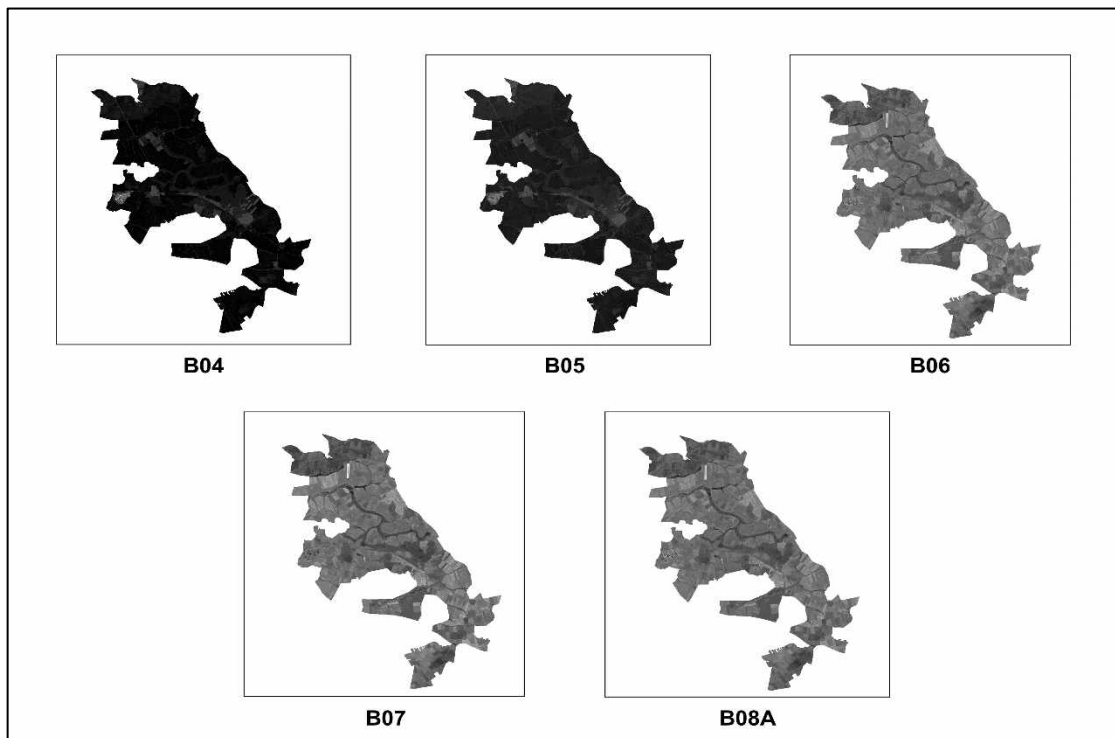
Para o recorte e processamento das imagens usou-se o software livre Qgis 3.16.0 (Figura 6). Foram utilizadas as funções: *Raster > Extrair > Recortar raster pela camada de máscara > Selecionar as camadas > Executar*.

Figura 5: Cenas baixadas sem nenhum processamento.



Fonte: USGS, 2021.
Elaboração: Autor, 2021.

Figura 6: Cenas recortadas de acordo com o perímetro da área de estudo.

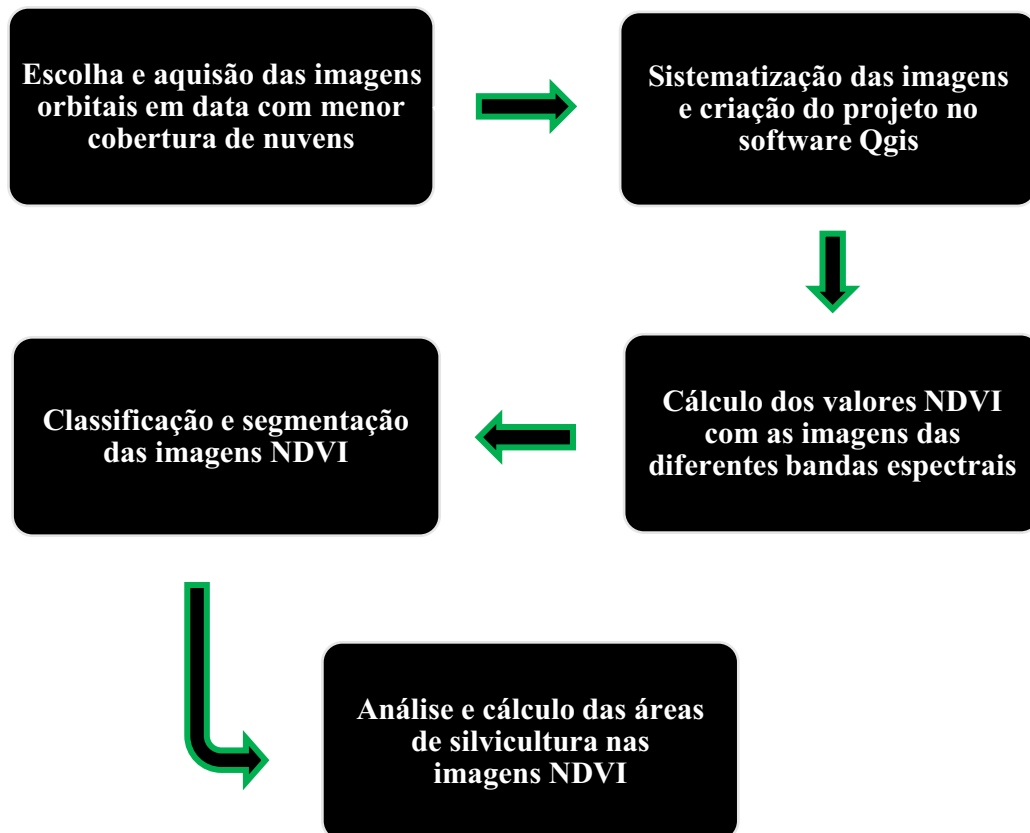


Fonte: USGS, 2021.
Elaboração: Autor, 2021.

4.3 Método

A metodologia empregada envolve a coleta das imagens adequadas bem como os processamentos necessários para o cálculo do NDVI e para a extração final das áreas com cobertura vegetal (silvicultura). O fluxograma apresentado na Figura 7 mostra os passos seguidos nesse procedimento metodológico.

Figura 7: Fluxograma sobre o processo de processamento das imagens NDVI.



Elaboração: Autor, 2021.

Foram selecionadas as bandas espectrais adequadas para o cálculo do NDVI, todas de mesma resolução espacial (20 m), que foram: banda 04 (Red), 05 (Red Edge 1), 06 (Red Edge 2), 07 (Red Edge 3) e 08A (Red Edge 4). Em seguida, os cálculos dos valores de NDVI foram processados. O cálculo desse índice foi realizado pela Equação 1, definida pela razão da diferença dos valores das bandas do infravermelho (IR) e vermelho (R), pela soma das mesmas bandas espectrais.

$$NDVI = \frac{(IR-R)}{(IR+R)} \quad (1)$$

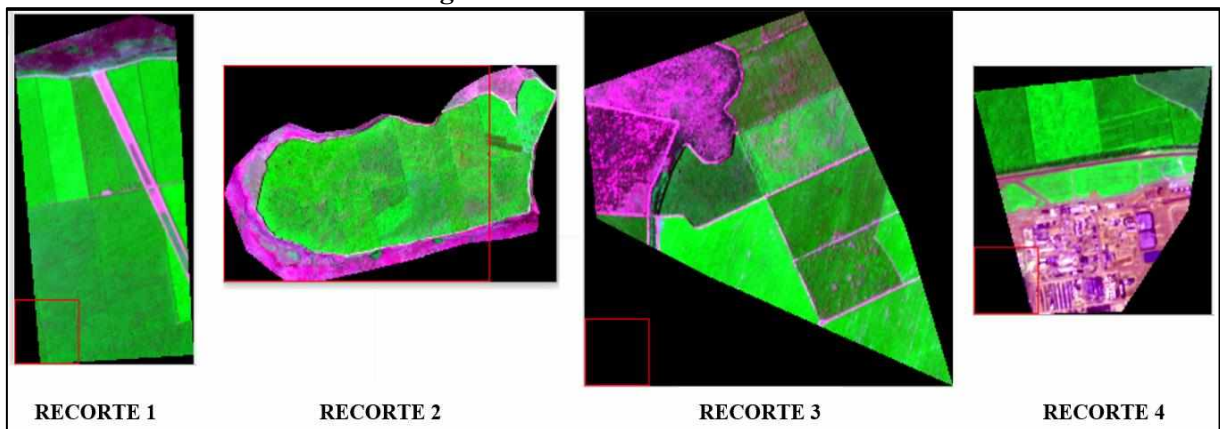
Fazendo o uso dos pares de bandas espectrais: (04R x 05RE1), (04R x 06RE2), (04R x 07RE3) e (04R x 08ARE4), gerou-se quatro imagens de NDVI, com resoluções espaciais de 20 m. Para tanto, foi utilizada a função *Calculadora Raster*, implementada no Qgis.

A modelagem dos índices de vegetação possui como base o comportamento da refletância da vegetação. Assim, quanto menor a densidade vegetal, menores são os valores de NDVI. Numericamente, de acordo com LIU (2007), o NDVI varia de -1 a +1, sendo que valores negativos representam as nuvens, água, e os próximos de zero representam solo exposto ou sem vegetação e, quanto mais próximo de 1, maior o grau de verde da superfície.

Posteriormente, foi realizada a segmentação dos valores NDVI, usando a função *propriedades > comando simbologia > gradiente de cores > banda simples falsa-cor > gradiente de cores: RdYIGn (vermelho, laranja, amarelo, verde e verde escuro) > remoção das cores vermelho e laranja > valores: -0.0645 – 0.4696 (amarelo), 0.4697 – 0.9500 (verde) e > 0.9501 (verde escuro) > modo: contínuo*, implementada no Qgis 3.16.0.

Para validação (verdade de campo), foram gerados quatro recortes, escolhidos aleatoriamente dentro da cena, que foram classificados pelo método de máxima verossimilhança, devido a situação presente de não possibilidade de se ir a campo e para facilitar a análise dos acertos e erros do índice de NDVI. Assim, foi realizada a classificação por máxima verossimilhança, gerando os arquivos de referência (Figura 8). Esses mesmos recortes foram executados sobre as imagens NDVI segmentadas e os valores de áreas obtidos nesses recortes foram comparados. Isto é, a área de vegetação, medida sobre o recorte classificado pelo máxima verossimilhança, foi comparada com a área medida sobre o mesmo recorte da imagem NDVI segmentada.

Figura 8: Recortes classificados.



Elaboração: Autor, 2021.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A classificação sucedeu-se, de acordo com os valores encontrados do NDVI e foram subdivididos em 3 classes, (Tabela 2):

Tabela 2: Critérios de classificação NDVI.

Classes	Valores de NDVI
Outras classes	≤ -0.0645
Vegetação em crescimento/cortada	0.4697 a 0.9500
Silvicultura densa	$\text{NDVI} \geq 0.9501$

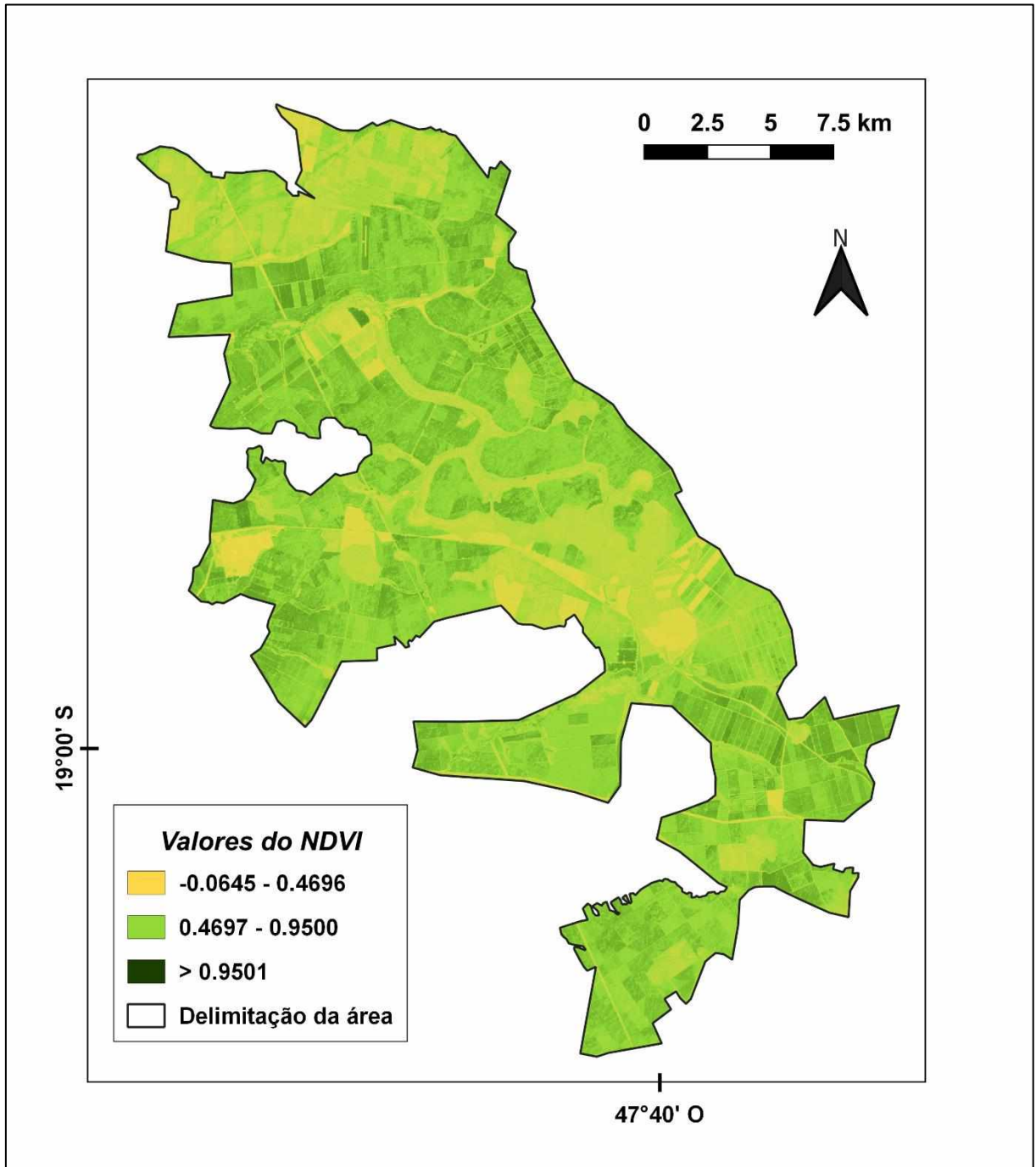
Fonte: Oliveira; Freitas, 2015.

Elaboração: Autor, 2021.

Foram escolhidas três classes para a visualização dos dados de NDVI (Tabela 2), e consequentemente três cores para a confecção dos mapas, visto que a área escolhida é uma área de vegetação. As variações de cores se modificam de acordo com cada imagem/sensor e, visualmente, é possível notar cenários diferentes de NDVI entre as quatro cenas geradas, tanto na abrangência espacial das cores como nas suas próprias tonalidades.

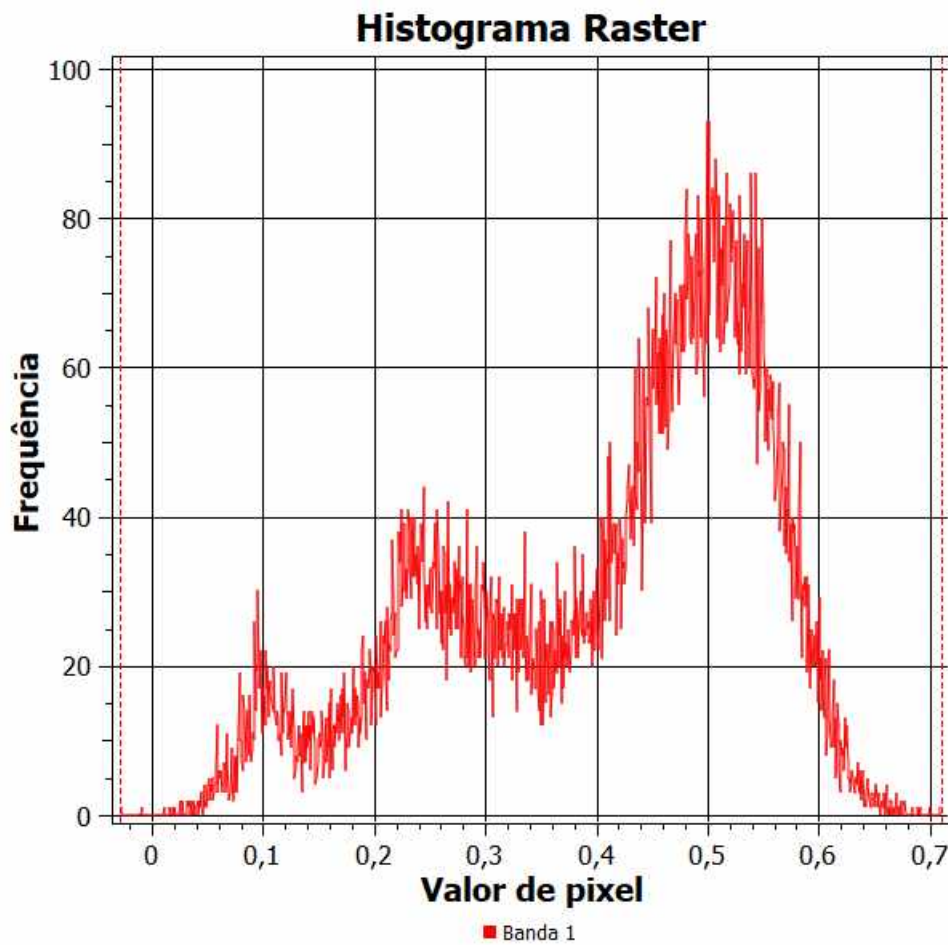
Nas Figuras 9, 11, 13 e 15 são apresentadas as carta-imagens de NDVI geradas a partir do sensor SENTINEL-2A. É possível, através de análise visual, observar por meio da variação das cores nas classes, a diferença entre os valores de NDVI, calculados para as quatro cenas, mas com bandas espectrais diferentes. Ressalta-se que para todas as imagens, foi utilizada a simbologia *banda simples falsa-cor* com o *modo contínuo* para a classificação com 3 intervalos de cores: amarelo claro ($-0.0645 < C1 \leq -0.4696$), verde claro ($0.4697 < C2 \leq 0.9500$) e verde escuro ($0.9501 < C3 \leq 1$); onde C1: representa as outras classes, C2: vegetação crescente ou cortada; e C3: silvicultura densa.

Figura 9: Mapa de NDVI das bandas 04 e 05 de 20 m do satélite SENTINEL-2A.



Fonte: USGS, 2021.
Elaboração: Autor, 2021.

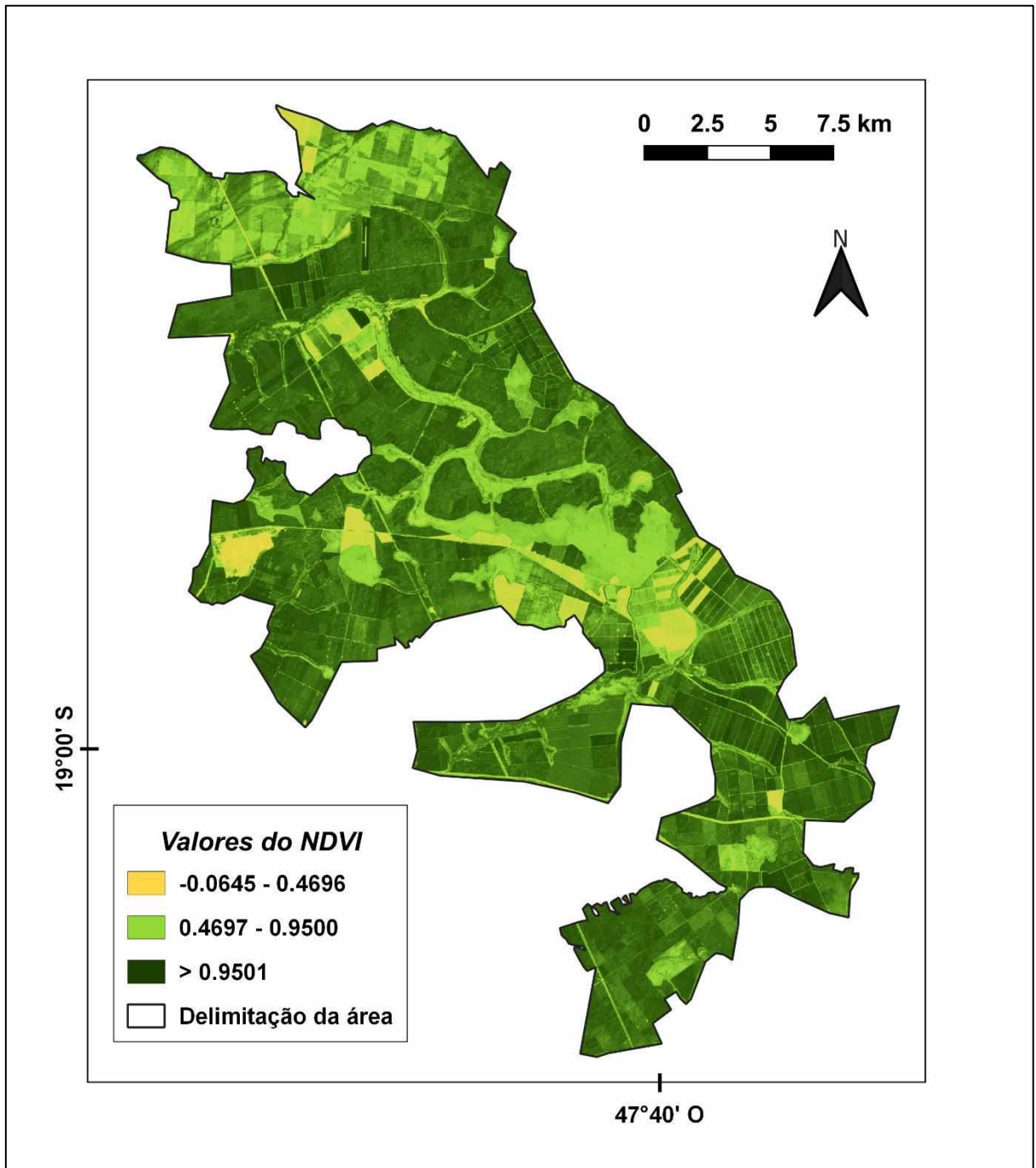
Figura 10: Histograma Raster do NDVI das bandas 04 e 05 de 20 m do satélite SENTINEL-2A.



Fonte: Qgis, 2021.

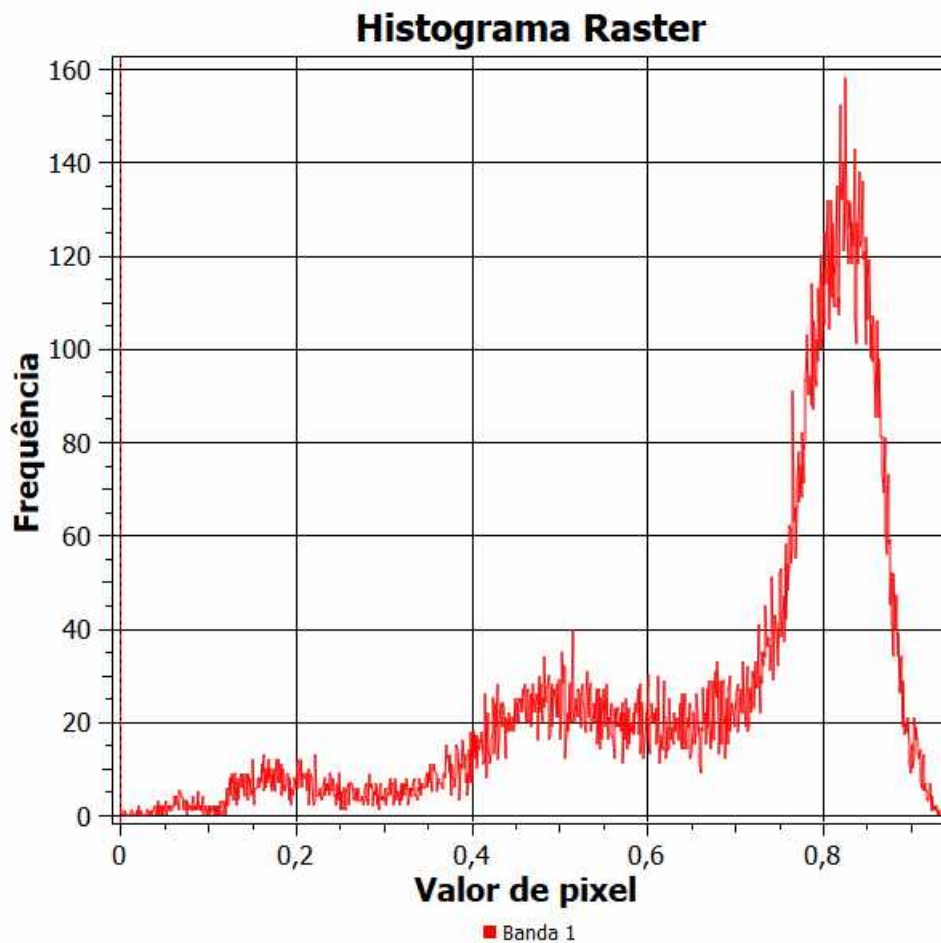
O mapa da Figura 9, representado pelo cruzamento das bandas 04 e 05, obteve uma considerável diferenciação de cores de acordo com suas classes, apresentando seus maiores índices e uma maior frequência, chegando a um pouco mais de 90, entre os valores de 0.45 a 0.55 (Figura 10), sendo nas cores amarela e verde claro, onde a cor verde escuro não aparece. Esse resultado não era esperado, devido a área ser de vegetação extensa.

Figura 11: Mapa de NDVI das bandas 04 e 06 de 20 m do satélite SENTINEL-2A.



Fonte: USGS, 2021.
Elaboração: Autor, 2021.

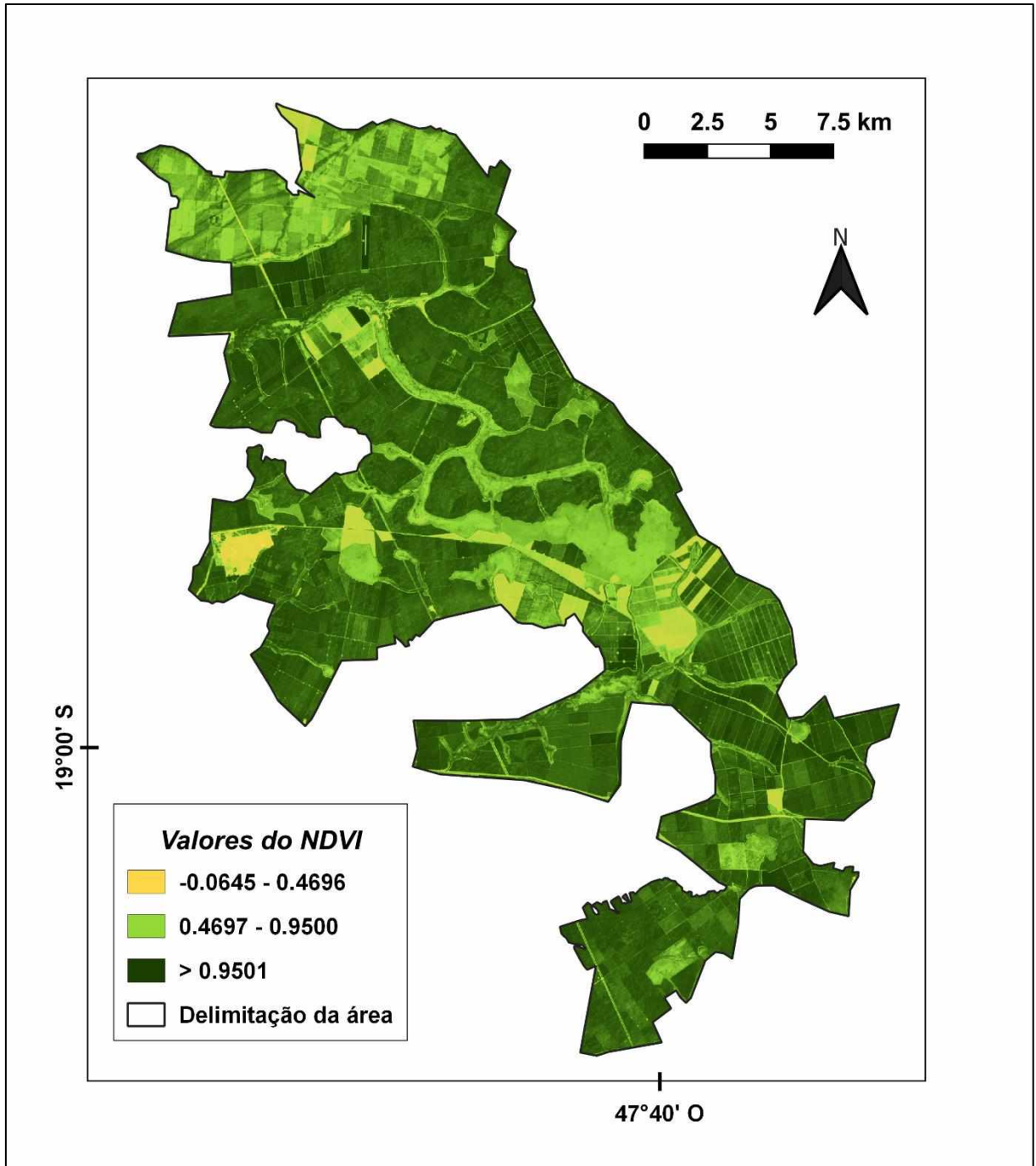
Figura 12: Histograma Raster do NDVI das bandas 04 e 06 de 20 m do satélite SENTINEL-2A



Fonte: Qgis, 2021.

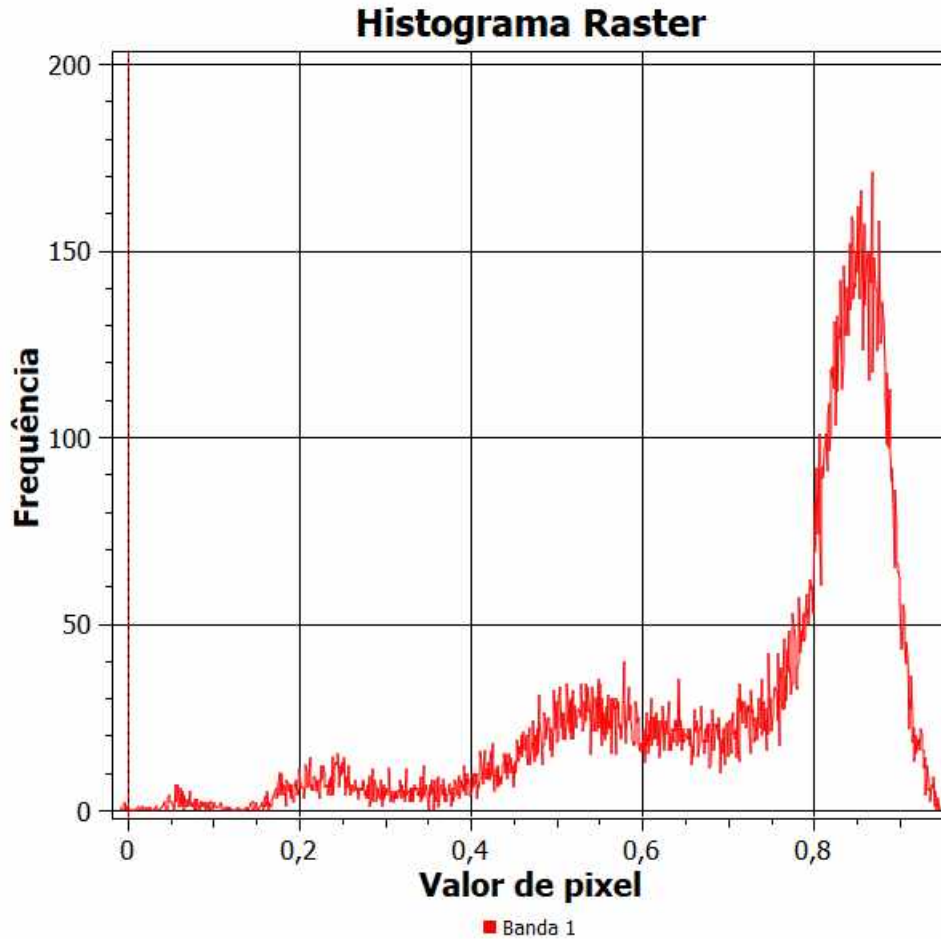
Na Figura 11, obtida pelo cruzamento das bandas 04 e 06, podemos observar que as cores mais visíveis são os tons de verde, que são os valores acima de 0,46, onde aparecem no histograma com mais frequência, chegando a quase 160, entre os valores de 0,80 a 0,85 (Figura 12). Diferentemente do mapa anterior (Figura 9), houve uma diferença maior em suas cores e no histograma, nos valores de pixels e em sua maior frequência, devido aos valores das bandas no espectro estarem mais próximas.

Figura 13: Mapa de NDVI das bandas 04 e 07 de 20 m do satélite SENTINEL-2A.



Fonte: USGS, 2021.
Elaboração: Autor, 2021.

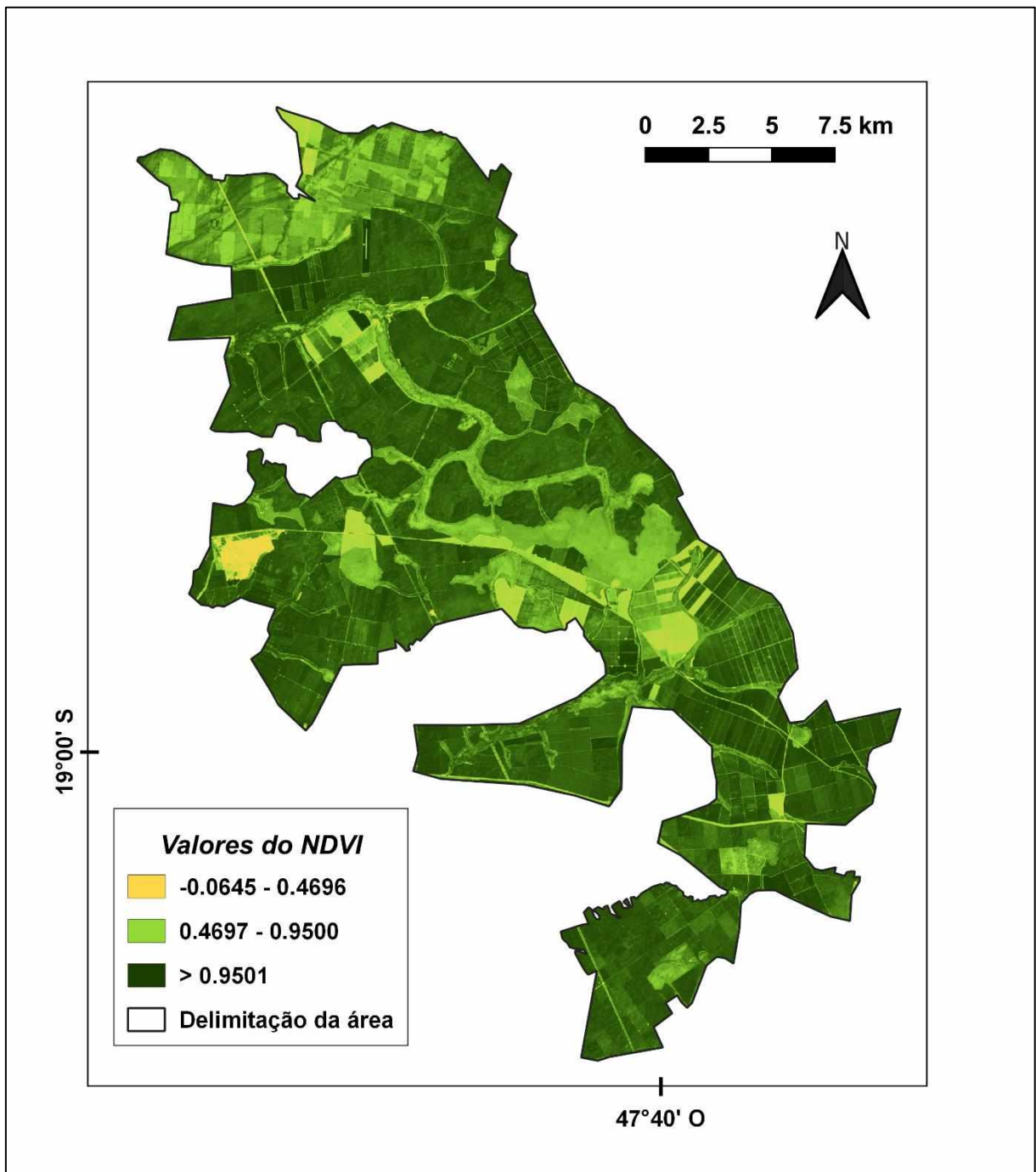
Figura 14: Histograma Raster do NDVI das bandas 04 e 07 de 20 m do satélite SENTINEL-2A



Fonte: Qgis, 2021.

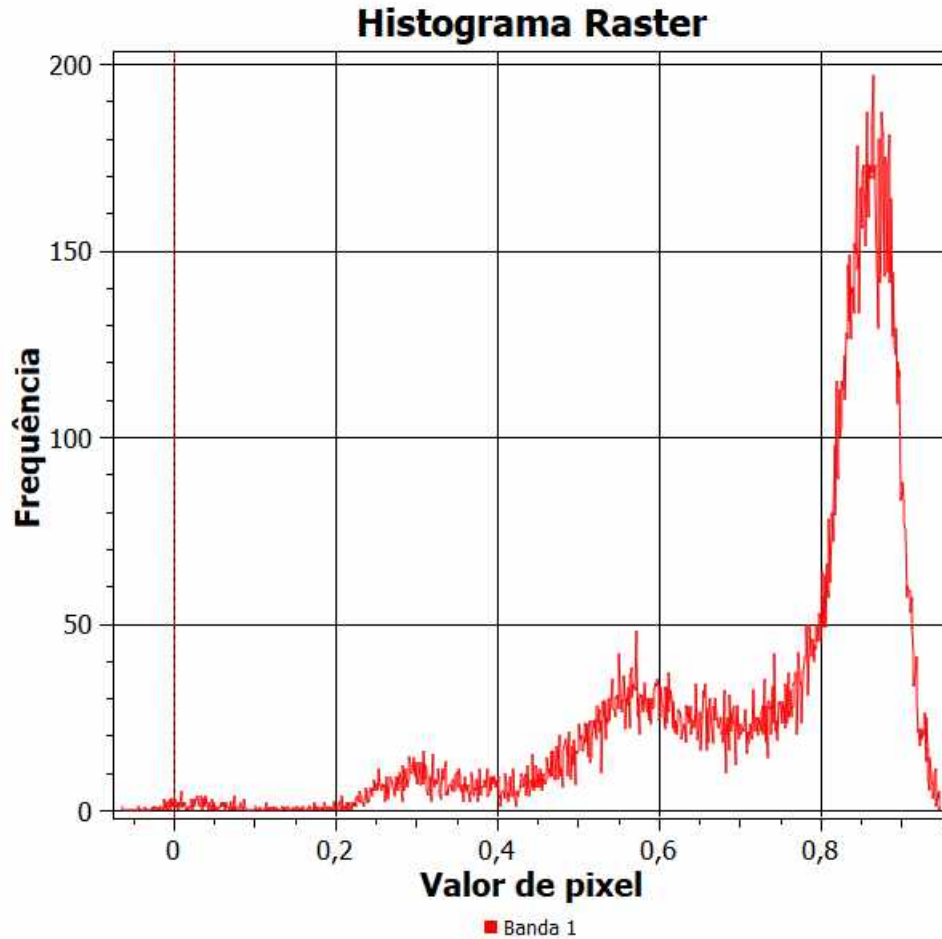
No gráfico da Figura 14, que demonstra o cruzamento das bandas 04 e 07, pode-se ver que a frequência do valor de pixel abaixo de 0 até 0,1 é praticamente nula, o que explica a pequena quantidade da cor amarela no mapa da Figura 13, onde sua frequência chega a 170. Nas Figuras 11 e 15, podemos observar as mesmas variações de cores, ou seja, o mesmo padrão que na Figura 13, assim como no histograma da Figura 14 (Figura 12 e 16).

Figura 15: Mapa de NDVI das bandas 04 e 08A de 20 m do satélite SENTINEL-2A.



Fonte: USGS, 2021.
Elaboração: Autor, 2021.

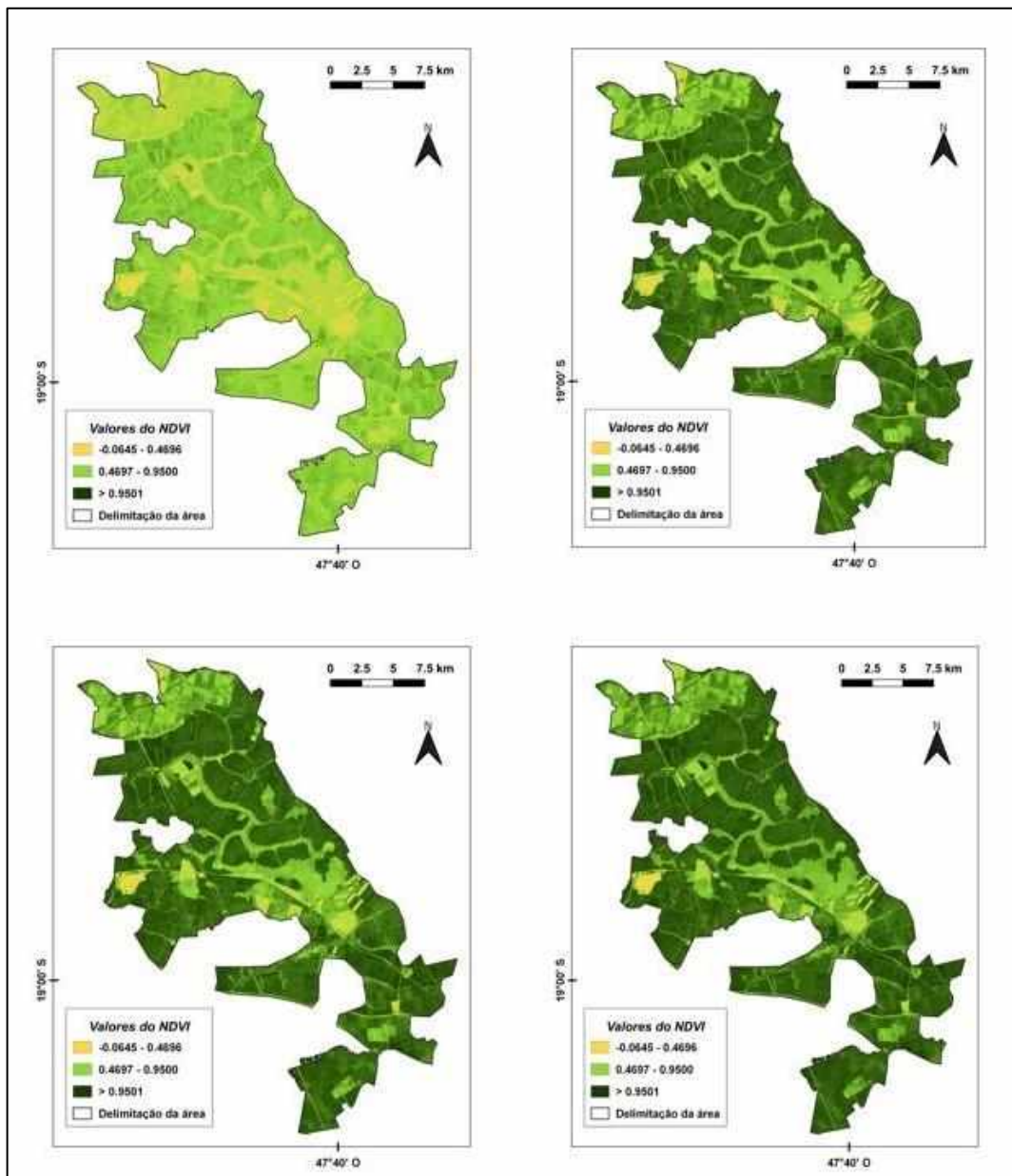
Figura 16: Histograma Raster do NDVI das bandas 04 e 08A de 20 m do satélite SENTINEL-2A



Fonte: Qgis, 2021.

No histograma da Figura 16, resultante do cruzamento das bandas 04 e 08A, a frequência foi a mais elevada chegando a quase 200, entre os valores de 0.82 a 0.87 aproximadamente. Assim, os gráficos tomam forma de NDVI e mostram os valores mais elevados (maior frequência) em seus valores mais altos, representando a vegetação de sivilcultura (eucalipto e pinus).

Figura 17: Mapas NDVI das bandas 04x05, 04x06, 04x07 e 04x08A do SENTINEL-2A

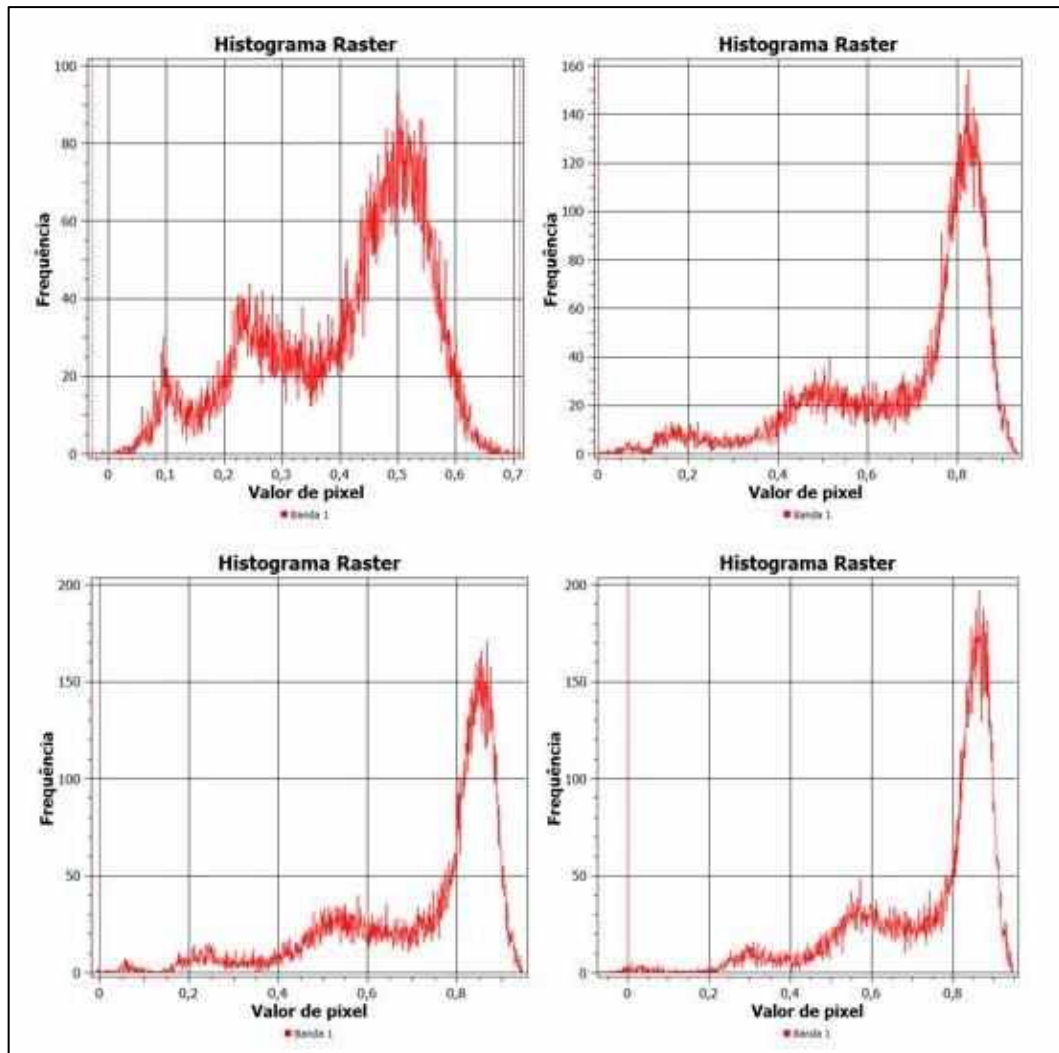


Fonte: USGS, 2021.

Elaboração: Autor, 2021.

Pode-se observar que o mapa da Figura 9 e em consequência do gráfico da Figura 10, foi o que mais se diferenciou dos outros e se comparado a imagem de satélite original da área (Figura 3), é o que mais se diferencia da realidade, devido ser uma área onde há grande homogeneidade de vegetação densa como as Figuras 11, 13 e 15 mostram, possuindo poucas áreas com vegetação crescente ou cortada, e quase nula a presença de outras classes. Pode-se observar melhor essas diferenças na Figura 17 e 18.

Figura 18: Histogramas Raster do NDVI das bandas 04x05, 04x06, 04x07 e 04x08A do SENTINEL-2A



Fonte: Qgis, 2021.

Na Figura 8 foram gerados quatro recortes, onde foi feita a classificação de máxima verossimilhança e gerado as classes de vegetação pelo NDVI e density slice para a classificação dessas áreas e para posterior classificação. Na Tabela 3 pode se observar os dados que foram gerados desses recortes, comparando a área de vegetação real com a área de vegetação gerada pelo NDVI e sua discrepância em hectare (ha).

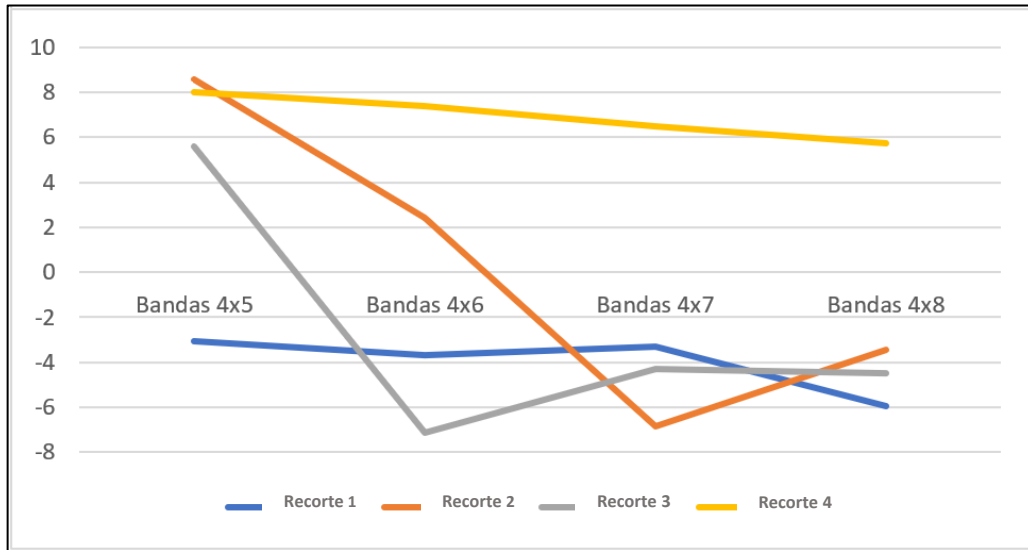
Tabela 3: Dados das áreas dos quatro recortes.

NDVI	Recorte	Área (ha) Veg. Real	Área (ha) Veg. NDVI	Discrepância (ha)
Banda 04 e 08A	1	245,78	251,72	-5,94
	2	687,88	691,32	-3,44
	3	294,32	298,80	-4,48
	4	130,62	124,88	5,74
Banda 04 e 07	1	245,78	249,08	-3,30
	2	687,88	694,72	-6,84
	3	294,32	298,60	-4,28
	4	130,62	124,16	6,46
Banda 04 e 06	1	245,78	249,44	-3,66
	2	687,88	685,44	2,44
	3	294,32	301,44	-7,12
	4	130,62	123,24	7,38
Banda 04 e 05	1	245,78	248,84	-3,06
	2	687,88	679,32	8,56
	3	294,32	288,72	5,60
	4	130,62	122,60	8,02

Elaboração: Autor, 2021.

De acordo com essa tabela (Tabela 3), os recortes que tiveram menores discrepâncias no NDVI foram: das bandas 04 e 08A as menores discrepâncias foram no recorte 2 com -3,44 ha e no recorte 3 com -4,48 ha; no das bandas 04 e 07, foram nos recortes 1 e 3, onde teve o valor de -3,30 ha e -4,28 ha respectivamente; nas bandas 04 e 06 deu-se no recorte 2 com 2,44 ha e no 1 com -3,66 ha e; nas bandas 04 e 05 foi no recorte 1, -3,06 e no recorte 3 5,60 ha.

O Gráfico 1 mostra as discrepâncias entre a classificação máximo verossimilhança e a do NDVI nos quatro recortes, onde a cor azul representa o recorte 1, a laranja o recorte 2 a cinza o recorte 3 e amarela o recorte 4. No recorte 1 a maior discrepância chegou a -5,94, no recorte 2 a 8,56, no recorte 3 a -7,12 e no 4 a 8,02.

Gráfico 1: Discrepâncias entre os recortes Máximo Verossimilhança x NDVI.

Elaboração: Autor, 2021.

Não há uma classificação ou um Índice de Vegetação que caracterize a área imageada idêntica a original, sempre há uma margem de erro, por isso, pode-se dizer que o pior NDVI desse estudo foram os das bandas 04 e 05 devido ao resultado não ter sido bom, devido a área ser de grande vegetação extensa e as bandas estarem muito próximas, onde essa vegetação não teve destaque. Devido as bandas estarem bem próximas no espectro eram para os resultados serem iguais em todas os cálculos, mas a imagem que representou o melhor NDVI foi a Figura 15, onde foram calculados o NDVI das bandas 04 e 08A, devido a melhor representação da realidade onde há uma grande área de vegetação densa e conseqüentemente forte rigor da cor verde escuro. Pode se observar esse resultado analisando o histograma (Figura 16), onde nota-se que os valores de pixel acima de 0.80 chegam a uma frequência de quase 200, maior do que em todas as outras imagens.

Os mapas de NDVI são interessantes para se mostrar a espacialização das cores de acordo com os valores de NDVI de cada cena, e os gráficos auxiliam ainda mais nessa compreensão, onde mostra como ocorre a espacialização das cores de acordo com seus valores e frequência no espectro. Desse modo, quando se trabalha um Índice de Vegetação como o NDVI, para que haja uma maior compreensão é necessário que se faça um agrupamento dos dados numéricos gerados em forma de gráficos e tabelas, onde proporcionam um melhor entendimento do todo.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo desse trabalho foi analisar a qualidade dos mapas temáticos de vegetação que foram gerados com os valores de NDVI dos pares das bandas B4xB5, B4xB6, B4xB7 e B4xB8A do satélite SENTINEL-2A, determinados na delimitação da área de estudo, área com plantio de silvicultura, para posterior análise dos resultados encontrados.

No uso de ferramentas para o processamento de imagens de satélite, o NDVI, mostrou-se eficiente para a identificação da cobertura vegetal da área de silvicultura e para separação das diferentes feições da imagem (vegetação, solo exposto e água) nas diferentes bandas espectrais do SENTINEL-2A. A análise estatística dos valores de NDVI indicou valores médios de 0,4301, máximo de 0,9501 e mínimo de -0,0645, mostrando a diferença de refletância entre as bandas usadas.

Pode-se observar que houve diferenciação nas imagens de NDVI com as diferentes bandas espectrais, diferenciando-se na homogeneidade visual da vegetação, devido a uma diferença na frequência dos valores numéricos do espectro que visualiza-se nos gráficos das Figuras 10, 12, 14 e 16. Não houve uma classificação onde a área imageada ficasse idêntica a original, por isso, pode-se dizer que o melhor NDVI desse estudo foi o mapa da Figura 15, onde foram feitos os cálculos das bandas 04 e 08A devido a uma maior aproximação com a área original imageada, onde houve uma grande área de vegetação densa e conseqüentemente forte rigor da cor verde escuro, notou-se que os valores de pixel acima de 0.82 chegam a uma frequência de quase 200, maior do que em todas as outras imagens.

As técnicas de PDI associadas ao uso do NDVI possibilitou detectar padrões de mudanças da cobertura vegetal nas imagens. O índice estudado mostrou-se uma ferramenta apropriada em detectar e diferenciar a cobertura vegetal com rapidez e baixo custo operacional, apresentando resultados aproximados da realidade.

REFERÊNCIAS

ABRAF. **Anuário Estatístico da ABRAF 2012 apresenta os resultados do setor de florestas plantadas no ano de 2011**. Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas, Brasília / DF, 2012.

BINDER, J. S.; PERES, L. F.; SANTOS, R. L. A utilização da base de dados GIMSS de NDVI no âmbito da DSA. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, 2009. Anais... Natal. 8p.

BRAZ, A. M.; ÁGUAS, T. A.; GARCIA, P.H.M.; Análise de índices de vegetação NDVI e SAVI e índice de área foliar (IAF) para a comparação de cobertura vegetal na bacia hidrográfica do córrego Ribeirãozinho, município de Selvíria – MS. **Revista Percorso – NEMO**, Maringá, v.7, n.2, p. 05-22, 2015.

CANADA CENTRE FOR REMOTE SENSING (CCRS). **Fundamentals of Remote Sensing**. Government of Canada, 2019. Disponível em: https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/resource/tutor/fundam/pdf/fundamentals_e.pdf. Acesso em: 19 de mar. de 2021.

CRÓSTA, Alvaro Penteadó. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Campinas: Instituto de Geociências, 1992, 170 p.

EMBRAPA. Solos Brasileiros. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/tema-solos-brasileiros/solos-do-brasil>. Acesso em: 11 jun. 2021.

ENGESAT. **Sentinel-2**. Curitiba-PR, 2015. Disponível em: <http://www.engesat.com.br/sentinel-2/>. Acesso em: 18 abr. de 2021.

FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 97 p.

GUNTER'S SPACE PAGE (Europe). **Sentinel 2A, 2B, 2C, 2D**. 2020. Disponível em: https://space.skyrocket.de/doc_sdat/sentinel-2.htm. Acesso em: 04 mar. 2021.

GURGEL, H. C.; FERREIRA, N. J.; LUIZ, A. J. B. Análise da variabilidade espacial temporal do NDVI sobre o Brasil. In: **Anais X SBSR**, Foz do Iguaçu, INPE, p. 1617-1624, 2001. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/lise/2001/09.24.09.18/doc/1617.1624.062.pdf>. Acesso em 16 set. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Bases Cartográficas**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em: <https://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas.html>>. Acesso em: 25 mai. 2020

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. 2ª ed., São José dos Campos: Parêntese, 2009. 598p.

JIMÉNEZ-LÓPEZ, A. F.; JIMÉNEZ-LÓPEZ, F. R.; JIMÉNEZ-LÓPEZ, M. Análisis multiespectral de la vegetación para aplicaciones de sensado remoto: Multispectral analysis of vegetation for remote sensing applications. **Iteckne**, Bucaramanga, v. 12, n. 2, p.12-20, dez. 2015.

LINHARES, M. M. A. **Uso de veículo aéreo não tripulado na determinação de índice de vegetação em área de pastagem em Nova Mutum-MT**. 2016. 121 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) Instituto de Estudos Socioambientais, Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2016.

LIU, W.T.H. **Aplicações de Sensoriamento Remoto**. Campo Grande: Editora UNIDERP, 2007.

LONGHITANO, G. A. **Vants para sensoriamento remoto: aplicabilidade na avaliação e monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes com cargas perigosas**. 2010. 148f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes – Geoprocessamento) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2010.

MATSUMOTO, M. H.; BITTENCOURT, M. D. Correlação Entre Algumas Fisionomias de Cerrado, no Vale do Paraíba, e Classes de Índices de Vegetação Obtidos Espectralmente. *In: Anais do X SBSR*, Foz do Iguaçu, INPE, p. 1665-1672, 2001. Disponível em: <http://mar.te.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/lise/2001/09.24.10.23/doc/1665.1672.284.pdf>. Acesso em: 14 set. 2019.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. Brasil: Blucher, 2010. 388 p.

OLIVEIRA, G. C. M. de; FREITAS, M. A. V. de. Análise de correlações entre o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e dados hidrometeorológicos do entorno do reservatório da usina hidrelétrica de TucuruíPA utilizando imagens Landsat-5 TM. **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)**. João Pessoa-PB, 2015.

OLIVEIRA, L. M. M.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ANTONINO, A. C. D.; SILVA, B. B.; MACHADO, C. C. C.; GALVÍNCIO, J. D. Análise quantitativa de parâmetros biofísicos de bacia hidrográfica obtidos por sensoriamento remoto. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n.9, p. 1209 - 1217, Set., 2012.

OLIVEIRA, T. H.; GALVÍNCIO, J. D; SILVA, J. S.; SILVA, C. A.V.; SANTIAGO, M. M.; MENEZES, J. B.; SILVA, H. A.; PIMENTEL, R. M. M. Avaliação da Cobertura Vegetal e do Albedo da Bacia Hidrográfica do Rio Moxotó com Imagens do Satélite Landsat 5. *In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Anais, Natal: INPE, abril, p. 2865-2872, 2009.

PINHEIRO, L. A. F. V. **Sensoriamento Remoto**. Shvoong, 2007. Disponível em: <http://pt.shvoong.com/exactsciences/earthsciences/1100035-sensoriamento-remoto/>. Acesso em: 14 set. 2019.

Plataforma Pronasolos website. 2021. Disponível em: <https://geoportao.cprm.gov.br/pronasolos/>. Acesso em: 11 jun. 2021.

PONZONI, Flávio Jorge; SHIMABUKURO, Yosio Edemir. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**. 2010. ed. São José dos Campos: Parêntese, 2010. 128 p.

QUESADA, H. B.; REDONDO, G.; VERNASQUI, L. G.; MAGNONI, P. H. J.; ARANTES, E. J. **Análise da vegetação ripária em bacia hidrográfica utilizando Índice de Vegetação Normalizada (NDVI) no município de Maringá-PR**. In: Geo UERJ, n. 31, p. 439-455, 2017.

SANTIAGO, M. M.; SILVA, H. A.; GALVINCIO, J. D.; OLIVEIRA, T. H.; Análise da cobertura vegetal através dos índices de vegetação (NDVI, SAVI E IAF) no entorno da barragem do Botafogo – PE. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, 2009, p. 3003-3009. Anais. Disponível em: Acesso em: 10 jun. 2020.

SIMIONI, J. P.D.; SAMPAIO, F. M. A. S.; A utilização de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto na caracterização de lavouras arrozeiras, no município de Mata – RS. In: Seminário de Gestão Ambiental na Agropecuária. Anais... 2012. Disponível em: Acesso em: 10 jun. 2020.

SOUZA, J. L. Geotecnologia como ferramenta de apoio a leis ambientais: sensoriamento remoto e sig. **Revista Olhar**: Revista científica da ESAMC. Sorocaba, SP, v.2, n.1, 2017.

THE EUROPEAN SPACE AGENCY (União Europeia). **Sentinel Online**. 2021. Disponível em: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/home>. Acesso em: 04 mar. 2021.

United Nations (UN-SPIDER) - Knowledge Portal. **Sentinel-2A**. 2021. Disponível em: <https://www.un-spider.org/node/10317>. Acesso em: 07 abr. 2021.