

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

ROGÊ HENRIQUE TOLENTINO FERNANDES

**USO DE IMAGENS SENTINEL-2 E LANDSAT-8 PARA ESTUDOS EM ÁREAS
AGRÍCOLAS NA REGIÃO SUDOESTE DO PARANÁ**

PATO BRANCO

2022

ROGÊ HENRIQUE TOLENTINO FERNANDES

**USO DE IMAGENS SENTINEL-2 E LANDSAT-8 PARA ESTUDOS EM ÁREAS
AGRÍCOLAS NA REGIÃO SUDOESTE DO PARANÁ**

**Use of sentinel-2 and Landsat-8 images for studies in agricultural areas in the
southwest region of Paraná**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentada como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Agronomia da Universidade Tecnológica
Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: José Ricardo da Rocha Campos.

PATO BRANCO

2022



Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

ROGÊ HENRIQUE TOLENTINO FERNANDES

**USO DE IMAGENS SENTINEL-2 E LANDSAT-8 PARA ESTUDOS EM ÁREAS
AGRÍCOLAS NA REGIÃO SUDOESTE DO PARANÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Agronomia da Universidade Tecnológica
Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 24/março/2022

José Ricardo da Rocha Campos
Doutor
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Cristiane Maria Tonetto Godoy
Doutora
PND/PPGDR-PB Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Heloísa da Silva Victorino
Mestre
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

PATO BRANCO

2022

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Tecnológica Federal do Paraná pelo ambiente criativo e amigável que proporciona.

Ao meu pai, Ademir Fernandes de Freitas e minha mãe, Osmarina Tolentino de Almeida que, apesar de todas as dificuldades, me fortaleceram o que para mim foi muito importante.

Aos meus irmãos Rogê Augusto e Rogê Fernando que, sempre que fiquei em dúvida sobre algo fora de meu alcance, me auxiliaram. E, sendo mais importante nesta etapa da minha vida, meu irmão Rogê Afonso, que esteve ao meu lado durante a graduação e juntos conseguimos obter sucesso no que desejávamos.

E a minha namorada Alice Manuele, sou muito grato por seu apoio, sem você este TCC não teria chegado ao fim. Obrigado por sua gentileza e compreensão mesmo com minha ausência em diferentes momentos.

É com muita admiração e enorme respeito que venho mostrar toda minha gratidão ao professor/orientador José Ricardo da Rocha Campos, que dia após dia mostrou sua dedicação ao me auxiliar e me orientar quando precisei. E por fim, agradeço a todos meus colegas e amigos que me acompanharam durante minha graduação, sou eternamente grato.

RESUMO

As informações geradas por meio do processamento de imagens de satélites, especialmente as do tipo Sentinel-2 e Landsat-8, tem um amplo leque de possibilidades, dado ao grande número de bandas e ao curto intervalo de imageamento dos satélites. Neste sentido, o objetivo do presente estudo foi comparar as imagens obtidas pelos dois satélites e definir qual o mais eficiente para analisar a taxa de cobertura do solo e sanidade vegetal de lavouras do Município de Mariópolis-PR, através da geração de índices de vegetação. Os dados foram obtidos a partir do portal da Europe Space Agency (ESA) e processados no software QGis, disponibilizado gratuitamente. Após o recorte das imagens de acordo com as áreas de interesse, foram gerados índices NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) que permite identificar o grau de sanidade vegetal da lavoura e área de solo descoberto. Os resultados mostraram que os índices NDVI gerados a partir das diferentes imagens apresentam resultados distintos, mesmo quando analisando uma mesma área em períodos próximos. Esta diferença pode estar relacionada a diferença de resolução espacial entre as duas imagens, 10 m e 30 m para Sentinel – 2 e Landsat-8, respectivamente, ou também a variações climáticas abruptas com geadas severas e veranicos que interferem nos níveis de clorofila do tecido vegetal.

Palavras-chave: satélite; agricultura; sensoriamento remoto.

ABSTRACT

The data generated by satellite image processing, especially Sentinel-2 and Landsat-8 types, have many possibilities, given the significant number of frequencies and the short sampling interval from the satellites. With this, the aim of this study were to compare the images obtained by the two satellites and define which one is more efficient to analyze the soils coverage rate and plants health of crops at the city of Mariópolis, in the State of Paraná, through the generation of vegetation indexes. The data was obtained from the Europe Space Agency's website (ESA) and processed by the open-source QGIS software. After cropping the images where interest was due, NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) indexes were generated to indentify the crops' plant's health level and area of bare soil. The results showed that the NDVI indexes generated from the different images differ, even when analyzing the same area in close periods. This difference may be related to the spatial resolution's difference, 10 m and 30 m for the Sentinel-2 and Landsat-9, respectively, or it may be related to the abrupt climate variations with severe frosts that interfere with the chlorophyll levels in the plant tissue.

Keywords: satellite; agriculture; remote sensing.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Bandas espectrais.....	16
Figura 2- Mapa indicando o município de Mariópolis - PR.....	22
Figura 3 - Classificação do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) do município de Mariópolis – PR, no inverno com imagens obtidas pelos satélites Landsat-8 e Sentinel-2	26
Figura 4 - Classificação do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) do município de Mariópolis – PR, na primavera com imagens obtidas pelos satélites Landsat-8 e Sentinel-2.....	26
Figura 5 - Classificação do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) do município de Mariópolis – PR, no verão com imagens obtidas pelos satélites Landsat-8 e Sentinel-2.....	27
Figura 6 - Classificação do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) do município de Mariópolis – PR, no outono com imagens obtidas pelos satélites Landsat-8 e Sentinel-2.....	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Bandas espectrais, nome da banda, comprimento de onda e combinações de banda.....	16
Tabela 2 - Bandas espectrais, nome da banda, resolução espacial/espectral ..	17
Tabela 3 - Data das capturas de imagens utilizadas no presente estudo dos satélites Sentinel-2 e Landsat-8	23
Tabela 4 - Áreas em hectares das classes atribuídas pelo Índices de vegetação por diferença normalizada (NDVI) para os satélites Sentinel-2 e Landsat-8 no município de Mariópolis – PR	25
Tabela 5 - Índices de vegetação por diferença normalizada (NDVI) mínimos e máximos para imagens obtidas por satélites Landsat-8 e Sentinel-2 para as estações do ano: outono, inverno, primavera e verão no município de Mariópolis - PR	29

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BOA	Refletância da superfície terrestre
ESA	European Space Agency
EUA	Estados Unidos da América
GMES	Global Monitoring for Environment and Security
GNU	General Public License
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MLST	Tempo Solar Médio Local
MSI	Instrument Multi Spectral
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NDVI	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
OLI	Operational Land Imager
TRIS	Thermal Infrared Sensor
USGS	United States Geological Survey
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
°	Graus
µm	Micras
km	Kilometros
m	Metros
MB	Mega Byte

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
2.1	Sentinel-2	15
2.2	Landsat-8	17
2.3	MSI (Instrumento Multi-Espectral)	18
2.4	Classificação das imagens.....	19
2.5	Geração do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) no QGIS	20
3	MATERIAL E MÉTODOS	22
3.1	Obtenção das imagens	22
3.2	Classificação das imagens.....	23
3.3	Cálculo do NDVI.....	24
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
5	CONCLUSÃO	31
	REFERÊNCIAS.....	32

1 INTRODUÇÃO

No ramo da agricultura, em pesquisas de sensoriamento remoto, imagens de satélites artificiais são importantes para a captação de diferentes tipos de dados importantes. Estes, possibilitam uma ampla variedade de análises temporais e espaciais.

Um satélite artificial é definido como todo equipamento construído pelo homem que, após seu lançamento, permanece em órbita da Terra. Atualmente, novas tecnologias aliadas a softwares cada vez mais modernos têm possibilitado o uso de imagens de satélite para variados fins, como estimativa de produção, contaminação ambiental e análise da sanidade vegetal de lavouras comerciais (MARCHIORATO, 2008).

Quando se trata de sensoriamento remoto na agricultura, os índices de vegetação são elementos fundamentais para realçar características específicas nos dosséis das culturas. Atualmente, o índice mais utilizado na agricultura é o NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada), sendo empregado, por exemplo, na caracterização de alterações nos dosséis, determinação de aplicação de nitrogênio em taxa variável e estimativa de produtividades, partindo da reflectância espectral das bandas correspondentes ao vermelho e infravermelho próximo (MARCHIORATO, 2008).

Dentre os diversos satélites presentes em órbita terrestre, dois deles (Sentinel-2 e Landsat-8), apresentam boas opções para o sensoriamento remoto de regiões agrícolas brasileiras. O Sentinel-2 é um satélite que foi colocado em órbita recentemente pela União Europeia no Copernicus Programme que obteve sucesso em 2015 pela sua elevada resolução e pela capacidade de imageamento. Em funcionamento desde abril de 2014, o satélite Sentinel-2 tem como objetivo gerar imagens multiespectral do programa GMES (Global Monitoring for Environment and Security) com ligação e auxílio da Europa e a ESA (European Space Agency) para observar o planeta. O mesmo realiza coleta de dados importantes para agricultura (fiscalização terreal, oceânica, rios e de processos da atmosfera). Além disso, possui bandas com uma resolução espacial de 10 metros, sendo 6 bandas no "red edge" e no infra vermelho de ondas curtas com 20 metros de resolução e 3 bandas para correções da atmosfera com 60 metros de resolução (ESA, 2016). Os satélites sentinel-2 (A e B) tem auxílio do sensor Multi Spectral Instrument (MSI) que possui

alta qualidade geométrica e radiométrica com enfoque no monitoramento terreal (DRUSCH *et al.*, 2012).

O programa Landsat foi desenvolvido no final da década de 60 pela NASA (National Aeronautics and Space Administration), tendo como objetivo a coleta de dados dos recursos naturais da superfície do planeta. Tal programa, contou com oito satélites, no qual, o mais recente, Landsat-8 foi elaborado como uma colaboração entre a NASA e o US Geological Survey (USGS) e lançado em fevereiro de 2013, tendo em sua carga útil dois instrumentos científicos – o Operational Land Imager (OLI) e o Thermal Infrared Sensor (TIRS). Esses dois sensores fornecem cobertura sazonal da massa terrestre global com uma resolução espacial de 30 metros (visível, NIR, SWIR); 100 metros (térmico); e 15 metros (pancromático) (ALVARENGA *et al.*, 2014).

A partir das imagens Sentinel-2 e Landsat-8, é possível gerar índices que possibilitam o mapeamento e a identificação de feições de interesse como a taxa de cobertura do solo e grau de sanidade vegetal, medido a partir dos teores de clorofila nas plantas. O mais citado destes índices é o NDVI que nos fornece informações acerca da sanidade vegetal (HANSEN *et al.*, 2013). No cálculo do NDVI, os resultados variam entre -1 a 1 e, de maneira geral, a área com densa vegetação e com elevada atividade fotossintética apresentam valores próximos a 1, enquanto áreas com solos expostos ou com palhada na superfície mostram valores negativos.

O objetivo do presente estudo foi avaliar o potencial das imagens Sentinel-2 e Landsat-8 para avaliar a taxa de cobertura do solo por meio do NDVI, bem como comparar a qualidade dos dados geradas pelas duas imagens em lavouras comerciais da região Sudoeste do Paraná.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Sentinel-2

O Sentinel-2 é um satélite que foi colocado em órbita pela ESA (European Space Agency) em 2015 no projeto Copernicus (DRUSCH *et al.*, 2012; HAGOLLE *et al.*, 2015; SEGL *et al.*, 2015). O mesmo possui instrumento de alta tecnologia que captura imagens multiespectrais, sendo atualmente a mais potente e inovadora do tipo. As imagens possuem também três bandas no "red edge", que promove dados importantes sobre a condição atual da vegetação, bem como sobre solos expostos e homogeneidade de plantio (TAQUIA, 2015; ESA, 2015).

As informações obtidas do campo fotografado, aliado e a alta frequência de observações, propiciam a análise de dados de pequenos locais como lavouras e cidades, até grandes locais municípios, estados e países. Os dados do Sentinel-2 auxiliam outros satélites como o Landsat-8 e o SPOT. Essas informações projetadas para serem mudadas e ajustados pelos clientes interessados em áreas temáticas (ESA, 2016)

O Sentinel-2 possui órbita heliossíncrona que, na prática, garante que o ângulo da luz solar seja mantido sobre a terra. Ademais, com as variações climáticas anuais, a tecnologia minimiza o sombreamento e os níveis de iluminação sobre a vegetação, certificando que os dados serão mais precisos ao longo do tempo, mesmo com as mudanças temporais e anuais.

Os satélites Landsat-8 e o SPOT promove a ligação de informações com o Sentinel -2 pois o valor MLST (Tempo Solar Médio Local) que é 10:30 (am) obtido pelo nível da iluminação solar e a minimização da cobertura de nuvem potencial, se aproxima da sobreposição local do Landsat-8 e muito parecido com o SPOT. O Sentinel-2 se encontra em uma altitude orbital de 786 quilômetros e com a inclinação da órbita de 98,62° (ESA, 2015).

Existem diferentes tipos de Sentinel-2 e com diferentes níveis, diferentes volumes de dados que estão em livre acesso para usuários. O nível-1B, que tem a radiância no topo da atmosfera na geometria do sensor, com geração sistemática e distribuído on-line e com volume de 27 MB. O nível-1C com imagens geometricamente retificada (ortorretificada), com reflectância no topo da atmosfera e também tem geração sistemática e com distribuição on-line, porém tem um volume de dados de 500 MB. E por último, o nível-2A, onde os valores de reflectância se encontra na

porção inferior da atmosfera, adquirido pelo usuário em modelos no software que a ESA disponibiliza que, diferente das outras, é gerado pelo usuário, que utiliza o Tollbox do Sentinel-2, e gera o maior volume de dados, de 600 MB (ESA, 2015).

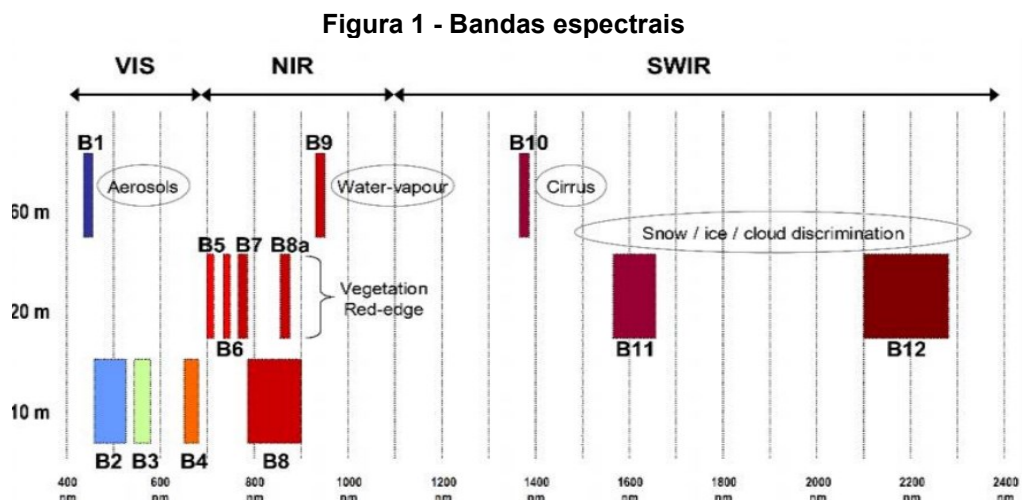
A resolução espacial é dependente das bandas espectrais que é gerada pelo instrumento MSI que se encontra no Sentinel-2. Na Tabela 1 são apresentadas as treze bandas espectrais, bem como sua resolução, número, nome, comprimento de onda e as combinações.

Tabela 1 - Bandas espectrais, nome da banda, comprimento de onda e combinações de banda

Resolução	Número da banda	Nome da banda	Comprimento de onda	Combinações de Banda
10 M	B02	Blue (Azul)	490	0
	B03	Green (Verde)	560	
	B04	Red (Vermelho)	665	
	B08	NIR (Infravermelho)	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	0
	B09	Water Vapor	940	
	B10	Cirrus	1375	

Fonte: ESA (2016)

A resolução espectral geradas pelo Sentinel-2 são obtidos com as treze bandas citadas, de acordo com a figura 1 é possível visualizar onde se encontram.



Fonte: ESA (2016)

Cada missões tem previsão de durabilidade para cada satélite de sete anos e meio, mas que pode durar até quase doze anos. Cada satélite tem órbita de

sincronismo solar e a diferença entre eles é de 180°, o que significa que quando um está para um lado o outro estará virado para o lado contrário, fornecendo imagens atualizadas (ESA, 2016).

Uma das funções mais importantes do Sentinel-2 é a divisão das cenas, que proporciona a diferenciação dos pixels com onze classes. E com essa diferenciação é possível transformar essa informação de TOA (refletância do topo da atmosfera) para refletância superfície terrestre (BOA), que é aonde é possível saber os problemas terrestres.

2.2 Landsat-8

O Satélite Landsat-8 configura-se como o mais recente de sua série. Seu lançamento ocorreu em 11 de fevereiro de 2013, tendo como responsável a NASA, na base aérea de Vandenberg, estado da Califórnia (EUA). O mesmo, opera em uma altitude de 705 quilômetros, orbitando em uma órbita heliosíncrona com inclinação de 98,2°, a qual se assemelha a órbita de alguns de seus antecedentes, como Landsat-5 e Landsat-7. Sobre a linha do equador, sua passagem ocorre cerca de 10:00 horas, podendo haver diferença de 15 minutos para mais ou para menos (USGS, 2013 Apud COELHO, 2015). Sua cobertura de imagens, envolve quase todo o globo, exceto as mais altas latitudes polares, ocorrendo a revista a cada 16 dias. Sua cena tem aproximadamente 170 quilômetros ao norte-sul por 183 quilômetros a leste-oeste (COELHO, 2015). O satélite, tem em operação dois instrumentos de imagem, o primeiro, Operatrional Land Imager (OLI), contendo nove bandas espectrais incluindo a banda pancromática, tendo as seguintes características.

Tabela 2 - Bandas espectrais, nome da banda, resolução espacial/espectral

Resolução Espacial	Banda espectrais	Nome da banda	Resolução Espectral
30 M	B01	Visível Ultra-Azul	0,430-0,45 µm
	B02	Visível Azul	0,450-0,51 µm
	B03	Visível Verde	0,530-0,59 µm
	B04	Visível Vermelho	0,640-0,67 µm
	B05	Infravermelho Próximo	0,850-0,88 µm
	B06	Infravermelho Médio/SWIR 1	1,570-1,65 µm
	B07	Infravermelho Médio/SWIR 2	2,110-2,29 µm
15 M	B09	Cirrus	1,360-1,38 µm
100 M	B08	Pancromática (PAN)	0,500-0,68 µm
	B10	Infravermelho Termal/TIRS 1	10,60-11,19 µm
	B11	Infravermelho Termal/TIRS 2	11,50-12,51 µm

Fonte: EngeSat (2022)

O segundo sistema de imagens, é o Thermal Infrared Sensor (TRIS), tendo duas bandas de pixel de 100 metros (Figura 2), processadas e disponibilizadas de 30

metros, com o intuito de coincidir com a maior parte das bandas multiespectrais do sistema imageador OLI (USGS, 2013 apud COELHO, 2015).

O mais novo satélite da série Landsat oferece aos cientistas uma visão mais clara com melhor resolução espacial do que a maioria dos instrumentos de detecção do oceano e maior sensibilidade ao brilho e à cor do que os Landsats anteriores. Mais significativamente, ele pode observar a Terra em comprimentos de onda que permitem aos cientistas ajustar as distorções causadas especialmente pela atmosfera perto da costa (ACHARYA; YANG, 2015).

O Landsat-8, fornece dados de sensoriamento remoto do planeta em resoluções moderadas, tendo suas imagens utilizadas em diversos ramos, como na agricultura, silvicultura, geologia, planejamento regional, educação, mapeamento e mudança global, entre outros. Tal satélite, ofereceu melhoras nos recursos em comparação a seus antepassados, melhorando bandas para estudos de amplos campos, oferecendo maiores combinações e classificações mais restritas (ACHARYA; YANG, 2015).

2.3 MSI (Instrumento Multi-Espectral)

Esse instrumento possui uma tecnologia que aumentará o diâmetro angular de qualquer alvo, além de ser fabricado isostaticamente para reduzir ao máximo as deformações termo elásticas. Com design óptico melhorado para ter qualidade de captura de ponta em toda área que pode ser visualizada, o Sentinel-2 pode chegar até 290 km. Comparando com outros satélites como SPOT e Landsat, a sua distância é incomparável. O telescópio e seus espelhos são fabricados a partir de carboneto de silício, que fornece alta qualidade óptica e redução na deformação térmica (ESA, 2016).

Com duas matrizes diferenciadas de doze detectores montados em diferentes planos focal que mostram os canais VNIR e SWIR respectivamente. Também com um difusor embarcado de área inteira e com diâmetro do espelho completa para calibração radiométrica garantindo um desempenho de qualidade (ESA, 2016).

Os dozes detectores são montados de um modo que tem forma escalonada cobrindo toda área de visão do instrumento. Os detectores, são montados de um modo que tem forma escalonada cobrindo toda área de visão do instrumento, no qual pode chegar até 290 km.

2.4 Classificação das imagens

Os pontos que são associados de uma imagem a uma classe ou um conjunto de classe é o que se diz classificação em sensoriamento remoto. E estas classes descrevem os pontos terrestres como, rios e lagos, vegetações, área que se encontra cidades, cerrado, etc. O processo de classificação das imagens é um meio de definir os alvos de acordo com os seus aspectos comuns. Uma classe pode ser, por exemplo, feijão e um montante de classes poderiam ser várias áreas cultivadas com determinada cultura (FIGUEIREDO, 2005).

Na classificação de imagem, existem características espectrais que se diferem e cada detalhe pertence a uma determinada classe. Ademais, cada classe necessita ter pontos parecidos, precisa ter um padrão, como, coloração, textura, tonalidade por exemplo (FIGUEIREDO, 2005). O produto final do processamento destes dados da imagem é um mapa temático que terá os pixels com diferentes cores e símbolos para diferenciação. E isso tem duas categorias para ser dividido, supervisionada ou não-supervisionada (AFFONSO; VALERIANO; BATISTA, 2005).

Na classificação não-supervisionada, quem classificará não possui nenhum conhecimento sobre as classes da imagem e chega a conclusão sem auxílio de analista e, assim, atribui a cada pixel a uma classe. As regras estatísticas que são pré-selecionadas é definida pelo o algoritmo, que define as classes (VENTURIERI; SANTOS, 1998).

Na classificação supervisionada é feito na seguinte maneira: escolhe-se amostras significativas para cada classe determinada que tem interesse em identificar na imagem. As classes podem ser identificadas através de função de densidade de probabilidade, processadas computacionalmente. Estes parâmetros são avaliados através de dados previamente estabelecido. Existem outros métodos para este tipo de classificação, o método paralelepípedo e também o MAXVER (AFFONSO; VALERIANO; BATISTA, 2005).

Tal como dito anteriormente, um dos métodos se chama paralelepípedo e pode ser dito como vantagem pois ele é a mais simples do tipo classificação supervisionada e que tem maior velocidade computacional. As "assinaturas" do tipo, são determinados por exame de histograma, que contém características espectrais individuais de informações contidas nas amostras de treinamento. Possui duas extremidades, inferior e superior no histograma, no qual são reconhecidos e usados

para mostrar os valores de brilho de cada componente na imagem (MENESES; ALMEIDA, 2012) Neste método, quando definido de nível de cinza mínimo e máximo do conjunto de treinamento, no qual são limitados na decisão de cada classe e assim então, todos pixels inclusos no determinado espaço serão marcados como pertencentes a classe específica. Um fato que pode atrapalhar a atividade do método é a ligação existente entre bandas ópticas sensores que estão disponíveis, e os que estão na região do visível são as principais (VENTURIERI; SANTOS, 1998).

E o método MAXVER, que diferente do paralelepípedo, é um pouco mais complexo, pois se classifica de forma "pixel a pixel" e é o mais utilizado em sensoriamento remoto. Usa-se a análise do intervalo entre a médias dos níveis digitais das classes, e com o conhecimento estatístico, leva-se a frente. Para que o método tenha sucesso, necessita de um número razoavelmente alto de pixels para cada conjunto, pois eles vão determinar o diagrama de dispersão das classes e suas probabilidades, tendo em vista que a distribuição de probabilidade normal para cada classe (AFFONSO; VALERIANO; BATISTA, 2005).

Mesmo com todos os cuidados dos métodos que auxiliam no mapeamento e classificação, sempre haverá erros, impossível conseguir resultados 100% precisos. Ocorrem os erros sempre devido a omissão ou inclusão de áreas em uma devida classe temática, e para tentar minimizar, os softwares apresentam ferramentas próprias e exclusivas que permitem o usuário arrumar manualmente o erro (RIZZI, 2004).

2.5 Geração do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) no QGIS

O QGIS é um Sistema de Informações Geográficas que está disponível gratuitamente e que tem é disponibilizado pela GNU (General Public License). O programa tem inúmeras opções de edição, processamento de dados e de manipulação de dados georreferenciados e uma lista de recursos detalhados. Permite que se informe previamente sobre o estado de uma área, explore dados, identificar, pesquisar e usar também a ferramenta raster. Sustenta vários tipos de dados geográficos como Anywhere, PostGIS, SpatiaLite, SQL e todos os tipos que a biblioteca GDAL possui (ALMEIDA; SÁNCHEZ, 2011).

A partir da ferramenta calculadora de raster do Qgis é possível gerar, a partir das imagens multiespectrais, o NDVI que, por sua vez, é baseado na diferença de intensidade com a qual as bandas do infravermelho próximo (IVP) e do vermelho (V)

são absorvidas pela planta em função do seu estado fisiológico. Plantas em plena atividade fotossintética apresentam máxima absorção de luz na faixa do vermelho, enquanto a máxima reflexão ocorre na faixa do IVP. O contrário é observado em palhada, onde não se observa atividade fotossintética.

O NDVI é bastante utilizado em estimativas de biomassa, estimativa de cobertura vegetal e em detecção de mudança de padrões de uso na cobertura do solo (MELO; SALES; OLIVEIRA, 2015).

Tal índice é frequentemente empregado na função de monitoramento de vegetações em grandes escalas, pois sua variação nas condições de iluminação, inclinação da superfície Terrestre e aspectos das visadas do sensor em função de sua largura de órbita são muito satisfatórias (HOLBEM, 1986).

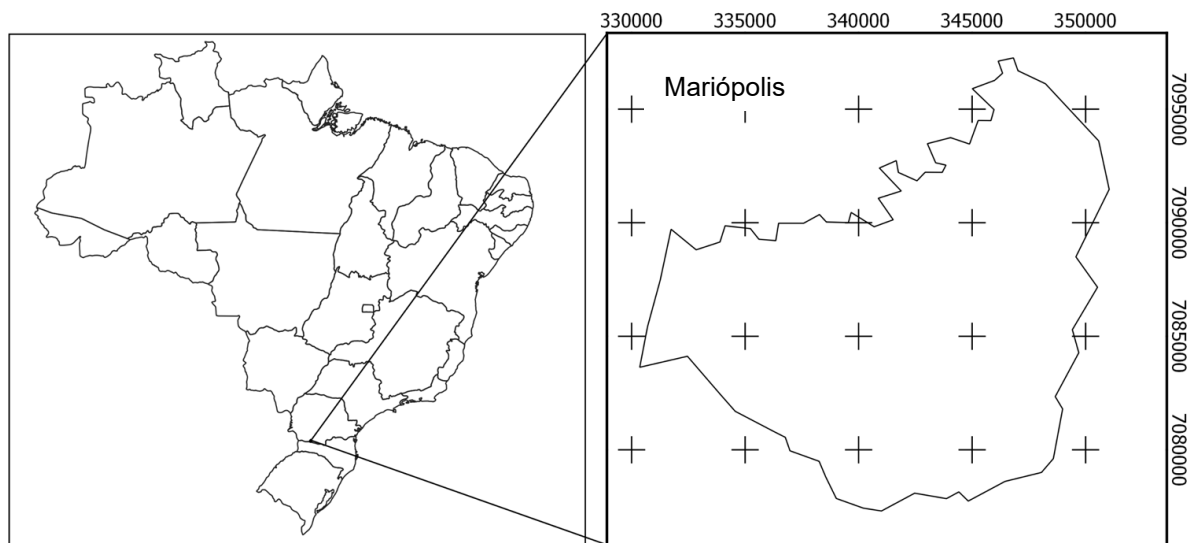
A simplicidade do NDVI, em avaliações da densidade da cobertura vegetal fez possível o monitoramento da vegetação em escala global, o que viabiliza o NDVI como um indicador biofísico indispensável nos estudos e avaliações de monitoramento sazonal e interanual da degradação de ambientes (LOPES *et al.*, 2010)

Os dados do NDVI em conjunto, mostram toda a condição de uma lavoura, o que garante total controle sobre ela e com isso, apresentando maiores ganhos em sua produtividade.

3 MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo se encontra na cidade de Mariópolis (Figura 3), na mesorregião Sudoeste Paranaense e próximo a Pato Branco-PR. Está localizada a 430 km de distância da capital e possui uma população de 6.268 habitantes (IBGE, 2021). O solo do município é formado a partir de extensos lençóis de lavas de origem vulcânica e também tendo o basalto como predominante na área. As classes de solos predominantes são os Latossolos, os Nitossolos e Cambissolos.

Figura 2- Mapa indicando o município de Mariópolis - PR



Fonte: Aatoria própria (2022)

3.1 Obtenção das imagens

As imagens utilizadas no presente trabalho foram baixadas diretamente do site da United States Geological Survey - USGS (Serviço Geológico dos Estados Unidos, disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>). As imagens foram selecionadas com o objetivo de se ter uma imagem de cada satélite, Landsat-8 e Sentinel-2, para cada estação do ano. Assim essas imagens tiveram um espaço temporal de maio de 2020 a fevereiro de 2021.

Para melhores resultados, o estudo foi efetuado em uma época que ocorre menos chuvas e menos distribuição de nuvens, para a melhor visualização do local e resultados mais precisos. Para isso, foram examinadas imagens que apresentavam um período de seca no Sudoeste, que ocorre entre os meses de dezembro até meados de maio. E para melhor precisão no estudo, foi empregue imagens recentes

para não haver risco de intervenção humana no terreno. Para geração e edição das imagens, utilizou-se o software QGIS 3,4.

As imagens foram selecionadas em períodos próximos dentro da estação para cada satélite, levando-se em conta a qualidade das mesmas em termo de cobertura completa da área com uma única cena, a quantidade de nuvens e demais ruídos atmosféricos sobre área no momento da captura da imagem. Trabalhos semelhantes usando imagens em diferentes estações do ano podem ser encontradas em Coutinho; Gan e Rao (2010) e Mantelli Neto (2001).

Na tabela 3, estão contidas as datas exatas das capturas das imagens utilizadas no presente estudo, para ambos os satélites Sentinel-2 e Landsat-8.

Tabela 3 - Data das capturas de imagens utilizadas no presente estudo dos satélites Sentinel-2 e Landsat-8

Estações do ano	Sentinel-2	Landsat-8
Inverno	04/09/2020	08/08/2020
Primavera	23/11/2021	28/11/2020
Verão	06/02/2021	07/02/2021
Outono	27/05/2020	20/05/2020

Fonte: Autoria própria (2022)

3.2 Classificação das imagens

Para todas as imagens foram aplicados os seguintes procedimentos para sua classificação:

i) Após o download das imagens, foi realizada a correspondente correção atmosférica, de forma a minimizar a influência dos fatores que compõem a atmosfera terrestre e auxiliar na sua melhor interpretação dentro do Sensoriamento Remoto.

ii) Após todas as correções das imagens, separou-se as bandas a serem utilizadas no NDVI, tanto da Landsat-8 quanto do Sentinel-2, sendo elas as bandas NIR (Infravermelho Próximo) e RED (vermelha). Seguindo a seguinte estrutura: para as imagens do Sentinel-2 a NIR, RED são, respectivamente, as bandas 08 e 04. Já para as imagens Landsat-8, o NIR é a banda 05 e a RED é a banda 04.

iii) Tais imagens foram recortadas para a área de interesse, usando como máscara o shapefile do município de Mariópolis PR, baixado do site do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística).

iv) Após ser realizado o cálculo de NDVI, as imagens foram organizadas para seguirem o mesmo padrão de cores. Foi colocado como tipo de renderização:

Banda simples falsa-cor; no interpolar foi usado o método linear e usaram-se quatro classes de cores em intervalo igual.

3.3 Cálculo do NDVI

Para chegar-se aos resultados finais do estudo, foi necessário efetuar o cálculo do NDVI para entender quais são os problemas na vegetação. O cálculo foi realizado com base na equação (1) de acordo com Penha e Farias (2015) e Ribeiro, Petry e Limberger (2018) (Equação 1).

$$\text{NDVI} = \frac{(\text{NIR} - \text{RED})}{(\text{NIR} + \text{RED})} \quad (1)$$

Para o processamento dos cálculos foi utilizada a “calculadora raster” do programa QGIS para realizar o procedimento. Em seguida, ainda dentro do QGIS, foi realizada a reclassificação das imagens e posterior cálculo de área de cada classe.

Como todas as imagens foram classificadas em quatro classes de NDVI, as mesmas foram reclassificadas em níveis: i) nível 1: NDVI entre -0,5 a -1, ii) nível 2: NDVI de 0 a -0,5, iii) nível 3: NDVI de 0 a 0,5 e iv) nível 4: NDVI de 0,5 a 1.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No inverno, para o Nível NDVI igual a 1 (Tabela 4; Figura 3), os valores em hectare obtidos nas duas imagens variaram de 0,081 ha com imagens Sentinel-2 para 2,611 ha com imagem Landsat-8, diferença de 2,529 ha.

Tabela 4 - Áreas em hectares das classes atribuídas pelo Índices de vegetação por diferença normalizada (NDVI) para os satélites Sentinel-2 e Landsat-8 no município de Mariópolis – PR

Sentinel-2 (Área em Hectares)				
Nível/Estação	Inverno	Primavera	Verão	Outono
1	0,081	0,080	0,089	0,081
2	3,781	3,621	11,092	18,573
3	10367,931	3127,173	7130,258	8215,150
4	12664,536	19905,453	15894,898	14802,524
Total	23036,329	23036,328	23036,337	23036,328
Landsat-8 (Área em Hectares)				
Nível/Estação	Inverno	Primavera	Verão	Outono
1	2,611	0,090	0,180	3,892
2	143,846	9,992	5,041	64,573
3	15280,770	3565,150	6330,782	13756,254
4	7610,461	19462,456	16701,685	9212,969
Total	23037,688	23037,688	23037,688	23037,688
Diferença (relação Landsat-8 – Sentinel-2) (Área em hectares)				
Nível/Estação	Inverno	Primavera	Verão	Outono
1	2,529	0,010	0,091	3,811
2	140,066	6,371	-6,051	46,000
3	4912,839	437,976	-799,476	5541,104
4	-5054,075	-442,997	806,788	-5589,555

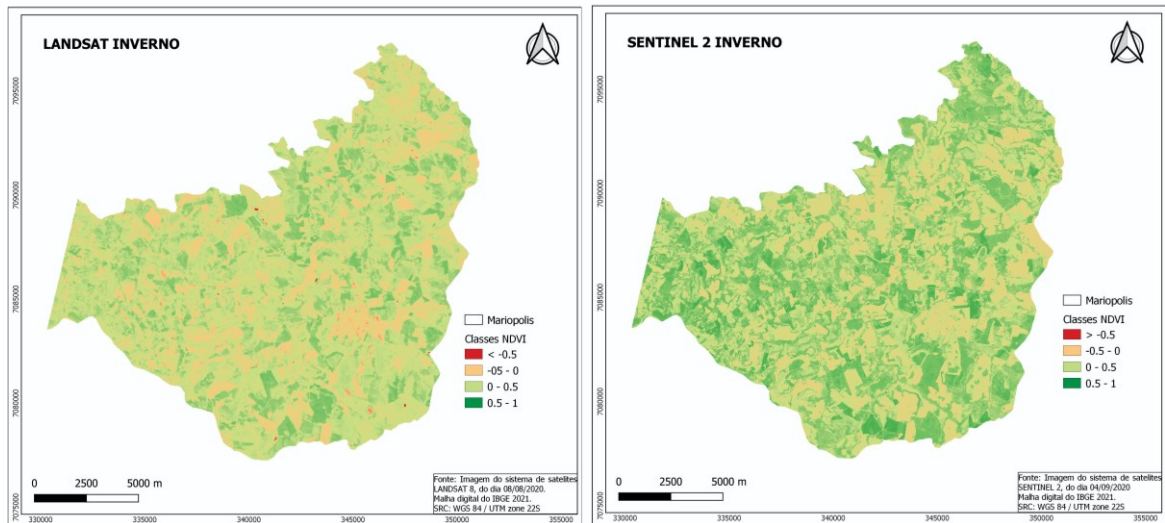
Fonte: Autoria própria (2022)

De maneira semelhante ao observado no nível 1, no nível 2, os valores obtidos para o as imagens Sentinel-2 também foram menores que os obtidos com imagens Landsat-8. No primeiro caso, os valores foram de 3,781 ha, enquanto no segundo a área observada foi de 143,846 ha, uma diferença de 140,066 ha (Tabela 4; Figura 3).

O mesmo comportamento foi observado para o nível 3, onde a área observada para imagens Sentinel-2 foi de 10.367,931 ha, enquanto a área obtida pela Landsat-8 foi de 15.280,770 ha, resultando em diferença de 4.912,839 ha.

Por último, no nível 4, o padrão observado anteriormente se inverte, e os maiores valores foram observados para as imagens Landsat-8, cuja área foi de 7.610,461 ha, enquanto os valores para Sentinel-2 foram de 12.664,536 ha, uma diferença de 5.054,075 ha.

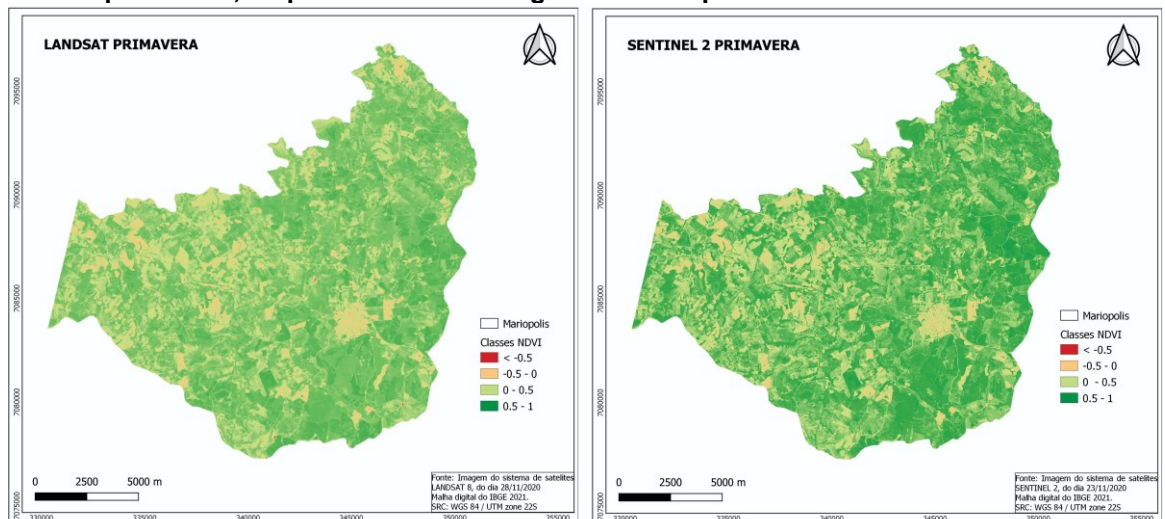
Figura 3 - Classificação do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) do município de Mariópolis – PR, no inverno com imagens obtidas pelos satélites Landsat-8 e Sentinel-2



Fonte: Autoria própria (2022)

Na Primavera, para nível 1, foi observado uma diferença de 0,010 ha quando comparado as áreas observadas para as imagens Sentinel-2 e Landsat-8. No primeiro caso, a área foi de 0,08 ha, enquanto para as imagens Landsat-8 a área foi de 0,09 ha. Uma diferença relativamente pequena, quando considerado a área total do local de estudo que foi de cerca de 23.000,0 ha (Tabela 4; Figura 4).

Figura 4 - Classificação do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) do município de Mariópolis – PR, na primavera com imagens obtidas pelos satélites Landsat-8 e Sentinel-2



Fonte: Autoria própria (2022)

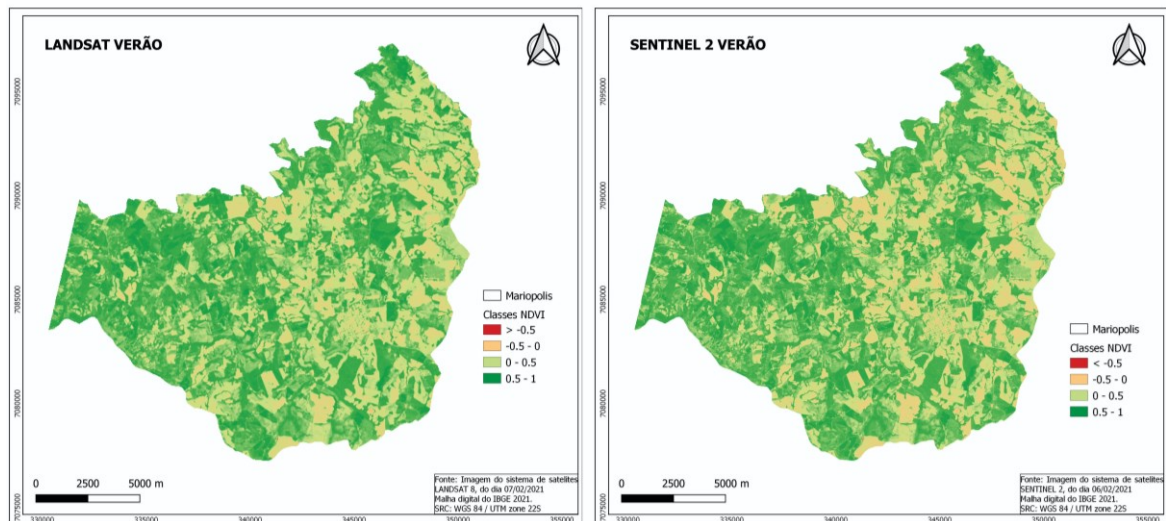
Para o nível 2, os valores encontrados para as imagens Landsat-8 também foram mais elevados. As imagens Landsat-8 apresentando 9,992 ha de área enquanto a Sentinel-2 apresentou 3,621 ha, uma diferença de 6,371 ha.

No nível 3, os valores encontrados para as duas imagens também foram diferentes. A diferença entre as duas imagens testadas foi de 437,976 ha. A área observada para imagens Sentinel-2 foi de 3.127,173 ha, enquanto para as imagens Landsat-8 foi observado 3565,150 ha.

No nível 4, por sua vez, ao contrário do observado para os demais níveis de NDVI, a área observa para a imagem Sentinel-2 foi maior que a área observada para a Landsat-8, 19.905,453 ha e 19.462,456 ha, respectivamente.

No Verão, para o nível 1, os valores em ha obtidos nas duas imagens variam pouco, de 0,089 ha com imagens Sentinel-2 para 0,180 ha com imagem Landsat-8, diferença de 0,091 ha.

Figura 5 - Classificação do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) do município de Mariópolis – PR, no verão com imagens obtidas pelos satélites Landsat-8 e Sentinel-2



Fonte: Autoria própria (2022)

Para o nível 2, valores encontrados para as imagens Sentinel-2 foram mais elevados quando comparado as imagens Landsat-8, sendo 11,092 ha para Sentinel-2 enquanto as imagens Landsat-8 apresentou os valores 5,041 ha, mostrando uma diferença de 6,051 ha (Figura 5).

No nível 3, os valores encontrados mostram uma diferença de 799,476 ha. Sendo 7130,258 ha nas imagens Sentinel-2 e na área observada para a Landsat-8 foi de 6330,782 ha.

No nível 4, diferente do nível anterior, as imagens Landsat-8 mostrou valores maiores que para as imagens Sentinel-2, cuja as áreas foram de 16701,685 ha e 15894,898 ha respectivamente, mostrando uma diferença de 806,788 ha.

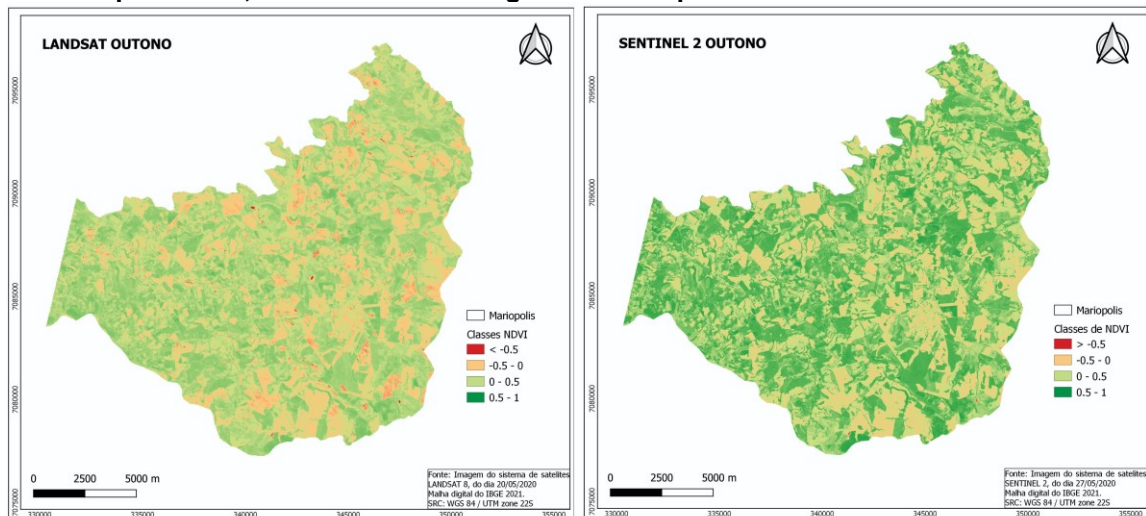
No outono, os valores das imagens Landsat-8 já mostram superiores as imagens sentinel-2 logo no nível 1, com 3,892 ha enquanto as imagens Sentinel-2 mostram valores de 0,081 ha (Tabela 4; Figura 6).

Para o nível 2, com uma diferença ainda maior, novamente as imagens Landsat-8 se mostram com maior valor em relação ao Sentinel-2, sendo 64,573 ha e o Sentinel-2 com os valores observados de 18.573 ha, resultando em uma diferença de 46,000 ha.

Para o nível 3, o padrão observado nos níveis anteriores continua, para Landsat-8 foi observado os valores de 13756,254 ha enquanto o Sentinel-2 mostrou valores de 8215,150 ha.

Diferente dos três últimos níveis, o nível 4 possui um comportamento diferente, com valores maiores para Sentinel-2 em relação ao Landsat-8, com valores obtidos de 14802,524 ha para o Sentinel-2 e 9212,969 ha no Landsat-8.

Figura 6 - Classificação do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) do município de Mariópolis – PR, no outono com imagens obtidas pelos satélites Landsat-8 e Sentinel-2



Fonte: Autoria própria (2022)

A tabela 5 apresenta os dados de refletância máximos e mínimos, calculados pelo NDVI. As imagens do Landsat-8 apresentaram índices mais próximos de -1 do que as imagens do Sentinel-2, com destaques para as estações do outono e do verão. Nas imagens do Sentinel-2 os índices mínimos ficaram próximos a 0, com os menores índices também ficando nas estações outono e verão.

Isso sugere que as imagens do Landsat-8 indicam valores, em média, menores de NDVI, isto é mais próximo de -1. Contudo, quando analisados os dois satélites juntos as tendências de valores em função das estações do ano são bastante

parecidas, ou seja, aumentam e diminuem os valores de NDVI de uma maneira parecida.

Tabela 5 - Índices de vegetação por diferença normalizada (NDVI) mínimos e máximos para imagens obtidas por satélites Landsat-8 e Sentinel-2 para as estações do ano: outono, inverno, primavera e verão no município de Mariópolis - PR

Estação do Ano	Landsat-8		Sentinel-2	
	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima
Outono	-0,87	0,57	-0,37	0,90
Inverno	-0,69	0,72	-0,08	0,86
Primavera	-0,56	1,00	-0,07	0,92
Verão	-0,72	0,93	-0,27	0,92

Fonte: Autoria própria (2022)

Os valores muito próximos a -1 podem ser explicados pôr a área de estudo ser bastante abrangente, pegando o município inteiro. Os locais onde foram apontados os menores valores de NDVI estão associados a área urbana do município e áreas com lâmina d'água em superfície.

Conforme Ponzoni, Shimabukuro e Kuplich (2012), valores negativos de NDVI correspondem a água; valores muito próximos de 0 correspondem a superfície não vegetada; e quanto mais próximo de 1, mais densa é a vegetação. Portanto, considerando-se o uso das imagens para o cálculo do NDVI e uso na agricultura devemos considerar os dados na faixa de 0 a 1.

Freires *et al.* (2019) realizaram estudos comparando as imagens do Landsat-8 e do Sentinel-2 em mapas de uso e cobertura da terra, encontrando como resultado que a imagem do Sentinel-2, devido a sua melhor resolução espacial, permitiu um maior detalhamento dos alvos, e maior acurácia na classificação, o que possibilita a sua aplicação em estudos com maiores escalas de análise. Por sua vez, a imagem Landsat-8, demonstrou ser mais adequada a estudos com menores níveis de detalhes, ou com alvos mais homogêneos.

No estudo de Machado (2020) mostrou que a análise do mapeamento dos índices NDVI traz diferenças espectrais e espaciais dos produtos gerados entre as imagens do Landsat-8 e Sentinel-2 e que o satélite Sentinel-2 permitiu, um maior delineamento dos alvos. Também atribuído possíveis diferenças atreladas a resolução espacial das imagens.

Na mesma linha Bezerra *et al.* (2018), compararam imagens do Landsat-8 para estudos de NDVI em região semiárida. Os autores afirmam que a imagem do satélite Sentinel-2 permitiu um maior delineamento dos alvos devido à sua maior

resolução espacial, possibilitando maior confiança para monitoramento e gestão do meio ambiente.

Portanto, os autores assim como o presente estudo, destaca a importância das duas bases rasters dentro do trabalho com o geoprocessamento e agricultura, destacando que dependendo da disponibilidade das imagens para a data desejada podemos utiliza-la sem grandes prejuízos ao trabalho. Sendo que se estivermos com as duas bases disponíveis para a mesma data e com igual interferência de nuvens, orientamos o uso da imagem do Sentinel-2, por possuir melhor resolução espacial em relação as imagens do Sentinel-2.

5 CONCLUSÃO

Os resultados mostram que o índice NDVI gerados a partir das diferentes imagens Landsat-8 e Sentinel-2 apresentam resultados distintos mesmo quando analisando uma mesma área em períodos próximos. Esta diferença pode estar relacionada à diferença de resolução espacial entre as duas imagens, 10 m e 30 m para Sentinel-2 e Landsat-8, respectivamente, ou também a variações climáticas abruptas e mais severas como veranicos e geadas que interferem nos níveis de clorofila do tecido vegetal.

REFERÊNCIAS

- ACHARYA, T.; YANG, I. Exploring Landsat 8. **International Journal of IT, Engineering and Applied Sciences Research**, v. 4, p. 4–10, 1 maio 2015.
- AFFONSO, A. G.; VALERIANO, D. M.; BATISTA, G. T. Caracterização de fisionomias vegetais na Amazônia oriental através de videografia aerotransportada e imagens derivadas do Modelo Linear de Mistura Espectral do sensor ETM+ do Landsat 7. **Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, , p. 16–21, 2005. .
- ALMEIDA, R. O. P. O.; SÁNCHEZ, L. E. Revegetação de áreas de mineração: critérios de monitoramento e avaliação do desempenho. **Revista Árvore**, v. 29, p. 47–54, fev. 2005. DOI: [10.1590/S0100-67622005000100006](https://doi.org/10.1590/S0100-67622005000100006).
- ALVARENGA, C. B. de; *et al.* Efeito do déficit de pressão de vapor d'água no ar na pulverização hidropneumática em alvos artificiais. **Bioscience journal (Online)**, , p. 182–193, 2014. .
- BEZERRA, U. A.; *et al.* COMPARATIVO DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO DE DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI) ENTRE OS SENSORES OLI - SATÉLITE LANDSAT-8 E MSI – SATÉLITE SENTINEL-2 EM REGIÃO SEMIÁRIDA. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 41, n. 3, p. 167–177, 8 maio 2019. DOI: [10.11137/2018_3_167_177](https://doi.org/10.11137/2018_3_167_177).
- COELHO, I. A. Avaliação da qualidade posicional de dados oriundos de VANT para mapeamento fotogramétrico aplicado em projetos rodoviários. 2015.
- COUTINHO, M. D. L.; GAN, M. A.; RAO, V. B. Método objetivo de identificação dos vórtices ciclônicos de altos níveis na região Tropical Sul: validação. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, p. 311–323, set. 2010. DOI: [10.1590/S0102-77862010000300003](https://doi.org/10.1590/S0102-77862010000300003).
- CROSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas: UNICAMP/Instituto de Geociências, 2002.
- DRUSCH, M.; *et al.* Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services. **Remote Sensing of Environment**, The Sentinel Missions - New Opportunities for Science. v. 120, p. 25–36, 15 maio 2012. DOI: [10.1016/j.rse.2011.11.026](https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.11.026).
- ENGESAT. LANDSAT 8. 2022. **Engesat - Imagens de satélite e geoprocessamento**. Disponível em: <http://www.engesat.com.br/imagem-de-satelite/landsat-8/>. Acesso em: 4 abr. 2022.
- ESA. Sentinel-2 - 2016 to 2015. 2016. Disponível em: <https://eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/c-missions/copernicus-sentinel-2-2016-2015>. Acesso em: 24 fev. 2022.
- ESA. The Sentinel missions. 2015. Disponível em: https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/The_Sentinel_missions. Acesso em: 24 fev. 2022.

FIGUEIREDO, D. Conceitos Básicos de Sensoriamento Remoto. , p. 33, [s. d.] .

FREIRES, E. V.; *et al.* Comparação de Imagens OLI/Landsat-8 e MSI/Sentinel-2 no Mapeamento de Cobertura e Uso da Terra no Maciço de Uruburetama, Ceará.

Anuário do Instituto de Geociências, v. 42, n. 4, p. 427–442, 5 mar. 2020. DOI: [10.11137/2019_4_427_442](https://doi.org/10.11137/2019_4_427_442).

HAGOLLE, O.; *et al.* A Multi-Temporal and Multi-Spectral Method to Estimate Aerosol Optical Thickness over Land, for the Atmospheric Correction of FormoSat-2, LandSat, VEN μ S and Sentinel-2 Images. **Remote Sensing**, v. 7, n. 3, p. 2668–2691, mar. 2015. DOI: [10.3390/rs70302668](https://doi.org/10.3390/rs70302668).

HANSEN, M. . C.; *et al.* High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. v. 342, p. 850–853, 2013. DOI: [10.1126/science.1244693](https://doi.org/10.1126/science.1244693).

HOLBEN, B. N. Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 7, n. 11, p. 1417–1434, nov. 1986. DOI: [10.1080/01431168608948945](https://doi.org/10.1080/01431168608948945).

IBGE. Dados de Mariópolis. 2021. **Instituto brasileiro de geografia e estatística**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/mariopolis/panorama>. Acesso em: 24 fev. 2022.

LOPES, H. L.; *et al.* Parâmetros biofísicos na detecção de mudanças na cobertura e uso do solo em bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p. 1210–1219, nov. 2010. DOI: [10.1590/S1415-3662010001100011](https://doi.org/10.1590/S1415-3662010001100011).

MACHADO, A. M. B. Comparação de imagens oli/landsat-8 e msi/sentinel-2 no mapeamento de uso e cobertura da terra na ilha do Maranhão. **Revista Equador**, v. 9, n. 3, p. 209–232, 2 jul. 2020.

MANTELLI NETO, S. L. Desenvolvimento de metodologia para a estimativa da cobertura de nuvens usando uma de câmera de superfície e comparando com as imagens de satélite. 2001.

MARCHIORATO, I. A. Mapas de variabilidade do potencial de produtividade obtidos por satélites como instrumentos auxiliares às decisões sobre o manejo de nematóides na cultura da soja. **Aleph**, , p. v, 45 f. : il., 18 mar. 2008. .

MELO, E. T.; SALES, M. C. L.; OLIVEIRA, J. G. B. de. Aplicação do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) para análise da degradação ambiental da microbacia hidrográfica do riacho dos cavalos, Cratéus-CE. **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 23, n. 0, 3 nov. 2011. DOI [10.5380/raega.v23i0.24919](https://doi.org/10.5380/raega.v23i0.24919). Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/24919>. Acesso em: 3 abr. 2022.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. de. Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto. **Universidade de Brasília, Brasília**, 2012.

PENHA, T.; FARIAS, V. Mapeamento da dinâmica da vegetação de Mata Atlântica no município de Teresópolis-RJ utilizando NDVI. *In*: XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 18 jan. 2016. **Territórios brasileiros**:

Dinâmicas, potencialidades e vulnerabilidades [...]. Teresina: [s. n.], 18 jan. 2016. DOI: [10.13140/RG.2.1.3147.3685](https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3147.3685).

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. Sensoriamento remoto da vegetação. atual e ampl. **Cubatão: Oficina de Textos**, 2012.

RIBEIRO, B. D. M.; PETRY, F. A.; LIMBERGER, A. R. Análise Temporal de dados NDVI para o município de Toledo PR, obtidos de imagens Landsat 8. **Revista Cultivando o Saber**, v. 11, n. 2, p. 40–50, 2018.

RIZZI, R. Geotecnologias em um sistema de estimativa da produção de soja: estudo de caso no Rio Grande do Sul. **São José dos Campos**, , p. 212, 2004. .

SEGL, K.; *et al.* S2eteS: An End-to-End Modeling Tool for the Simulation of Sentinel-2 Image Products. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 53, n. 10, p. 5560–5571, out. 2015. DOI: [10.1109/TGRS.2015.2424992](https://doi.org/10.1109/TGRS.2015.2424992).

TAQUIA, A. A. L. Descripción, Descarga y Manipulación de Productos Sentinel-2. **Recuperado de [https://es. slideshare. net/AlejandroLeon31/guia-sentinel2-espaol](https://es.slideshare.net/AlejandroLeon31/guia-sentinel2-espaol)**, 2015.

USGS. Aquisição de imagens orbitais digitais gratuitas do satélite Landsat-8: data de passagem 04/08/2013 EUA. 2013. **Serviço de levantamento geológico americano**.

VENTURIERI, A.; SANTOS, J. dos. Técnicas de classificação de imagens para análise de cobertura vegetal. **Sistemas de informações geográficas: aplicações na agricultura**, v. 2, p. 351–371, 1998.