

# **SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO À AGRICULTURA**

Bruno Kalili Dal Maso – brunodalmaso29@hotmail.com

Eduarda Vargas de Castilho – dudavdec@hotmail.com

Max Marco Hammer – maxhammer2008@hotmail.com

Rafael Augusto Hiraoka – rafaa.hiraoka@gmail.com

Sergio Vicente Denser Pamboukian (Orientador) – sergio.pamboukian@mackenzie.br

## **RESUMO**

A agricultura de precisão busca o aprimoramento dos sistemas agrícolas através de geotecnologias, o qual visa reduzir impactos ambientais e aumentar a produtividade e rentabilidade. Este estudo apresenta o acompanhamento das plantações de arroz, milho e soja, no período de dezembro de 2018 a fevereiro de 2019, em uma área de 320 hectares, localizado na cidade de Tremembé na região do Vale do Paraíba (interior do estado de São Paulo). Foi utilizada a tecnologia de sensoriamento remoto para a agricultura de precisão, com o objetivo de auxiliar o sistema de produção agrícola, simplificando a investigação das terras plantadas, identificando e prevendo problemas através de informações georreferenciadas. Através de gráficos gerados pelas assinaturas espectrais de cada plantio, pode-se comparar os meses de estudo, desde o período próximo ao cultivo até a colheita, e também gerado o índice de vegetação NDVI para análise mais precisa das características de cada cultura, sendo utilizadas as imagens do satélite Sentinel-2.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto. Agricultura de precisão. Assinaturas espectrais.

## **REMOTE SENSING APPLIED TO AGRICULTURE**

### **ABSTRACT**

Precision agriculture seeks the improvement of agricultural systems through geotechnologies, which aims to reduce environmental impacts and increase productivity and profitability. This research presents the monitoring of rice, corn and soybean plantations from December 2018 to February 2019, in an area of 320 hectares, located in the city of Tremembé in the Paraíba Valley region (inland of the state of São Paulo). Remote sensing technology was used for precision agriculture, with the objective of assisting the agricultural production system, simplifying the investigation of planted land, identifying and predicting problems through information georeferenced. Through graphs generated by the spectral signatures of each planting, one can compare the months of study, from the period near to the harvest, and also generated the NDVI vegetation index for more accurate analysis of the characteristics of each crop, using the sentinel-2 satellite images.

Keywords: Remote sensing. Precision agriculture. Spectral signatures.

## 1 INTRODUÇÃO

O agronegócio é uma importante fonte de geração de riqueza para o Brasil, sendo um dos setores de maior crescimento na economia. Gera empregos para população e teve representatividade de mais de 20% do Produto Interno Bruto (PIB) no ano de 2017 de acordo com Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA), também tem grande importância para o abastecimento da população urbana e geração de produtos para exportação (GASQUES et al., 2004).

O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de grãos, alcançando cerca de 196,5 milhões de toneladas na safra de 2015/2016. Entre suas principais culturas podemos citar o arroz, a soja e o milho (EMBRAPA, 2019).

O arroz é uma das culturas cerealíferas mais produzidas e consumidas no mundo, sendo um alimento base para mais da metade da população mundial (MARCHEZAN; AVILA; WALTER, 2008). O Brasil representa cerca de 1,6% da produção mundial, que corresponde a 12,5 milhões de toneladas (FAOSTAT, 2017).

A produção de soja começou a se expandir no Brasil desde os anos 70, e com um grande crescimento a partir dos anos 90, o que coloca hoje o país na segunda posição de maior produtor mundial, apenas atrás dos Estados Unidos. Dentre os grandes produtores, o Brasil é o que tem maior possibilidade para expansão das áreas de cultivo de soja, podendo se tornar o maior produtor mundial nos próximos anos (EMBRAPA, 2019).

O milho é uma das culturas de maior importância da agricultura brasileira, superada apenas pela soja e cana-de-açúcar (EMBRAPA, 2019). A nível mundial, o Brasil é o terceiro maior produtor de milho, ficando atrás dos Estados Unidos e da China, com uma área plantada de aproximadamente 17 milhões de hectares e uma produção de 98 milhões de toneladas no ano de 2017 (FAOSTAT, 2017).

Buscando números cada vez melhores, pode-se fazer um acompanhamento da evolução da safra pode aumentar sua produtividade a fim de evitar problemas decorrentes do crescimento da planta, de sua temperatura e de sua umidade, que precisam ser resolvidos a fim de evitar perda no resultado final (SHIRATSUCHI et. al., 2014).

A agricultura de precisão (AP), que tem o propósito de otimizar o lucro, produtividade, sustentabilidade e proteção do ambiente, consiste em conjunto de informações e tecnologias que objetiva um gerenciamento mais detalhado do sistema de produção agrícola (SHIRATSUCHI et al., 2014).

O uso de informações georreferenciadas trazem benefícios para o gerenciamento da agricultura. A utilização do Sensoriamento Remoto (SR), assim como da ferramenta de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) auxiliam no gerenciamento (EMBRAPA, 2019).

O Sensoriamento remoto é uma tecnologia capaz de capturar imagens em distância remota através de sensores para obter informações sobre a superfície terrestre. Os sensores são fixados em satélites ou aeronaves que emitem ondas para a superfície capazes de captarem imagens refletidas de maneiras espectrais distintas de acordo com o comprimento das ondas identificadas pelo sensor (NOVO et al., 2005).

O SIG, que também é uma das geotecnologias utilizadas na agricultura de precisão, é uma ferramenta que realiza o tratamento computacional de dados geográficos (CÂMARA et al., 2004). Através das informações geográficas é possível criar mapas temáticos, gráficos e tabelas.

A combinação de imagens de sensoriamento remoto em sistemas SIG permite a criação de assinaturas espectrais, determinação de índices de vegetação e classificação, sendo assim, a integração do sensoriamento remoto com o SIG é utilizada na agricultura de precisão para monitoramento das vegetações, detecção de pragas, controle da sua evolução, entre outros (CÂMARA et al., 2004).

Sendo assim, este trabalho tem como objetivo entender como os Sistemas de Informações Geográficas e o Sensoriamento Remoto podem colaborar para o desenvolvimento da Agricultura de Precisão. Para atingir este objetivo geral, este trabalho:

- identifica a área e o período de estudo para aplicar técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto na Agricultura de Precisão;
- verifica quais as bandas de Sensoriamento Remoto são utilizadas para agricultura;
- pesquisa e adquire conhecimento sobre o software de Sistema de Informações Geográficas e Sensoriamento Remoto que será utilizado no desenvolvimento do trabalho;
- mostra como são geradas Assinaturas Espectrais de elementos presentes no solo terrestre e como diferenciá-los;
- verifica como são criados os Índices de Vegetação e como eles podem ser aplicados na Agricultura de Precisão.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 SENSORIAMENTO REMOTO**

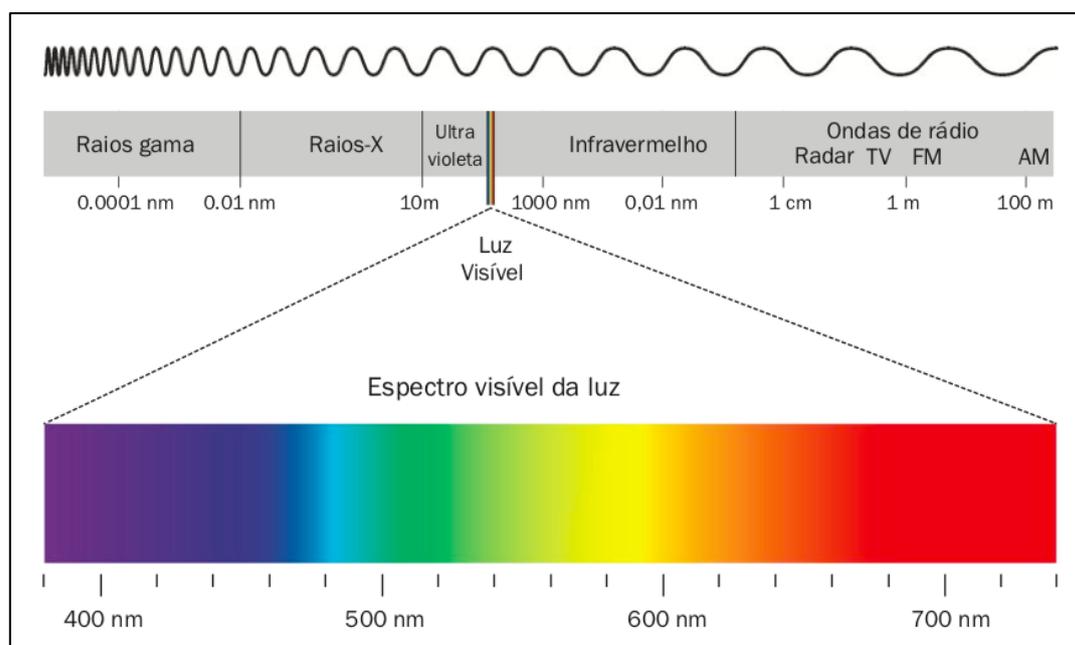
O princípio do sensoriamento remoto se iniciou com Isaac Newton (1642-1727), quando provou através de experimentos com lentes e prismas que a radiação solar visível nada mais é que a combinação de diversas cores e concluiu que a luz se comportava como onda (STEFFEN, 2018).

O sensoriamento remoto é uma tecnologia que se utiliza de energias refletidas pela superfície em diferentes comprimentos de ondas para formação de imagens. Essas energias, que são os meios de transmissão dos dados, podendo ser absorvidas ou refletidas pelos elementos, são denominadas de Radiação Eletromagnética (REM) (STEFFEN, 2018).

Os satélites utilizados para gerar as imagens de sensoriamento remoto são aqueles que possuem resolução espectral, ou seja, que possuem diversas bandas que são calculadas através dos comprimentos de ondas refletidas pela radiação eletromagnética da superfície (MENESES; ALMEIDA, 2012).

Os comprimentos das ondas no campo eletromagnético podem ser muito pequenos ou muito grandes, como observa-se na Figura 1, em que o espectro está dividido em bandas, podendo também observar os comprimentos e frequências das ondas eletromagnéticas.

Figura 1 - Comprimento de onda do espectro visível.



Fonte: Furian (2016).

A menor banda, chamada luz visível, representa as cores RGB, que é a parcela do espectro que o ser humano consegue ver a olho nú. A partir de combinações das bandas, como o próprio RGB, que é a junção das bandas *Red*, *Green*, *Blue*, pode-se gerar imagens coloridas, como as que capturamos em aparelhos eletrônicos. Cada uma das cores mencionadas anteriormente tem diferente comprimentos de onda. Como se observa, a onda da cor azul varia entre o intervalo de 350 nm a 500 nm, a da verde está entre 500 nm a 620 nm e por fim, a da cor vermelha varia entre 620 nm até 740 nm (MENESES; ALMEIDA, 2012).

## 2.2 SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

O Sistema de Informações Geográficas (SIG) é um conjunto de software, hardware e procedimentos utilizados para efetuar processamentos e análises de informações com referências geográficas. As informações geográficas ajudam na resolução de problemas (LAMBIAZZI; PAMBOUKIAN, 2016).

O SIG funciona em camadas (*layers*) que contém informações diferentes, tanto qualitativas como quantitativas. Existem dois tipos de camadas, as vetoriais (*shapefile*) e as matriciais (*raster*). As camadas vetoriais são feitas de feições (pontos, polígonos, linhas), para representar elementos do mundo real, sendo que cada feição pode possuir atributos, que descrevem um elemento através de textos ou números. As camadas *raster* são feitas por *pixels*, essas que representam imagens do mundo real (LAMBIAZZI; PAMBOUKIAN, 2016).

O *Quantum Geographic Information System* (QGIS), é um *software* de sistema de informações geográficas com disponibilidade gratuita que realiza processamentos de dados georreferenciados. A partir do *plugin* do *software* QGIS, nomeado de *Semi-Automatic Classification Plugin* (SCP), pode-se criar as assinaturas espectrais e realizar classificações supervisionadas (CONGEDO, 2018).

As informações obtidas pelas imagens de SR podem ser analisadas e manipuladas pelos SIGs, sendo assim, a integração dos SIGs com o SR pode ser utilizada para mapeamento do solo, cobertura e uso de terra, mapeamento de áreas degradadas, entre outros (SILVA, 2013).

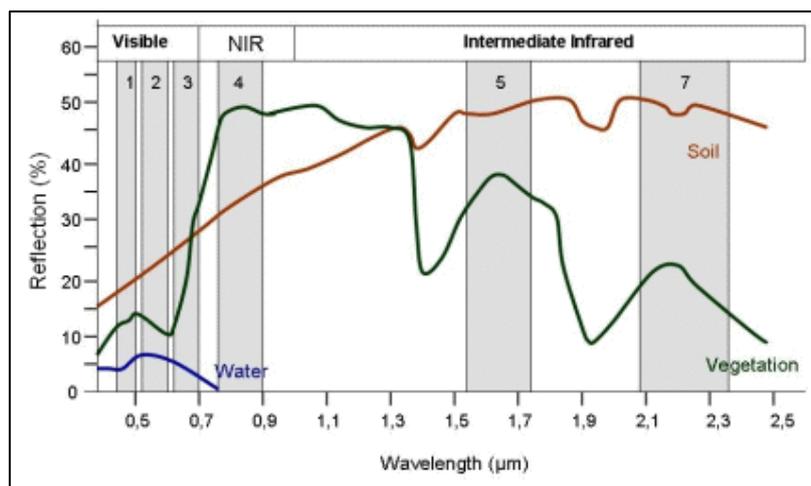
## 2.3 ASSINATURAS ESPECTRAIS

Parte da radiação em contato com algum objeto é refletida e parte absorvida. Quando a energia reflete ela pode ser analisada pelas assinaturas espectrais, podendo identificar um objeto pela quantidade de energia refletida. Já a energia absorvida ocorre quando parte da luz solar é armazenada por um objeto, transformando a energia em calor (STEFFEN, 2018).

A refletância de um objeto varia conforme as diferentes bandas que compõem o espectro eletromagnético. A curva que mostra a variação em cada comprimento de onda é denominada de assinatura espectral (STEFFEN, 2018).

Nas plantas, as bandas RGB são de menores refletância, que são produzidas por pigmentos da folha, enquanto a banda do infravermelho (IR), que tem maior refletância, está associada com os aspectos fisiológicos da folha. Esses valores diferentes da refletância em cada uma das bandas resultam em uma assinatura espectral, como mostrado na Figura 2 (STEFFEN, 2018).

Figura 2 - Assinaturas espectrais de vegetação, solo e água.



Fonte: Siegmund e Menz (2005).

Podem afetar diretamente as assinaturas espectrais os elementos presentes nas plantas, já que se relacionam com suas características e seu desenvolvimento. Dentro desses elementos há 3 que são utilizados em grandes quantidades, sendo eles o nitrogênio, fósforo e potássio (SFREDO; BORKERT, 2004).

O nitrogênio é a segunda substância mais importante para as plantas, sendo a água a mais importante. O nitrogênio tem grande influência para o processo de fotossíntese, além de auxiliar o desenvolvimento dos tecidos das plantas, e, sendo assim, interferem na pigmentação da mesma. Caso falte nitrogênio, as colorações das folhas mais velhas tendem a amarelar, e pela falta da clorofila, as plantas perdem a coloração esverdeada (SFREDO; BORKERT, 2004).

O fósforo tem relação com a produção de energia da planta e com a divisão celular. Auxilia o crescimento das raízes e faz a vegetação suportar condições climáticas amenas. A falta do mesmo pode trazer coloração de verde escuro, quando representadas por idades menores, as plantas perdem a coloração esverdeada (SFREDO; BORKERT, 2004).

O potássio tem influência direta no processo de fotossíntese e auxilia a vegetação com um metabolismo estável, podendo melhorar o controle de pragas. Sua falta pode resultar em queda de rendimento e qualidade, tendo acesso mais frágil as pragas e reduzindo sua vida útil (SFREDO; BORKERT, 2004).

## 2.4 ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

Com o objetivo de mapear a densidade de vegetação verde na terra, foram feitos estudos baseados nos comprimentos de ondas e intensidade de REM refletida na luz visível e no infravermelho. Foi denominado de índice de vegetação a quantificação da densidade de folhas verdes ao longo de uma área (WEIER; HERRING, 2000).

Quando a luz atinge objetos, parte da radiação é absorvida e parte refletida. Nas plantas, a clorofila absorve fortemente a luz visível (de 0,4 a 0,7 µm) para seu uso na fotossíntese. Esta absorção possui picos nas bandas do vermelho e do azul, assim possuindo maior refletância no verde, que dá o aspecto verde para a vegetação (ROSENDO, 2005). A estrutura celular das plantas reflete grande parte da REM no infravermelho. Conforme mais folhas tem a vegetação, mais os comprimentos de onda são afetados (WEIER; HERRING, 2000).

Quando há maior radiação refletida nos comprimentos de onda do infravermelho próximo em relação aos comprimentos do RGB, a vegetação correspondente possivelmente será densa, sendo que sua densidade será maior conforme a diferença dos valores de radiação refletida também aumentem (WEIER; HERRING, 2000).

Os índices de vegetação são calculados através dos comprimentos de ondas da luz visível e do infravermelho próximo, ressaltando valores na região do espectro onde há grande variação de radiação refletida, podendo observar determinadas propriedades da vegetação (WEIER; HERRING, 2000).

Um dos índices de vegetação é o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), que foi um cálculo proposto por Rouse et al. (1973) que separa a vegetação verde do brilho de solo de fundo, indicando a quantidade e condição da vegetação (GAMEIRO, 2015). Ele é calculado através da razão entre as diferenças das refletâncias das bandas no infravermelho próximo e vermelho pela soma das mesmas.

$$NDVI = \frac{(IVP - V)}{(IVP + V)} \quad (1)$$

Onde:

IVP representa a banda do infravermelho próximo;

V representa a banda do vermelho.

Os resultados do NDVI variam sempre entre os valores de menos um (-1) a mais um (+1). Os valores negativos são associados a áreas de água, neve e nuvens, pois refletem mais radiação na banda do vermelho. Valores próximos a zero indicam áreas de solo exposto, enquanto os valores mais próximos a +1 indicam áreas com vegetação densa (CRUZ et al., 2011).

## 2.5 CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA

A classificação realiza a interpretação de uma área identificando e classificando cada um dos elementos através de imagens de sensoriamento remoto (INPE, 2019). Faz a associação de cada pixel da imagem a um rótulo, tendo como base a análise de seus comportamentos espectrais. Quando a classificação é feita para todos os pixels de uma imagem, resulta em um mapa temático, que permite

a análise dos elementos presentes, podendo visualizar e calcular as áreas de cada um dos elementos (CROSTA, 1992).

Existe a classificação supervisionada e a não supervisionada. A classificação supervisionada diferencia-se da não supervisionada, pois há a necessidade que se conheça algum elemento da área a ser classificada. Essas áreas conhecidas podem então serem utilizadas como padrões, e as outras serão comparadas a essas áreas já conhecidas para serem classificadas (CROSTA, 1992).

Existem diversos métodos de se realizar a classificação supervisionada, entre eles há o método das distâncias mínimas. O método da distância mínima atribui a classe ao *pixel* analisando as distâncias espectrais e verificando suas médias, classificando conforme essa distância seja mais próxima (CROSTA, 1992).

### 3 MATERIAS E MÉTODOS

O trabalho foi dividido em dois estudos, um para o acompanhamento das culturas e o outro para distingui-las. Para a realização do trabalho foram seguidas as etapas de determinação do local de estudo, escolha do período, seleção das imagens de sensoriamento remoto, pré-processamento das imagens em sistema SIG e a geração das assinaturas espectrais, da classificação supervisionada e do índice de vegetação NDVI.

Para a escolha do local de estudo foi determinada uma área com a presença de diferentes culturas, sendo escolhida a área de uma fazenda na cidade de Tremembé, demonstrada na Figura 3. Tremembé é uma cidade que está localizada na região do Vale do Paraíba, entre a depressão do rio Paraíba do Sul e a Serra da Mantiqueira. Essa região possui presença de várias áreas de várzeas, que são utilizadas para agricultura.

A área da fazenda é utilizada para agricultura, possuindo culturas de arroz, milho e soja, que revezam suas áreas de cultivo conforme a época do ano.

Figura 3 – Área de estudo na cidade de Tremembé.



Fonte: Google Earth (2019).

A fazenda, de acordo com o sistema de coordenadas SIRGAS 2000 UTM 23S, está localizada aproximadamente a 438974,992461 m no eixo X, e em 7461302,64559 m no eixo Y e possui cerca de 499,6 hectares, dos quais 328,6 são utilizados para agricultura.

Na determinação do período de estudo, foi escolhida a época de safra de verão para as culturas, ocorrida entre o final de 2018 e começo de 2019. Os meses estudados, que é o período de dezembro de 2018 a fevereiro de 2019, é a época com maior quantidade de áreas preenchidas pelas vegetações. No clima da região para a época escolhida foi constatado para o mês de dezembro o índice de precipitação de chuva de 140 mm, para o mês de janeiro foi registrado em torno de 231 mm, e em fevereiro 237 mm (INMET, 2019).

Foram recolhidos com o agricultor dados de cada uma das áreas de cultivo para cada mês, indicando as culturas presentes para o período de julho de 2018 a abril de 2019, com o objetivo de se obter os períodos de início e fim para cada cultura, como mostrado na Figura 4.

Figura 4 - Ciclo das culturas na área estudada.

Cultivo/Ano	2018						2019			
	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril
Arroz										
Milho										
Soja										

Fonte: Elaboração própria.

Para a escolha das imagens de sensoriamento remoto para o desenvolvimento do projeto foi definido o uso do satélite Sentinel-2, pois é um dos satélites que possui as melhores resoluções entre os gratuitos, além de possuir diversas bandas do intervalo espectral necessário para o estudo, que podem ser observadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Bandas do satélite Sentinel-2.

Nome da Banda	Número	Comprimento de Onda (µm)
Blue	2	0,490
Green	3	0,560
Red	4	0,665
Red Edge 1	5	0,705
Red Edge 2	6	0,740
Red Edge 3	7	0,783
Near Infrared	8	0,842
Red Edge 4	8A	0,865
Short-Wave Infrared 1	11	1,610
Short-Wave Infrared 2	12	2,190

Fonte: Adaptado de Earth Observation Portal (2019).

As bandas representadas pela Tabela 1 são as que interferem nos valores das refletâncias para a agricultura. No intervalo espectral analisado as refletâncias das bandas se distinguem por três comportamentos distintos, sendo um na região do visível (bandas 2, 3 e 4), outro na região do infravermelho próximo (bandas 5, 6, 7, 8, 8A) e o último na região do infravermelho de ondas curtas (bandas 11 e 12).

Na região do visível, há duas bandas com intensa quantidade de absorção de radiação eletromagnética, que são as bandas do azul e do vermelho, essa absorção acontece pelas clorofilas A e B das plantas, que reagem no intervalo dessas bandas. Como a região do RGB está associada com a pigmentação e a banda verde é a que tem maior radiação refletida, a coloração das plantas saudáveis geralmente são verdes. Quando a vegetação está com falta de água ou ressecada, há uma queda da quantidade de clorofila produzida pelas plantas, que resulta em aumento da radiação eletromagnética refletida (JENSEN, 1983).

A região do infravermelho próximo é caracterizada pela sua alta refletância, relacionada a quantidade de biomassa produzida pelas plantas. Pois através do espaço entre as células do mesófilo das plantas que ocorre a variação da quantidade de radiação refletida no infravermelho próximo, quanto maior o espaço intercelular, maior a refletância (JENSEN, 1983).

A região do infravermelho de ondas curtas está associada a absorção de água nas plantas. Conforme maior a quantidade de água absorvida pela folha menor sua refletância (JENSEN, 1983).

Para a extração das imagens de sensoriamento remoto foi utilizado o site <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>, onde foi possível fazer o *download* das imagens do satélite Sentinel-2 com as datas mostradas na Tabela 2, já que não possuíam muita cobertura de nuvens.

Tabela 2 - Datas das imagens estudadas.

DATAS	SATÉLITE	NÍVEL
13/11/2018	Sentinel-2A	1C
13/12/2018	Sentinel-2A	2A
07/01/2019	Sentinel-2B	2A
01/02/2019	Sentinel-2A	2A
23/03/2019	Sentinel-2A	2A

Fonte: Elaboração própria.

Como mostrados na Tabela 2, onde as imagens foram obtidas através de dois satélites, o Sentinel-2A e o Sentinel-2B, verificou-se que estes dois formam a constelação da missão do Sentinel-2. A princípio foi lançado o satélite Sentinel-2A em 2015 para o programa Copernicus, com o objetivo de fornecer imagens da faixa visível ao infravermelho do espectro eletromagnético. Dois anos depois,

é lançado o satélite Sentinel-2B, formando uma constelação de dois satélites idênticos voando na mesma órbita, com a diferença de cobertura de área de 180° do Sentinel-2A, podendo assim cobrir toda a área da superfície terrestre em apenas cinco dias, gerando dados ideais para estudos, especialmente agrícolas (EARTH OBSERVATION PORTAL, 2019).

Na diferença dos níveis do satélite Sentinel-2, verificou-se que os produtos do Level-1C são organizados em cenas ortorretificadas, que é a retificação da imagem com o objetivo de remover os efeitos da inclinação, deriva, variações de altitude da câmera aérea e deslocamentos devidos ao relevo. Bem semelhantes ao Level-1C, os produtos do Level-2A também são organizados em cenas ortorretificadas, mas com a correção atmosférica já feita, que é a composição de diferentes correções como a óptica de aerossóis, detecção de nuvens, classificação de cena e vapor de água (GDAL, 2019).

Após o download das imagens, foi realizado o pré-processamento das imagens através do *semi-automatic classification plugin* (SCP) no *software* QGIS 2.18. O pré-processamento envolve o tratamento das imagens de sensoriamento remoto, sendo realizados os processos de correção atmosférica e correção do valor de quantificação. A correção atmosférica foi realizada apenas para a imagem do dia 13/11/2018, pois as outras imagens por serem de nível 2A, já possuíam o processo de correção realizado. O processo de correção do valor de quantificação foi realizado em todas as imagens para o ajuste dos valores de refletância.

Para a realização das assinaturas espectrais foi utilizado o *sistema* de informações geográficas QGIS 2.18, sendo feito pelo *semi-automatic classification plugin*.

Foram colhidas assinaturas espectrais para todas as plantações estudadas e durante o período dos meses de dezembro de 2018, janeiro e fevereiro de 2019 por serem os meses da safra de verão das culturas do arroz, milho e soja. Não foram colhidas assinaturas para os meses de novembro de 2018 e março de 2019 pois possuíam poucas áreas com cultivos.

No acompanhamento da evolução dos cultivos, foram colhidas assinaturas espectrais de três áreas distintas, mostradas na Figura 5, durante o período de dezembro de 2018 a fevereiro de 2019, sendo que cada área representa um dos cultivos estudados.

Na distinção das culturas de arroz, soja e milho, foram colhidas assinaturas espectrais de cada uma das culturas em áreas representadas por valores de NDVI aproximados a 0,750 e 0,875, a fim de verificar qual cultura refletia mais em cada uma das bandas.

Figura 5 - Escolhas das áreas para estudo.



Fonte: Elaboração própria.

Para a realização do cálculo do índice de vegetação NDVI foi utilizada a calculadora *raster* dentro do *software* QGIS 2.18. Utilizou-se de imagens dos períodos de novembro de 2018 a março de 2019 demarcadas apenas pela área de estudo. Para melhor análise do mapa temático gerado pelos valores do NDVI foi utilizada a composição de cores falsa-cor, dividida em 11 cores diferentes e em intervalos de valores iguais a 0,2, como pode ser visto na Figura 6.

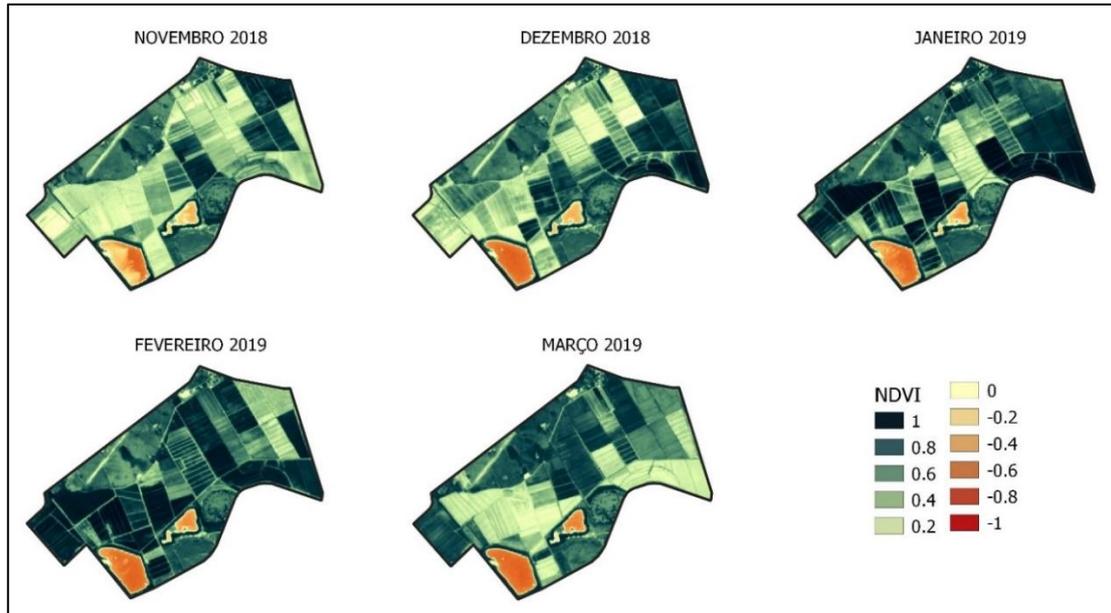
Sabendo que há diferenças de refletâncias nas bandas para diferentes culturas, foi realizada a classificação supervisionada da área de estudo. Foi utilizado o *semi-automatic classification plugin* através do QGIS 2.18, e a classificação foi feita pelo método das distâncias mínimas.

Para a classificação da área de estudo, que apresenta os cultivos, foram criadas macroclasses para o arroz, soja, milho, água, grama e soca, e foram criadas classes numeradas a partir de 1 para diferentes áreas de cada um desses elementos. A classificação supervisionada foi realizada através do método das distâncias mínimas pela divisão das macroclasses. A imagem utilizada para a classificação foi de fevereiro de 2019, que é a época com maior quantidade de plantações presentes no terreno.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a análise do estudo das evoluções dos cultivos, houve auxílio dos índices do NDVI, mostrados na Figura 6.

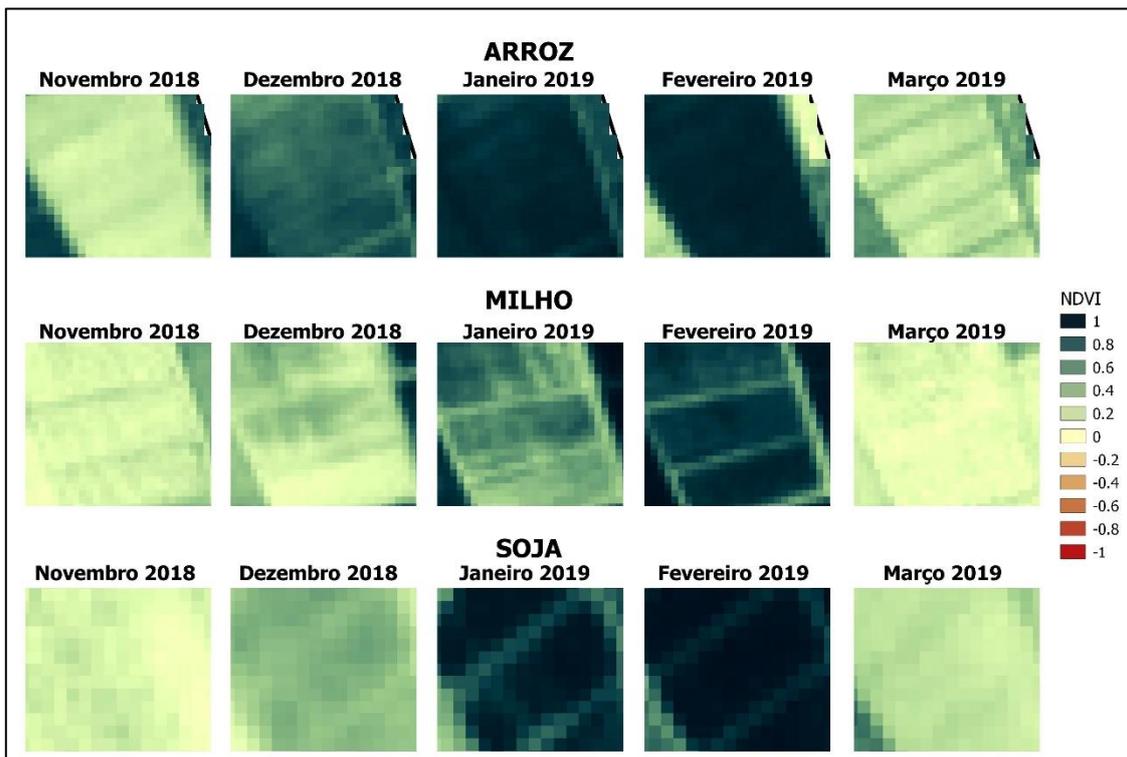
Figura 6 - NDVI dos ciclos de arroz, milho e soja



Fonte: Elaboração própria.

Através da Figura 6, que mostra o NDVI da área de estudo para os meses de novembro de 2018 a março de 2019, é possível verificar o período da safra de verão. Observa-se várias colheitas ocorridas já no mês de março, e que o mês de fevereiro é o que há maior presença de vegetação densa na área de estudo.

Figura 7 - NDVI das áreas dos ciclos de arroz, milho e soja

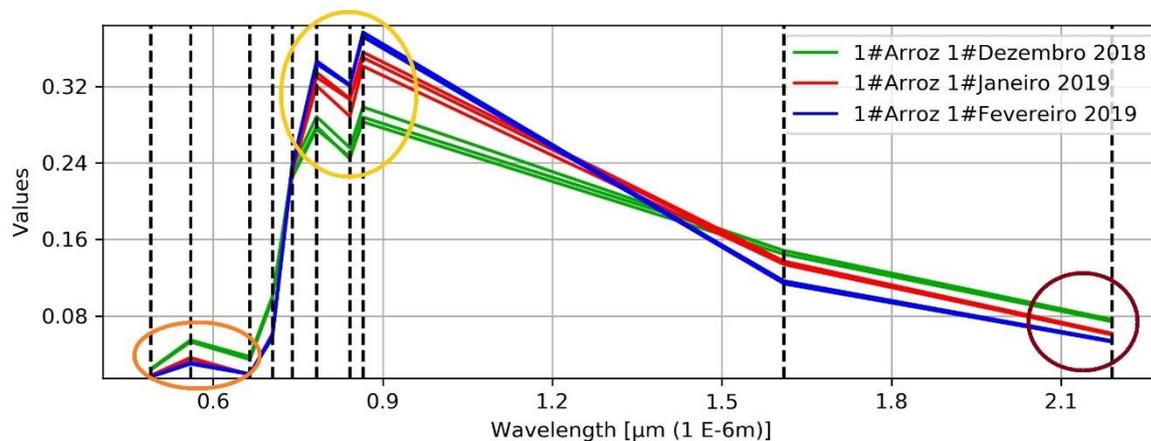


Fonte: Elaboração própria.

Na área de cultivo de arroz mostrada na Figura 7, percebe-se uma vegetação mais densa já a partir do mês de dezembro, com valores aproximados a 0,6, e com valores aproximados a 1 nos meses de janeiro e fevereiro. O cultivo da soja apresenta valores menores de NDVI no mês de dezembro, próximo a 0,4, em com grande crescimento em seu valor no mês de janeiro, aproximando-se de 1. Enquanto o cultivo do milho, é o que apresentou o menor desenvolvimento nos primeiros meses, com valores baixos do NDVI em dezembro e janeiro, entretanto com apresentou grande crescimento em fevereiro, aproximando-se do valor de 0,8.

Foram obtidas as assinaturas das respectivas áreas para o período determinado para a análise de seus desenvolvimentos. A Figura 8 apresenta as assinaturas espectrais para uma única área do cultivo de arroz, durante o período de primeira safra, coletado os dados de dezembro de 2018 até fevereiro de 2019.

Figura 8 - Evolução das assinaturas espectrais do arroz durante o ciclo de plantio.



Fonte: Elaboração própria.

É possível observar um pico da banda verde nos três meses na região do RGB, indicado na Figura 8 pela elipse cor laranja. Há uma variação ocorrida na refletância entre os meses, sendo maior no mês de dezembro e menor nos meses de janeiro e fevereiro, podendo ocorrer devido a diferença de idade do cultivo.

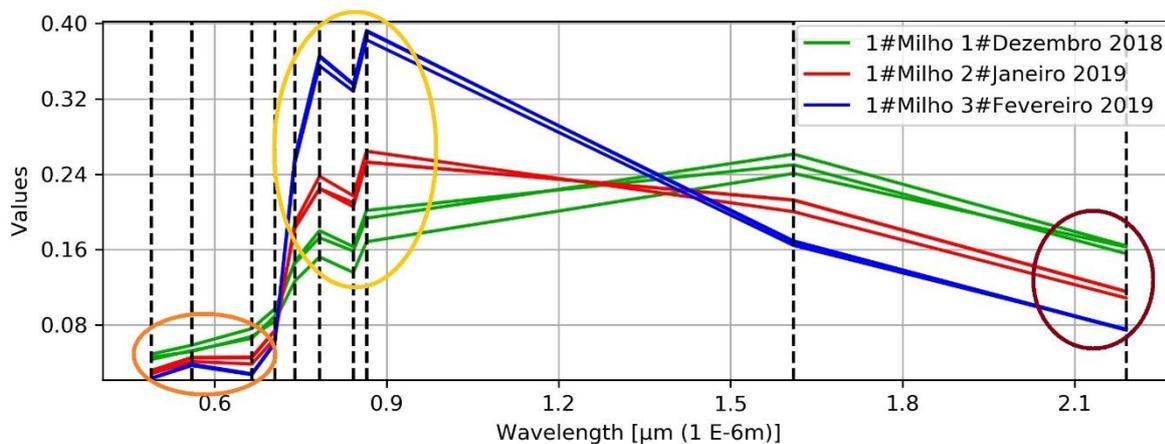
Observa-se o aumento da radiação eletromagnética na região do infravermelho próximo, indicado na Figura 8 pela elipse cor amarela, sendo que os valores variam aproximadamente 28% de refletância no mês de dezembro de 2018 a 38% no mês de fevereiro de 2019, sendo que há uma pequena diferença da refletância entre os meses de janeiro e fevereiro de 2019. A região do infravermelho próximo é a que possui os maiores valores de refletância entre todas as bandas no período analisado.

A região do infravermelho de ondas curtas, indicado na Figura 8 pela elipse cor vermelho escuro, analisa absorção de água nas plantas, e apesar de valores próximos, observa-se que o mês de

dezembro é o que possui maior refletância, estando menos hidratado, enquanto o mês de fevereiro é o que possui menor refletância, estando mais hidratado. Verifica-se que a absorção de água aumenta conforme a evolução do cultivo.

A Figura 9 apresenta uma grande variação entre as assinaturas espectrais do milho nos três meses estudados em todas as bandas, diferentemente do cultivo do arroz.

Figura 9 - Evolução das assinaturas espectrais do milho durante o ciclo de plantio.



Fonte: Elaboração própria.

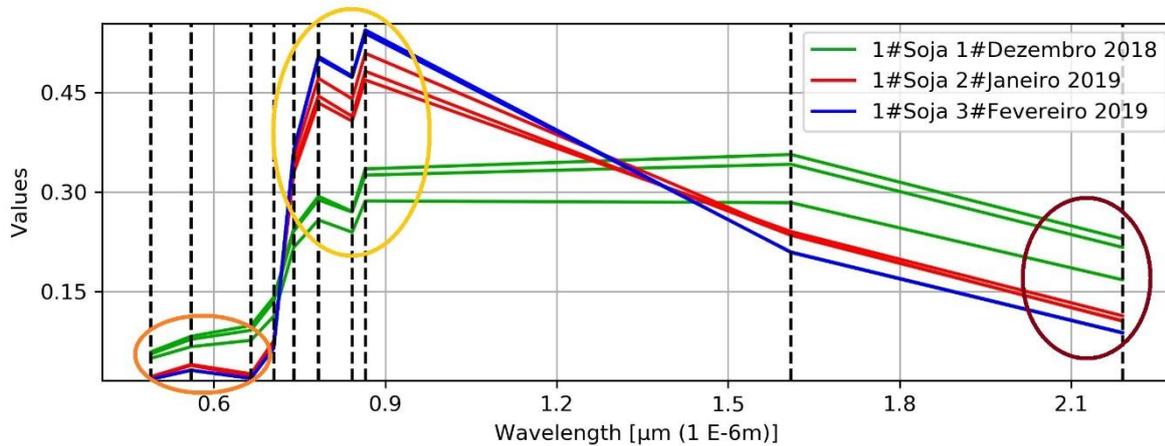
A região do RGB, indicado na Figura 9 pela elipse cor laranja, mostra diferentes assinaturas, no mês de dezembro é visível que a banda do vermelho é a que apresenta maior refletância, fazendo com que a vegetação não possua coloração verde, podendo a planta estar ressecada, que pode ocorrer também devido à baixa idade. O mês de janeiro apresenta valores próximos nas bandas verde e vermelho, enquanto o mês de fevereiro é o único que apresenta um pico na banda verde, sendo o único mês com vegetação esverdeada.

A faixa do infravermelho próximo, indicado na Figura 9 pela elipse cor amarela, é a que apresenta maior variação dos valores de refletância, sendo que esse valor aumenta conforme o decorrer do tempo. No mês de fevereiro, onde o cultivo está mais avançado, observa-se um valor próximo a 40% da refletância, enquanto nos meses de dezembro e janeiro esses valores são cerca de 20% e 25%.

Há uma grande variação também na faixa do infravermelho de ondas curtas, indicado na Figura 9 pela elipse cor vermelho escuro, devido a diferença de umidade nas plantas para cada época. Nota-se que conforme o cultivo possui uma idade menos avançada, sua umidade é menor, possuindo plantas mais ressecadas, e conforme sua idade vai avançando, a umidade das plantas também aumenta. As plantas mais ressecadas tendem a ter um aspecto amarelado, que é percebido pela assinatura de dezembro, que possui as plantas mais ressecadas e também possui seu pico na região do RGB na banda do vermelho, cedendo esse aspecto.

A Figura 10 mostra a evolução das assinaturas espectrais da soja nos meses estudados. Observando-se grande variação da assinatura do mês de dezembro em comparação a janeiro e fevereiro.

Figura 10 - Evolução das assinaturas espectrais da soja durante o ciclo de plantio.



Fonte: Elaboração própria.

Na região do RGB, indicado na Figura 10 pela elipse cor laranja, nota-se que o mês de dezembro possui a maior refletância na banda do vermelho, já os meses de janeiro e fevereiro, que possuem assinatura parecidas, possuem um pico na banda verde.

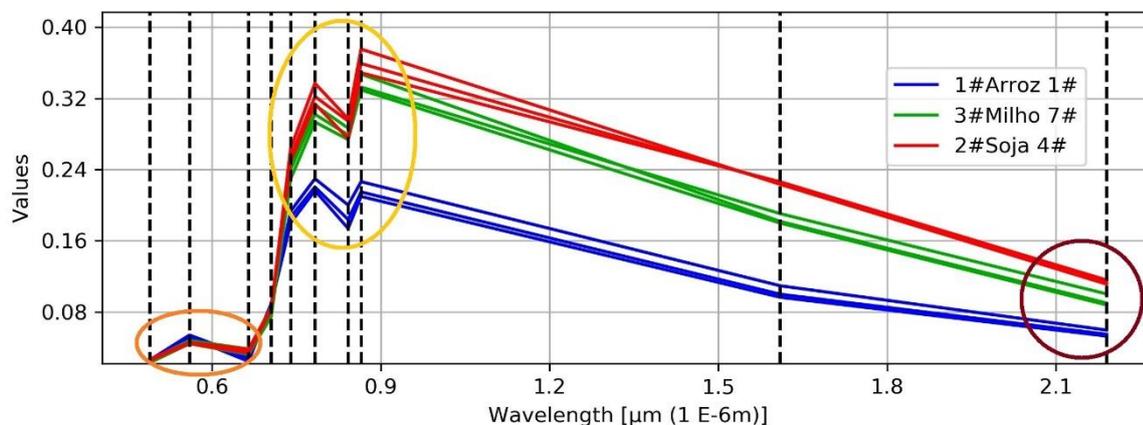
Na região do infravermelho próximo, indicado na Figura 10 pela elipse cor amarela, é possível perceber que no mês dezembro a refletância possui um valor menor se comparado aos meses posteriores, com aproximadamente 30%. Nos meses de janeiro e fevereiro a região do infravermelho próximo é a que mais reflete entre as bandas analisadas, com valores aproximados a 50% e 60%, possuindo esse crescimento no decorrer do tempo.

As assinaturas espectrais nos meses de janeiro e fevereiro do cultivo de soja se assemelham em todas as bandas analisadas, há pouca variação entre elas. Na região do infravermelho de ondas curtas, indicado na Figura 10 pela elipse cor vermelho escuro, a maior diferença está na assinatura do mês de dezembro, apresentando maiores refletâncias com valores de até 20%, retratando plantas mais ressecadas.

Quando analisado os resultados obtidos pelo NDVI em relação aos resultados mostrados pelas assinaturas espectrais, verifica-se que os valores de NDVI baixos normalmente retratam vegetações mais ressecadas e com coloração amarelada. Conforme maior o valor do NDVI, menos ele reflete na banda do vermelho e mais reflete na banda do infravermelho próximo, além de apresentar também as plantas com maior umidade.

Para a análise da distinção das culturas foram geradas as Figuras 11 e 12. A Figura 11 mostra as assinaturas espectrais das diferentes culturas, sendo o arroz, o milho e a soja, sendo que as áreas escolhidas para a distinção possuíam valores de NDVI próximos a 0,750.

Figura 11 - Comparação das assinaturas espectrais para NDVI aproximado no valor de 0,750 do plantio de arroz, milho e soja.



Fonte: Elaboração própria.

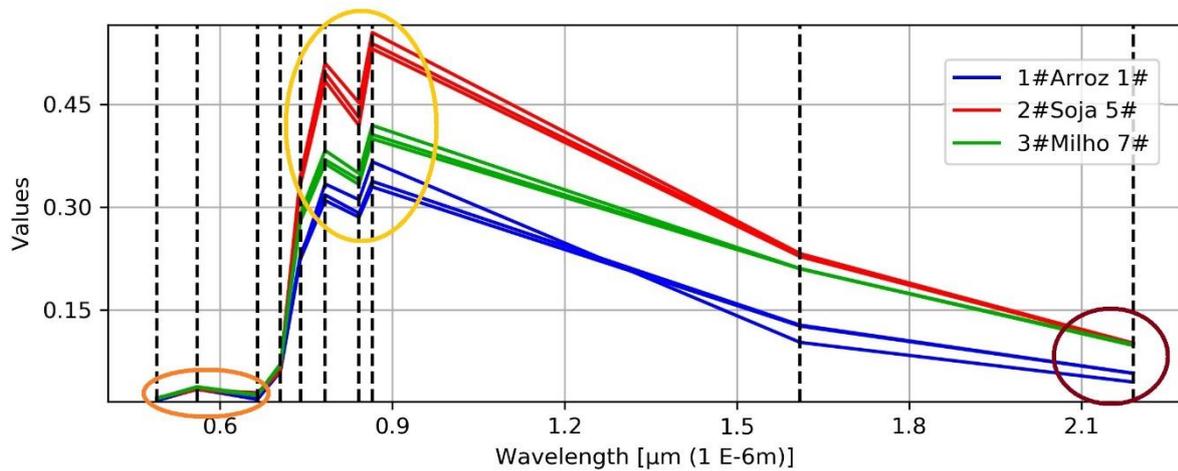
Na região do RGB, indicada na Figura 11 pela elipse de cor laranja, nota-se um pico na banda verde para os três cultivos. O arroz apresenta um valor maior na banda verde e um valor menor, próximo a 0, na banda do vermelho quando comparado a soja e ao milho, que apresentam assinaturas mais semelhantes.

Percebe-se que o arroz apresenta menor refletância na faixa do infravermelho próximo, indicada na Figura 11 pela elipse de cor amarela, com valor aproximado de 24% na banda em que mais reflete. Assim como na região do RGB, a soja e o milho apontam valores parecidos, com cerca de 36% e 33% nas bandas em que mais refletem, possuindo números bem acima do arroz.

Na região do infravermelho de ondas curtas, indicada na Figura 11 pela elipse de cor vermelho escuro, verifica-se uma diferença nas assinaturas, onde a soja apresenta as plantas com menos umidade, e o arroz as plantas com mais umidade.

Na Figura 12 observa-se os valores de NDVI aproximados a 0,875 para cada cultivo da área de estudo.

Figura 12 - Comparação das assinaturas espectrais para NDVI aproximado no valor de 0,875 do plantio de arroz, milho e soja.

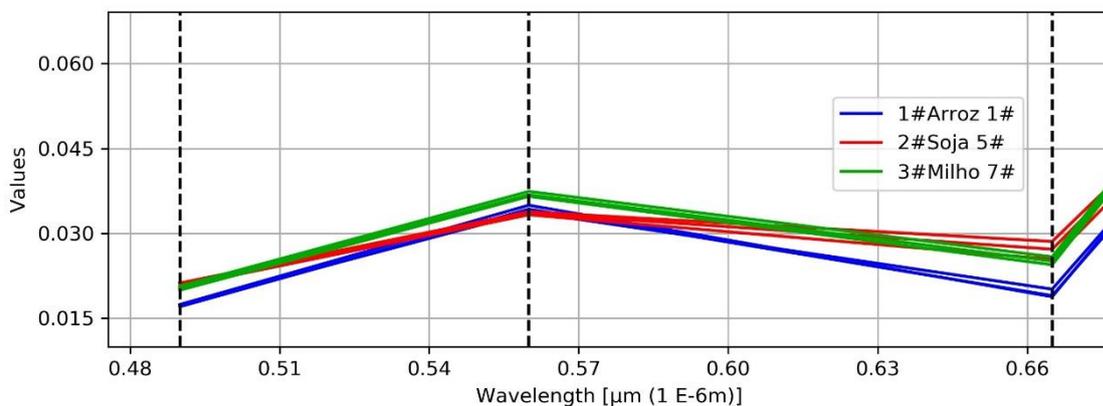


Fonte: Elaboração própria.

Observa-se na Figura 12 valores muito semelhantes na faixa do RGB, demarcada pela elipse de cor laranja, e a partir do infravermelho próximo, demarcado pela elipse de cor amarela, as assinaturas se diferenciam. Por não haver diferenças de refletância entre as culturas na região do RGB, há dificuldade para diferenciá-las por apresentarem pigmentações parecidas.

Pode-se ver na Figura 13 como as diferenças são mínimas. Quanto maior os valores do NDVI, mais próximos são as refletâncias na região do RGB.

Figura 13 - Comparação das assinaturas espectrais na região do RGB para NDVI aproximado no valor de 0,875 do plantio do plantio de arroz, milho e soja.



Fonte: Elaboração própria.

Percebe-se que o arroz é o que possui menores valores nas bandas azul e vermelho, entretanto são diferenças quase desprezíveis, de menos de 1%.

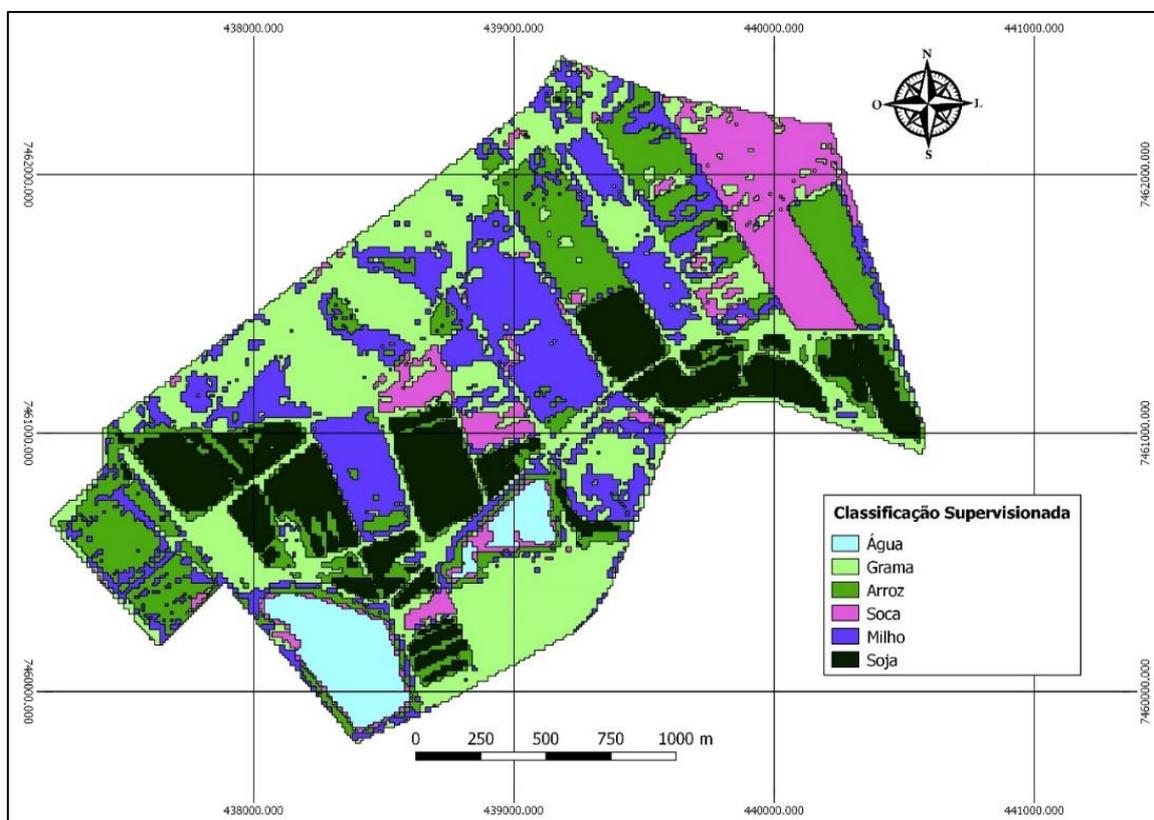
Na região do infravermelho próximo, indicada na Figura 12 pela elipse de cor amarela, pode-se distinguir cada cultivo, sendo que a soja é a que apresenta os maiores valores de refletância, com

aproximadamente 60%, seguido pelo cultivo de milho, com cerca de 40%, e o arroz com cerca de 35%.

Na faixa do infravermelho de ondas curtas, indicada na Figura 12 pela elipse de cor vermelho escuro, volta a se observar valores idênticos de refletância nos cultivos de milho e soja, com valores de 10%, enquanto a plantação de arroz, assim como mostrado também na Figura 11, é a plantação que possui o menor índice de refletância, com cerca de 5%, e, portanto, apresenta as folhas mais úmidas.

Através dos resultados obtidos pelas assinaturas espectrais, em que foi verificado que há diferenças de refletâncias dos cultivos nas bandas estudadas, foi gerada para a área de estudo uma classificação supervisionada do mês de fevereiro de 2019 com o objetivo de diferenciar as culturas. Foram analisadas as áreas de água, grama, arroz, soja, milho e soca, sendo colhidas mais de uma assinatura já que foi analisado que as mesmas variam conforme suas idades.

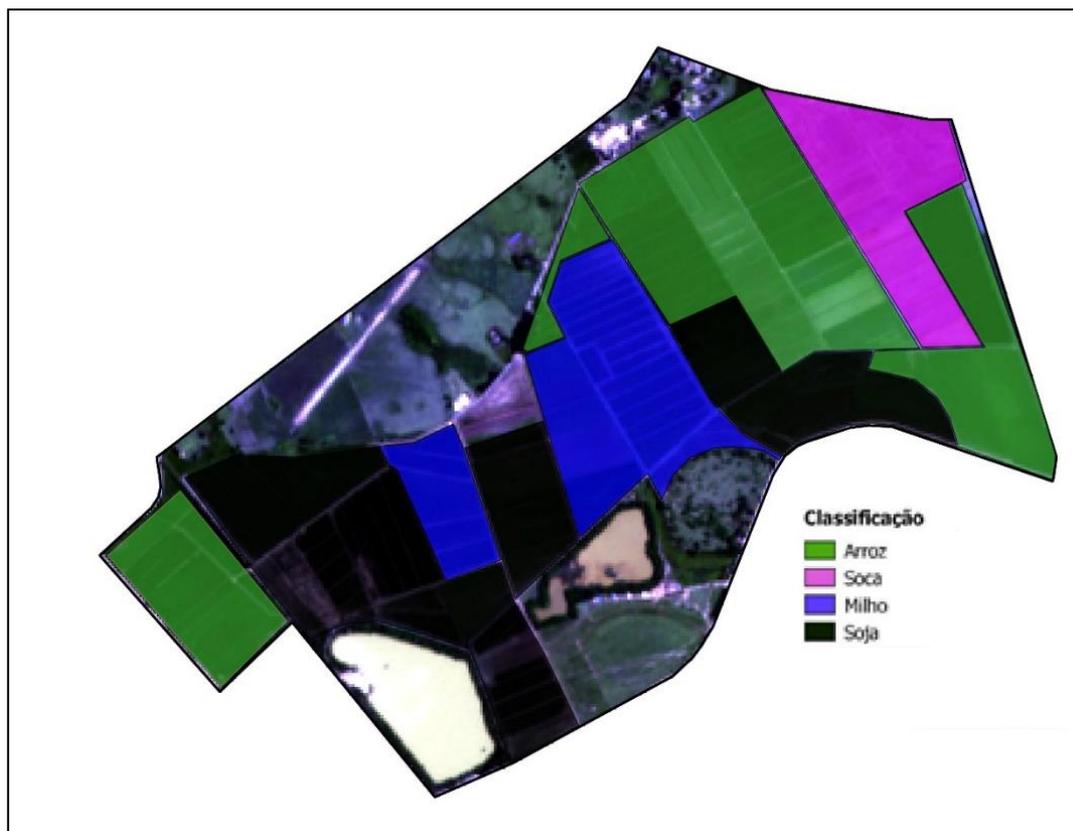
Figura 14 - Classificação supervisionada do mês de fevereiro para as áreas de água, grama, arroz, soca e milho.



Fonte: Elaboração própria.

A Figura 14 mostra a classificação gerada através do método das distâncias mínimas. Com o mapa das plantações com informações adquiridas do agricultor, mostrada na Figura 15, é possível comparar todas as áreas, observando-se alguns resultados semelhantes e outros distintos.

Figura 15 - Classificação supervisionada do mês de fevereiro de acordo com o relato do agricultor.



Fonte: Elaboração própria.

Através da Figura 15, observa-se as diferenças relacionadas a classificação supervisionada gerada. No canto esquerdo observa-se áreas de arroz que na classificação foi mostrada como áreas de milho. Houve também áreas de soca dentro das áreas de milho, bem como áreas de soja nas áreas de milho. Houveram também áreas com os cultivos de arroz, soja e milho que foram apresentadas como áreas de grama, possivelmente ocasionado devido ao menor valor do NDVI nessas áreas, que resulta na menor refletância do infravermelho próximo. Entretanto, apesar de diferenças nos resultados apresentados, a maior parte está preenchida corretamente pelas áreas fornecidas pelo agricultor, que mostra que é possível diferenciar as culturas, principalmente se fossem plantadas em um mesmo período, já que os erros acontecem devido as variações nas assinaturas de um mesmo cultivo.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através das análises de como se desenvolve as assinaturas durante o período de safra das culturas e da análise de como é possível diferencia-las, é mostrado com a utilização das tecnologias de sensoriamento remoto e do sistema de informações geográficas podem auxiliar na agricultura de precisão.

Verificou-se que o índice de vegetação NDVI aumenta conforme a idade da plantação, e, portanto, caso o mesmo não demonstre um crescimento, é porque provavelmente houve algo em

determinada área. O NDVI é baseado nos valores das bandas vermelho e infravermelho próximo, sabendo que valores maiores de refletância no vermelho podem ocorrer devido à falta de alguns nutrientes ou plantas ressecadas, esses podem ser alguns dos motivos no não crescimento do índice.

Nota-se também que os cultivos apresentam plantas menos hidratadas nos primeiros meses, tornando-se mais hidratadas nos meses posteriores, além de apresentarem pico na região do RGB no vermelho no início do cultivo, que posteriormente passará a ter o pico na banda verde.

Para a distinção das culturas foi analisado que o cultivo de soja é o que possui a maior refletância no geral, com aproximadamente 60% no infravermelho próximo, seguido pelo milho com cerca de 40%, e o arroz sendo o cultivo que menos reflete radiação, com cerca de 35%. Pode-se diferenciar o cultivo do arroz também pela região do RGB, sendo o que apresenta menores valores de refletâncias nas bandas do azul e vermelho, além de poder diferencia-lo na região do infravermelho de ondas curtas, sendo o que menos reflete, mostrando-se sempre mais hidratado que a soja e o milho.

Os resultados obtidos podem auxiliar os agricultores no monitoramento e gerenciamento das safras, saber se o cultivo está pronto para colheita relacionando-o a resultados de outros períodos, além de identificar se houve problemas com doenças, pragas, umidade ou nutrientes através de alterações nas assinaturas e índices de vegetação, podendo solucionar em tempo mais curto e nas áreas sobre o qual foram afetadas, reduzindo quantidade de insumos e aumentando lucratividade.

## REFERÊNCIAS

- CÂMARA, G. et al. **Análise Espacial de Dados Geográficos**. Brasília: EMBRAPA, v. 1, 2004. p. 6-11.
- CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL- CNA. Panorama do Agro. CNA Brasil, 2017. Disponível em: <<https://www.cnabrazil.org.br/cna/panorama-do-agro>>. Acesso em: 05 nov. 2018.
- CONGEDO, L. **Semi-Automatic Classification Plugin Documentation**. [S.l.]. 2018.
- CROSTA, A. P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Campinas, v. 1, 1992. p. 107-133.
- CRUZ, M. A. S.; SOUZA, A. M. B.; JESUS, J. S. Avaliação da cobertura vegetal por meio dos Índices de Vegetação SR, NDVI, SAVI e EVI na bacia do rio Japarutuba-Mirim em Sergipe, 2011, Curitiba. **Anais XV**. p. 1357-1363.
- EARTH OBSERVATION PORTAL. Copernicus: Sentinel-2 — The Optical Imaging Mission for Land Services. **EARTH OBSERVATION PORTAL**, 2019. Disponível em: <<https://eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/content/-/article/sentinel2>>. Acesso em: 05 out. 2019.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Ciência que Transforma. **EMBRAPA**, 2019. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/grandes-contribuicoes-para-a-agricultura-brasileira/graos>>. Acesso em: 18 ago. 2019.
- FAOSTAT. Crops. **FAO**, 2017. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>>. Acesso em: 8 18 2019.
- FURIAN, P. H. **Espectro eletromagnético**. Disponível em: <<http://www.infoescola.com/fisica/espectro-eletromagnetico/>>. Acesso em: 15 set. 2018.
- GAMEIRO, S. et al. Avaliação da cobertura vegetal por meio de índices de vegetação (NDVI, SAVI e IAF) na Sub-Bacia Hidrográfica do Baixo Jaguaribe, CE. **Terrae**, Campinas, p. 15-22, 2015.
- GASQUES, J. G. et al. Desempenho e Crescimento do Agronegócio no Brasil. IPEA. Brasília, p. 39. 2004.
- GDAL. Sentinel2 - Sentinel-2 Products. **GDAL**, 2019. Disponível em: <<https://gdal.org/drivers/raster/sentinel2.html>>. Acesso em: 12 out. 2019.
- GOOGLE EARTH. Área de estudo na cidade de Tremembé. 2019. Disponível em: <<https://earth.google.com/web/@-22.95629789,-45.59249266,540.65291359a,5198.86347674d,35y,0h,0t,0r>>. Acesso em: 10 out. 2019.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2019. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=tempo2/previsaoPorTipo&type=estadual>>. Acesso em: 20 set. 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. Classificação de Imagens. **INPE**, 2019. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/classific.html>>. Acesso em: 15 set. 2019.

JENSEN, J. R. Biophysical Remote Sensing. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 73, n. 1, p. 111-132, 1983.

LAMBLIAZZI, G.; PAMBOUKIAN, S. V. D. Estudo Comparativo de Softwares de Geoprocessamento para Elaboração de Projetos de Engenharia. Iniciação Científica (Engenharia Civil) – Universidade Presbiteriana Mackenzie. São Paulo, p. 19. 2016.

MARCHEZAN, E.; AVILA, L. A. D.; WALTER, M. **Arroz: composição e características nutricionais**. 4. ed. Santa Maria: Ciência Rural, v. 38, 2008.

MENESES, P. R., ALMEIDA, T. Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto. Brasília: UNB, 2012.

NOVO, E. M. L. D. M. et al. Técnicas avançadas de sensoriamento remoto aplicadas ao estudo de mudanças climáticas e ao funcionamento dos ecossistemas amazônicos. *Acta Amazonica*, Goiânia, v. 35, n. 2, p. 259-272, 2005.

ROSENDO, J. D. S. Índices de Vegetação e Monitoramento do Uso do Solo e Cobertura Vegetal na Bacia do Rio Araguari-MG Utilizando Dados do Sensor Modis. Pós-Graduação (Geografia) – Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2005.

ROUSE, J. W. et al. **Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS**. In: Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, 3, Washington: Nasa, v. 1, p. 309-317, 1973.

SIEGMUND, A.; MENZ, G. Fernes nah gebracht–Satelliten-und Luftbildeinsatz zur Analyse von Umweltveränderungen im Geographieunterricht. **Geographie und Schule**, v. 154, n. 4, p. 2-10, 2005.

SHIRATSUCHI, L. S. et al. Sensoriamento Remoto: conceitos básicos e aplicações na Agricultura de Precisão. In: BERNARDI, A. C. D. C., et al. Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar. Brasília: Cubo, 2014. Cap. 4, p. 58-73, 2014.

SFREDO, G. J.; BORKERT, C. M. **Deficiências e Toxidades de Nutrientes em Plantas de Soja**. 1. ed. Londrina: EMBRAPA, v. 1, 2004.

SILVA, G. B. S. Sistema de Informação Geográfica (SIG) e base de dados geoespaciais do projeto Geodegrade, 2013, Foz do Iguaçu. **Anais XVI**. p. 2487-2493.

STEFFEN, C. A. Introdução ao Sensoriamento Remoto. INPE, 2018. Disponível em: <<http://www3.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/apostila.htm>>. Acesso em: 05 nov. 2018.

WEIER, J.; HERRING, D. Measuring Vegetation (NDVI & EVI). **NASA**, 2000. Disponível em: <<https://earthobservatory.nasa.gov/features/MeasuringVegetation>>. Acesso em: 8 out. 2019.