

Comparação entre imagens orbitais Sentinel-2 e Planet para caracterização espacial e temporal de vinhedo por NDVI

Comparison between Sentinel-2 and Planet orbital images for spatial and temporal characterization of vineyards by NDVI

Henrique Pauletto¹, Amanda Heemann Junges², Rosemary Hoff³, Rodrigo Alberti⁴

¹ Engenheiro Cartógrafo, Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), Centro Politécnico, São Leopoldo (RS), Brasil, henriquepauletto_@live.com

² Doutora, Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária (DDPA/SEAPI), Veranópolis (RS), Brasil, amanda-junges@seapi.rs.gov.br

³ Doutora, Embrapa Uva e Vinho, Bento Gonçalves (RS), Brasil, rose.hoff@embrapa.br

⁴ Mestre, Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), Centro Politécnico, São Leopoldo (RS), Brasil, rodrigoalberti.geologia@hotmail.com

RESUMO

Este estudo monitorou um vinhedo de Cabernet Sauvignon por meio de dados orbitais a partir das imagens dos satélites Planet e Sentinel-2, avaliando a adequabilidade dos dois sensores por meio do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). Doze imagens de cada satélite da safra 2017/2018 foram analisadas usando técnicas de processamento digital de imagens e sistema de informações geográficas. Foram gerados perfis temporais médios de NDVI, os quais foram analisados por métodos estatísticos. Foram elaborados mapas de zoneamento para cada cena ao longo do período estudado, para ambas as imagens de satélite. Os resultados mostraram que os dois satélites são adequados para utilização no monitoramento dos vinhedos, devido à sua excelente resolução temporal, espacial e radiométrica.

Palavras-chave: viticultura de precisão; sensoriamento remoto; imagens multiespectrais.

ABSTRACT

This study monitored a Cabernet Sauvignon vineyard using orbital data from images from the Planet and Sentinel-2 satellites, evaluating the suitability of the two sensors using the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). Twelve images from each satellite from the 2017/2018 harvest were analyzed using digital image processing and geographic information system techniques. Average temporal profiles of NDVI were generated and analyzed using statistical methods. Zoning maps were created for each scene during the period studied, for both satellite images. The results showed that the two satellites are suitable for use in monitoring vineyards, due to their excellent temporal, spatial and radiometric resolution.

Keywords: precision viticulture; remote sensing; multispectral images.

1 INTRODUÇÃO

Os índices de vegetação têm sido eficientes na definição de padrões espaciais de vinhedos, apoiando previsão de safra, disponibilidade hídrica e detecção de doenças (Drissi et al., 2009; Johnson et al., 2003). Junges et al. (2017) definiram as características temporais do NDVI de imagens orbitais Landsat-8 em vinhedos cultivados no sistema de condução em espaldeira na região vitivinícola Campanha Gaúcha. Conforme Junges et al. (2017), a variabilidade temporal do NDVI mostrou o acúmulo de biomassa verde durante o ciclo vegetativo, bem como a variabilidade espacial entre vinhedos em diferentes locais, o que pode estar associado a diferenças de solo, condições climáticas e manejo agrícola.

No sistema de condução em espaldeira, o dossel vegetativo não é contínuo, ocasionando mistura de reflectância espectral captada pelas imagens de satélite, a qual pode ser gerada pela vegetação

<https://doi.org/10.4322/978-65-86819-38-0.1000038>

Este é um capítulo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que sem fins comerciais, sem alterações e que o trabalho original seja corretamente citado.

da videira e da cobertura das entrelinhas, principalmente quando a imagem tem baixa resolução espacial. Isso influencia os valores médios do NDVI, podendo também ser devido aos efeitos climáticos no dia da cena da imagem e a alta biomassa verde, saturando o NDVI e mascarando a variabilidade da videira (Junges et al., 2017).

Este estudo teve como objetivo comparar imagens de média e alta resolução espacial no monitoramento espaço-temporal de um vinhedo pelo NDVI, a fim de avaliar quantitativa e qualitativamente a variabi-

lidade desse índice em relação ao ciclo de desenvolvimento do vinhedo, visando apoiar a gestão do mesmo, de forma a verificar seu potencial no contexto da agricultura de precisão.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Foi escolhido um vinhedo da variedade Cabernet Sauvignon com 6,5 hectares, cultivado no sistema de condução espaldeira, pertencente à Vinícola Almadén, Miolo Wine Group (Figura 1). As imagens escolhidas

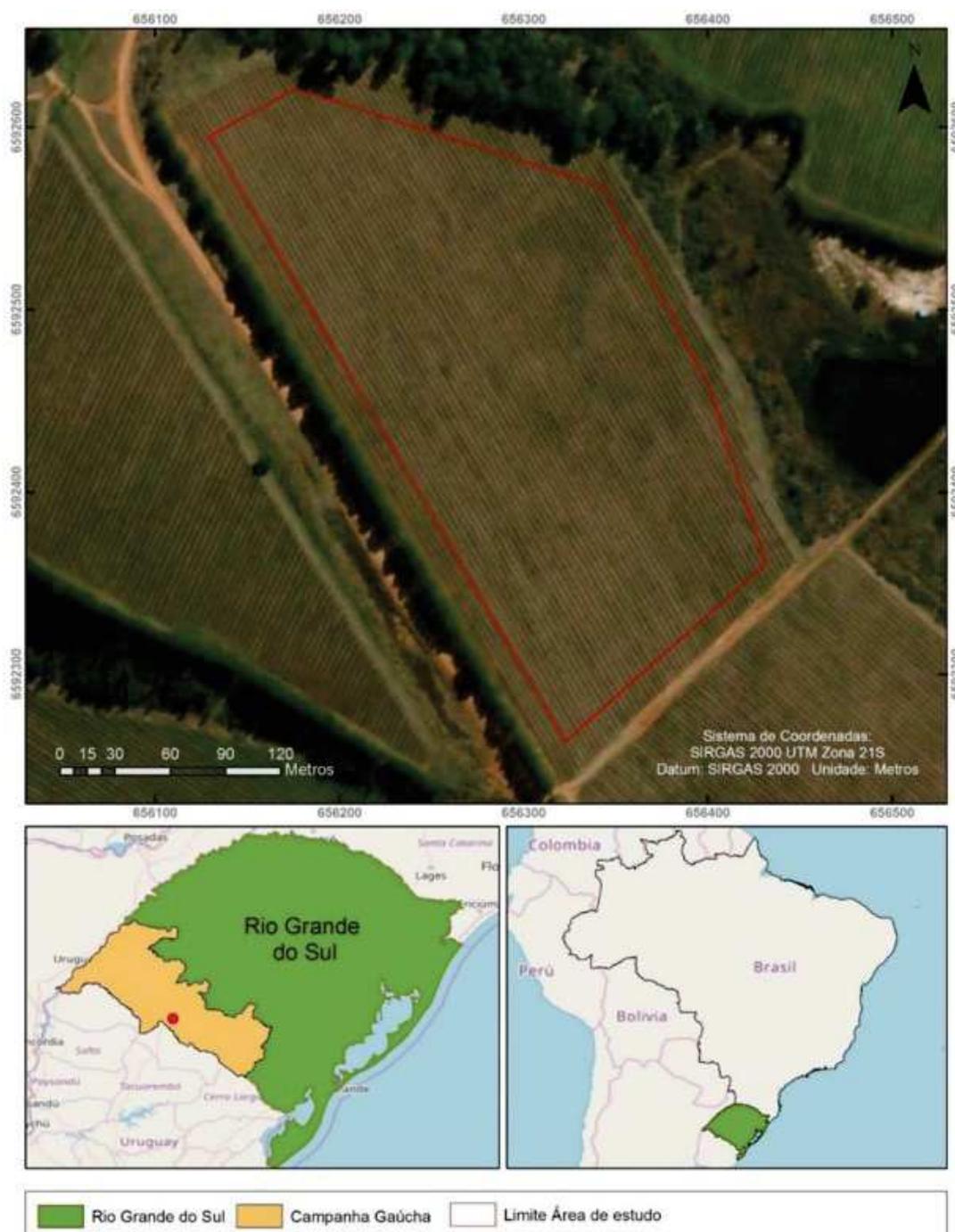


Figura 1. Localização da área de estudo, vinhedo de Cabernet Sauvignon em Santana do Livramento/RS, Brasil.

foram as dos satélites Sentinel-2 e Planet. As imagens do Sentinel-2 fazem parte do programa da Agência Espacial Europeia (European Space Agency, 2015) de uso público e as imagens Planet foram disponibilizadas pelo programa de educação e pesquisa Planet (Planet, 2019).

Foram selecionadas imagens com a mesma data de aquisição para ambos os satélites e, devido à diferença de resolução temporal entre eles, foi feito um levantamento de todas as imagens do Sentinel-2 entre outubro de 2017 e julho de 2018 sem nuvens. Esse período permitiu o acompanhamento do ciclo vegetativo do vinhedo, coincidindo com as práticas de gestão efetuadas pela vinícola, ou seja, primavera, verão e outono, exceto inverno.

De acordo com as datas das imagens do Sentinel-2, foram selecionadas imagens Planet com a mesma data, para comparação de imagens NDVI geradas a partir dos dois satélites. Mesmo tendo uma frequência diária, em algumas datas não foi possível obter imagens Planet, ocorrendo poucas falhas ao longo do período de estudo. Mesmo assim, a investigação possibilitou o acompanhamento do ciclo vegetativo desde o desenvolvimento das folhas, floração e frutos até o período de dormência, ou seja, a fase do ciclo em que a videira não possui mais folhas.

O NDVI foi desenvolvido por Rouse et al. (1974), sendo calculado a partir da reflectância da vegetação da luz com comprimento de ondas eletromagnéticas na faixa do vermelho e do infravermelho próximo refletido pela vegetação, conforme a Expressão 1:

$$NDVI = (NIR - Vermelho) / (NIR + Vermelho) \quad (1)$$

onde:

NIR é a reflectância na faixa do infravermelho próximo e vermelho é a reflectância na faixa do vermelho.

Foram aplicadas correções radiométricas, geométricas e atmosféricas às imagens, a fim de melhorar o processamento digital, sendo que as imagens de ambos os sensores apresentaram diferenças de resoluções espacial, espectral e radiométrica (Pauletto et al., 2022).

As imagens Planet foram corrigidas pelo Ortho Scene Product – ferramenta Analytic, uma correção atmosférica e a segunda simulação de um sinal de satélite no espectro solar (6S) – reflectância de superfície. Para a imagem Sentinel, foi utilizado o método Dark Object Subtraction – DOS1 (Chavez Junior, 1988). Essa correção considerou apenas os valores dos números digitais (ND), não necessitando dos valores dos efeitos atmosféricos na data da cena (Congedo, 2016; Weiss et al., 2015). O Semi Automatic Classification

Plugin (SCP), módulo do software QGIS, foi utilizado para correção atmosférica das imagens Sentinel.

O NDVI de ambas as imagens foi gerado no software QGIS 3.14 (QGIS, 2020), após recorte e reprojeção para o sistema de coordenadas UTM Sirgas 2000 - 21S. As imagens do NDVI Sentinel-2 foram reamostradas de 10 para 3 m, a fim de equalizar com as imagens Planet e para facilitar a comparação das duas imagens. Foi utilizado o método de interpolação por vizinho mais próximo, minimizando a distorção na imagem e evitando alteração nos valores do número digital (ND) de cada pixel.

Foi feita a análise da estatística descritiva do NDVI, obtendo-se medidas de tendência central (média, mediana e moda), dispersão, desvio padrão, coeficiente de variação e variância. Cada pixel tornou-se um ponto, tendo as coordenadas z-value (NDVI), leste (E) e norte (N) da imagem. Os dados foram processados por meio do software estatístico SPSS.

O NDVI foi analisado por valores médios no perfil temporal do período estudado, visando investigar a variabilidade espaço-temporal da parcela (Pauletto et al., 2022). Histogramas e boxplots foram feitos para interpretação do comportamento dos dados (Andriotti, 2005; Campos, 2003). As curvas de distribuição normal foram geradas no software SPSS, e uma análise mais detalhada foi realizada pela aplicação de testes estatísticos para avaliar a diferença entre as imagens, sobre o valor médio do NDVI em cada data.

Foram geradas imagens de diferença e zonas de NDVI para cada data, sendo aplicada subtração da imagem NDVI Planet pela imagem NDVI Sentinel-2. Isso resultou em valores numéricos reais de diferença de NDVI, possibilitando a identificação e zoneamento e mostrando quais valores de cada imagem foram mais proeminentes na área de estudo. A classificação das imagens resultantes gerou três classes: 1) NDVI Planet e Sentinel-2 iguais; 2) NDVI Planet maior; 3) NDVI Sentinel-2 maior.

Os mapas de zoneamento do NDVI ficaram no limite definido como ± 1 de desvio padrão (SD) da média do NDVI de cada cena. Segundo Molin et al. (2015), a definição de limites poderia identificar valores anômalos em um conjunto de dados. Para definir esses limites, além da média, também foram utilizadas medianas, considerando um (corte extremo) ou mais (corte conservador), desvios padrão (Molin et al., 2015). Para gerar os mapas, foram definidos limites para cada data para as três classes, mostrando a variabilidade do vinhedo: 1) valores inferiores à média do NDVI - 1SD (classe 1); 2) valores dentro da média do NDVI (classe 2); 3) valores acima da média do NDVI + 1SD (classe 3).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A variação do NDVI poderia estar associada a uma mistura espectral em vinhedos cultivados no sistema de condução em espaldeira, onde há crescimento da cobertura vegetal nas entrelinhas e perda de folhas. Assim, há uma maior mistura entre reflectância da vegetação de cobertura e planta de videira do que em outros períodos (Junges et al., 2017). A avaliação dos dados estatísticos em conjunto com os produtos gráficos mostrou que a reamostragem da imagem Sentinel-2 para 3 m de resolução espacial não apresentou distorções significativas nos valores de média, mediana, desvio padrão e variância do NDVI (Figura 2).

Essas variações podem ser causadas devido aos limites do vinhedo, onde há diferentes usos do solo e, como essa média aritmética pode variar de acordo com os valores extremos (mínimo e máximo), a mediana

não varia (Andriotti, 2005). Assim, mesmo havendo diferenças nos valores mínimo e máximo, os valores centrais do conjunto não apresentaram diferenças (Pauletto et al., 2022). Ducati et al. (2014) utilizaram o mesmo método de reamostragem para estudos em vinhedos e constataram que os valores médios não apresentaram diferenças significativas.

Os pontos extraídos das imagens NDVI do vinhedo formaram um conjunto de pixels ($n = 7330$). Cada imagem para cada data representou uma variável, 12 para imagens Planet e 12 para imagens Sentinel-2. Para cada imagem, foram calculadas estatísticas descritivas de tendência central e os valores mínimo e máximo de NDVI. Valores positivos de NDVI indicariam a biomassa verde no vinhedo (Junges et al., 2017). A Figura 3 mostra a variação da média do NDVI no período analisado.

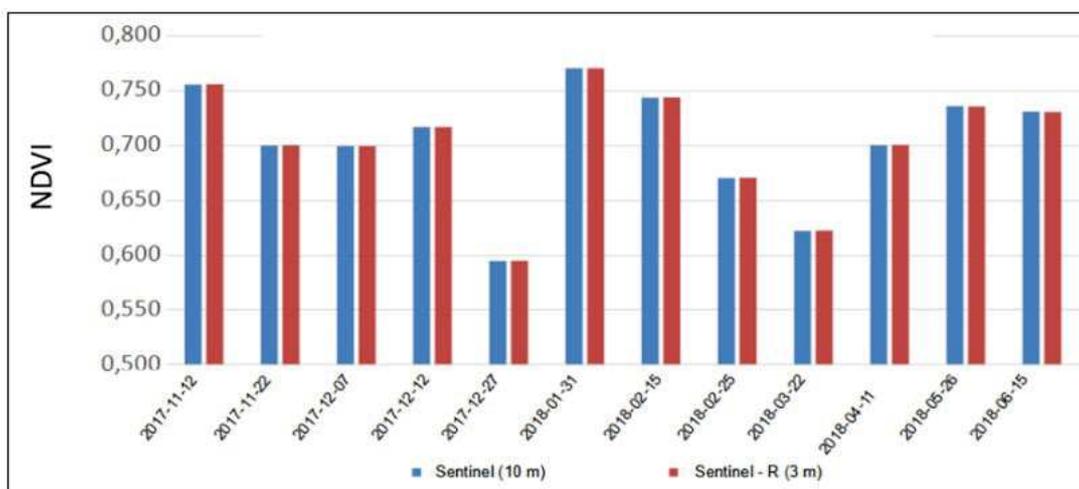


Figura 2. Perfil temporal da média do NDVI das imagens originais e reamostradas do Sentinel-2, vinhedo Cabernet Sauvignon, Santana do Livramento/RS, Brasil (Pauletto et al., 2022).

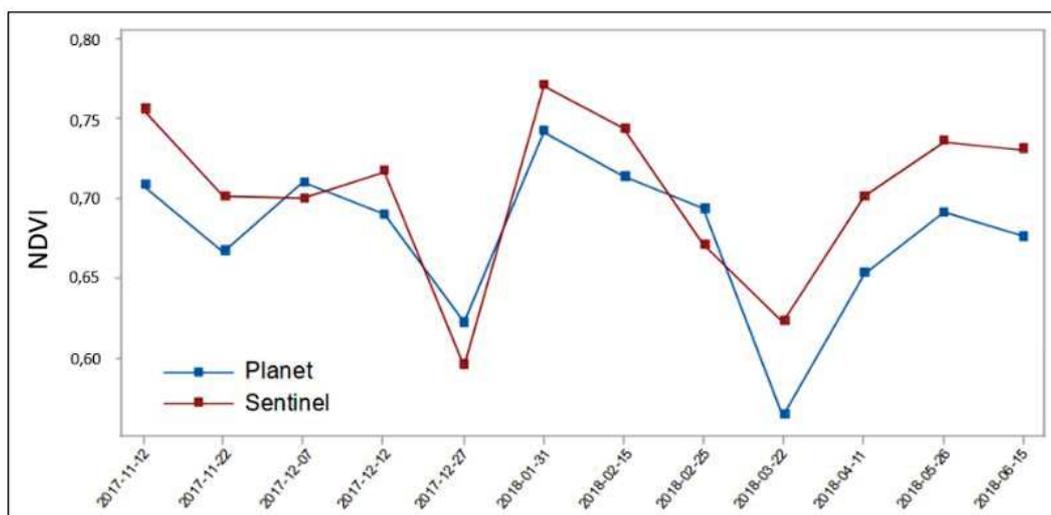


Figura 3. Perfil temporal da média do NDVI das imagens Sentinel-2 e Planet de um vinhedo Cabernet Sauvignon, Santana do Livramento/RS, Brasil (Pauletto et al., 2022).

Os maiores valores médios de NDVI foram em 31/1/2018, iguais para ambos os satélites. Os valores mais baixos foram diferentes, mas os valores médios foram semelhantes. Mesmo com diferenças qualitativas nos valores médios de NDVI entre as imagens Planet e Sentinel-2 na data do menor valor, entende-se que não houve discrepância em termos de valores absolutos entre as imagens, com diferenças inferiores a 0,10.

Em 12 imagens, apenas em 7/12/2017, os valores médios do NDVI foram considerados iguais a partir da análise da média em valor absoluto. Para ser igual, a diferença foi considerada menor ou igual a $\pm 0,01$. Nas demais datas, os valores médios do NDVI apresentaram maior diferença, variando de -0,03 a 0,06. Diferenças inferiores a 0,10 foram consideradas não discrepantes. Essas diferenças foram analisadas na forma de perfis temporais de NDVI médio e imagens de diferença. A variação do NDVI entre as imagens ocorreu na fase de desenvolvimento vegetativo, de 12/11/2017, período de crescimento e desenvolvimento das folhas, expansão da área no dossel vegetativo e um crescimento de vegetação cobrindo as linhas entre as videiras no valor médio de pixel. A partir de 22/3/2018, ocorreu a fase final do ciclo vegetativo, senescência e queda de folhas, diminuindo as atividades de manejo do vinhedo.

Em 27/12/2017 e 25/2/2018, os valores médios de NDVI das imagens Planet foram superiores aos das imagens Sentinel-2. Nas demais datas, os valores médios de NDVI das imagens do Sentinel-2 foram maiores. Para estas datas em que a média do NDVI do Planet foi superior, dias antes das cenas citadas, foi realizada a roçada no vinhedo, com a retirada da vegetação nas entrelinhas das vinhas. Isso supõe que as imagens do Planet, devido à sua maior resolução espacial, apresentaram maior capacidade de definição de alvos e resposta mais detalhada da média do NDVI. Isto permitiu uma melhor identificação das alterações na vinha ao longo do ciclo, sendo que os valores mais elevados poderão ser provenientes da vegetação do vinhedo.

De acordo com Matese et al. (2015), vinhedos em sistema de espaldeira são altamente heterogêneos, onde os valores de NDVI mais elevados se referem à copa vegetativa do vinhedo, e os mais baixos, à vegetação nas entrelinhas, confirmando assim o resultado ora descrito. No entanto, entende-se que as maiores alterações de NDVI das imagens podem estar associadas a distorções radiométricas e geométricas dessas e que podem afetar o valor de NDVI. A imagem de 31/1/2018 foi o pico da média do NDVI do período analisado (0,770 para Sentinel-2 e 0,741 para Planet),

35 dias após o último valor de NDVI obtido se houvesse apenas um corte mecanizado na entrelinha do vinhedo. Assim, o alto valor do NDVI pode ser devido à mistura dos valores de toda a vegetação da parcela.

A análise dos resultados pelo coeficiente de variação (CV) considerou que valores de CV abaixo de 40% representariam a homogeneidade do conjunto amostral (Andriotti, 2005). O maior CV encontrado foi de 8,85% na imagem Sentinel-2 de 25/2/2018. No entanto, os vinhedos em condução espaldeira são heterogêneos, divergindo da análise de CV. Spiegel (1994) e Andriotti (2005) apontaram que o CV pode ser pouco útil quando os valores médios estão próximos de zero, como no caso estudado, o que limita a avaliação da heterogeneidade. De acordo com Pringle et al. (2003), embora as análises descritivas permitam a explicação da estrutura espacial, ou irregularidades, não conseguem descrever a heterogeneidade espacial da cena.

O teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov, com nível de significância de $p < 0,05$, mostrou resultados à anormalidade do conjunto, uma vez que os valores de significância são todos inferiores ao limite definido. Assim, rejeita-se a hipótese nula, significando que os dados não apresentaram distribuição normal, confirmando os resultados dos histogramas e os valores de assimetria e curtose calculados na estatística descritiva.

Os valores médios máximos de NDVI ocorreram durante o período de desenvolvimento vegetativo, refletindo o acúmulo de biomassa verde na copa vegetativa, resultado também encontrado por Junges et al. (2017, 2019a, 2019b) no mesmo vinhedo. Assim, a variabilidade temporal pode ser influenciada por essa vegetação, seja ela espontânea ou de espécies cultivadas. No entanto, as datas em que os valores médios do NDVI diminuíram significativamente correspondem ao período de desenvolvimento vegetativo, entre 27/12/2017 e 22/3/2018.

Observou-se uma diminuição nos valores de NDVI em dezembro, possivelmente devido ao manejo agrícola nos dias que antecederam a imagem de 27/12/2017, quando foram retiradas as folhas, bem como a vegetação nas entrelinhas das videiras. Assim, a massa verde foi reduzida, sendo intensificada nos dias que antecederam a vindima das uvas (13 e 14 de março de 2018). Durante o período de senescência, com queda de folhas, os valores médios de NDVI apresentaram aumento, devido ao desenvolvimento da vegetação de cobertura, e os valores de NDVI aumentaram. Para ambas as imagens, Sentinel-2 e Planet, o perfil médio mostrou-se adequado, apresentando comportamento característico do vinhedo (Figura 4).

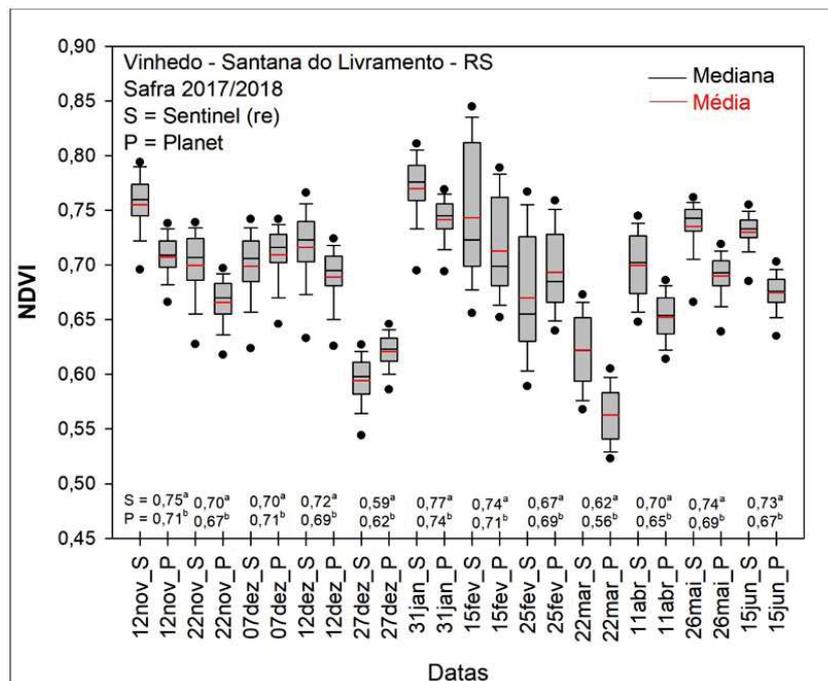


Figura 4. BoxPlots representando o perfil médio do NDVI, mediana, quartis, desvios padrão da média e outliers das imagens Planet e Sentinel-2, vinhedo Cabernet Sauvignon, Santana do Livramento/RS, Brasil (Pauletto et al., 2022).

As diferenças de valores médios do NDVI das imagens Planet e Sentinel-2 foram observadas também pela aplicação do teste de Mann-Whitney, utilizado para a comparação de dois conjuntos de dados que não seguem uma distribuição normal. Os resultados obtidos a partir da aplicação de Mann-Whitney (Tabela 1) mostraram que os valores médios não são iguais, devido aos valores de significância (Asymp. Sig. (coluna bicaudal)) serem inferiores a 0,05 (Field, 2009).

A diferença de classificação do NDVI para as imagens do Sentinel-2 e do Planet foram os valores negativos (-1; -0,01) que indicaram que os valores do Planet foram maiores do que os do Sentinel-2 (Classe 1). Valores positivos (0,01; 1) indicaram que os valores do Sentinel-2 foram maiores do que os do Planet (classe 3). Valores entre -0,0100 e 0,0100 referem-se a um NDVI igual das duas imagens (classe 2), conforme a Tabela 2.

Na data de 12/11/2017, 97,41% da área total (6,42 hectares) foram representados pelos valores originais do Sentinel-2, 0,82% igual às imagens e 1,77% à imagem do Planet. Na imagem de 22/11/2017, 91,7% dos valores vieram da imagem Sentinel-2 e apenas 2,88% vieram da imagem do Planet, enquanto 5,42% são coincidentes das duas imagens. Na data de 7/12/2017, os valores das imagens Sentinel-2 são os de menor proporção, apenas 10,79%, enquanto 50,98% dos valores de NDVI da cena são das imagens do Planet e 38,23% iguais.

As imagens de diferença de NDVI mostraram maior homogeneidade na primavera, nas áreas onde o valor de NDVI é maior na imagem Sentinel-2. Enquanto, para a imagem da primeira quinzena de dezembro, os valores do NDVI Planet são mais heterogêneos. Isso pode estar associado ao manejo no vinhedo de 24/11/2017 a 7/12/2017, sugerindo que com a vegetação reduzida, as variações na biomassa tornam-se mais perceptíveis na imagem.

Durante o desenvolvimento vegetativo no verão, em duas datas os valores do NDVI Sentinel-2 representaram mais de 80% do vinhedo (31/1/2018 e 15/2/2018). Na data de 27/12/2018, 84,46% do vinhedo são representados pela imagem Planet, 13,72% dos valores são iguais e apenas 1,82% do vinhedo é representado pela imagem Sentinel-2. Valores mais altos de NDVI da imagem do Planet podem estar associados às práticas de manejo agrícola. Para a data 25/2/2018, os maiores valores de NDVI na vinha referem-se à imagem Planet e a menor área para as imagens Sentinel-2, destacando a homogeneidade desses valores a oeste do vinhedo.

As imagens de outono não mostraram diferenças entre as datas, diferente do que ocorreu na primavera e verão. Os valores de NDVI das imagens Sentinel-2 abrangeram mais de 95% da área do vinhedo, com grande similaridade, o que pode estar relacionado ao período pós-colheita, senescência, perda de folhas e desenvolvimento da vegetação nas entrelinhas das videiras. Assim, a vegetação teve uma distribuição mais

Tabela 1. Resultados do teste Mann-Whitney das imagens Sentinel-2 e Planet, de um vinhedo Cabernet Sauvignon, Santana do Livramento/RS, Brasil (Pauletto et al., 2022).

| Data da passagem | n | Mann-Whitney U | Wilcoxon W | Z | Asymp. Sig. (2-tailed) |
|------------------|------|----------------|------------|---------|------------------------|
| 12/11/2017 | 7330 | 4,40E+06 | 3,13E+07 | -87,668 | 0,000 |
| 22/11/2017 | 7330 | 8,84E+06 | 3,57E+07 | -70,371 | 0,000 |
| 07/12/2017 | 7330 | 2,09E+07 | 4,78E+07 | -23,190 | 0,000 |
| 12/12/2017 | 7330 | 1,22E+07 | 3,91E+07 | -57,120 | 0,000 |
| 27/12/2017 | 7330 | 9,10E+06 | 3,60E+07 | -69,340 | 0,000 |
| 31/01/2018 | 7330 | 9,39E+06 | 3,63E+07 | -68,226 | 0,000 |
| 15/02/2018 | 7330 | 1,83E+07 | 4,51E+07 | -33,561 | 0,000 |
| 25/02/2018 | 7330 | 1,88E+07 | 4,56E+07 | -31,629 | 0,000 |
| 27/12/2017 | 7330 | 5,25E+06 | 3,21E+07 | -84,380 | 0,000 |
| 31/01/2018 | 7330 | 6,56E+06 | 3,34E+07 | -79,247 | 0,000 |
| 15/02/2018 | 7330 | 4,60E+06 | 3,15E+07 | -86,894 | 0,000 |
| 25/02/2018 | 7330 | 2,37E+06 | 2,92E+07 | -95,629 | 0,000 |

Tabela 2. Áreas de classe, absolutas e relativas, resultando de imagens de diferença ao longo das estações analisadas, para imagens Sentinel-2 e Planet, de um vinhedo Cabernet Sauvignon, Santana do Livramento/RS, Brasil (Pauletto et al., 2022).

| Data da passagem | Maiores valores | | Valores iguais NDVI | | Maiores valores | |
|------------------|-----------------|----------|---------------------|----------|-----------------|----------|
| | NDVI Sentinel-2 | | Sentinel-2 e Planet | | NDVI Planet | |
| | Area (ha) | Area (%) | Area (ha) | Area (%) | Area (ha) | Area (%) |
| Primavera | | | | | | |
| 12/11/2017 | 6,4233 | 97,41 | 0,0540 | 0,82 | 0,1170 | 1,77 |
| 22/11/2017 | 6,0469 | 91,70 | 0,3574 | 5,42 | 0,1900 | 2,88 |
| 07/12/2017 | 0,7113 | 10,79 | 2,5211 | 38,23 | 3,3620 | 50,98 |
| 12/12/2017 | 5,3910 | 81,73 | 0,7641 | 11,58 | 0,4410 | 6,69 |
| Verão | | | | | | |
| 27/12/2017 | 0,1198 | 1,82 | 0,9049 | 13,72 | 5,5688 | 84,46 |
| 31/01/2018 | 5,7588 | 87,33 | 0,5582 | 8,47 | 0,2773 | 4,21 |
| 15/02/2018 | 5,3784 | 81,54 | 1,0053 | 15,24 | 0,2124 | 3,22 |
| 25/02/2018 | 0,8392 | 12,73 | 1,2596 | 19,10 | 4,4956 | 68,17 |
| Outono | | | | | | |
| 27/12/2017 | 6,5214 | 98,89 | 0,0531 | 0,81 | 0,0198 | 0,30 |
| 31/01/2018 | 6,4161 | 97,30 | 0,1243 | 1,88 | 0,0540 | 0,82 |
| 15/02/2018 | 6,3531 | 96,34 | 0,1324 | 2,01 | 0,1089 | 1,65 |
| 25/02/2018 | 6,4737 | 98,17 | 0,0630 | 0,96 | 0,0576 | 0,87 |

homogênea, o que foi comprovado pelas imagens de diferença, devido à imagem do Sentinel-2 ter menor resolução espacial e os pixels cobrirem maiores áreas no vinhedo. Isso refletiu uma mistura dos valores dos diferentes tipos de cobertura vegetal, apresentando menor variabilidade na imagem.

Para identificar a variabilidade espacial dentro do vinhedo, as imagens de zoneamento NDVI foram definidas a partir da média ± 1 DP, mostrando uma estreita relação entre ambas as imagens da mesma data. Foram identificados padrões, como na porção nordeste do vinhedo, de valores de NDVI referentes à classe

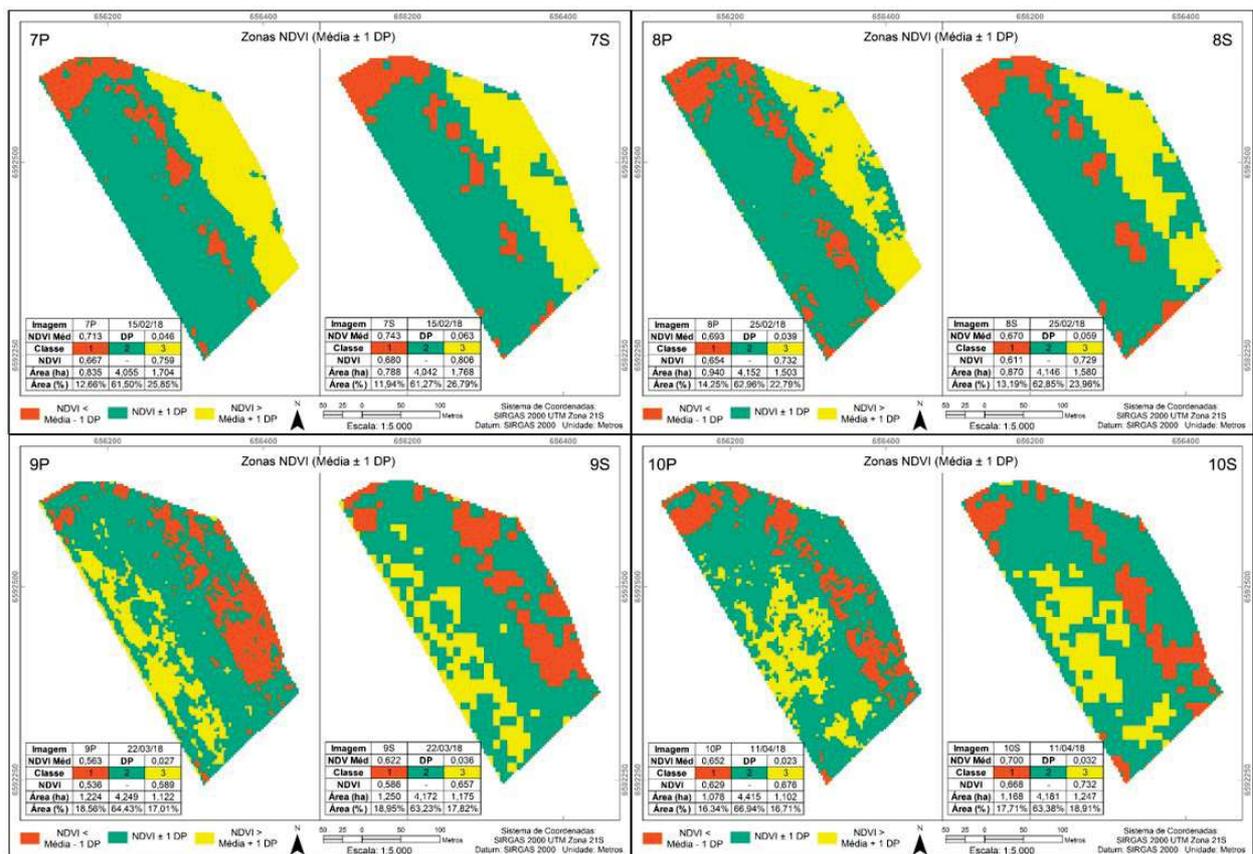


Figura 5. Zoneamento dos valores médios do NDVI \pm 1SD. Imagens P = Planet e S = Sentinel-2, vinhedo Cabernet Sauvignon, Santana do Livramento/RS, Brasil (Pauletto et al., 2022).

1. Entretanto, no restante do vinhedo, a variabilidade espaço-temporal dos valores de NDVI apresentou grande variação entre as classes. A Figura 5 mostra exemplos do período de fevereiro a abril de 2018, quando ocorreu a colheita e pós-colheita no vinhedo.

Avaliando a área de cada classe em valores relativos, sete imagens registraram menos de 1% de diferença entre Sentinel-2 e Planet para a classe 1. Para as classes 2 e 3, quatro imagens representam essa mesma diferença. A classe 1 apresentou menor diferença de área, enquanto nas classes 2 e 3 a diferença foi maior. Em apenas uma data, houve diferença de mais de 5% da área entre imagens. A partir de 15/2/2018, foi identificada uma segmentação dos valores de NDVI, que também foi percebida nos histogramas e nas imagens de diferença. Na porção leste do vinhedo, existe uma faixa SE-NW, onde os valores de NDVI foram incluídos na classe 3, permanecendo esse padrão em 25/2/2018.

Nas datas de 22/3/2018 e 11/4/2018, verificou-se uma inversão das classes 1 e 3 na parte leste e oeste do vinhedo, não tendo sido observadas outras anomalias nas restantes datas. Exceto em 11/12/2017, na porção oeste da parcela, foram apresentados valores da classe 3, ficando a porção leste com valores dentro dos limites definidos.

Os maiores valores de NDVI tenderam a se localizar na parte oeste do vinhedo, onde tem-se maior altitude, enquanto que na porção leste, com menor elevação e a umidade do solo, os valores de NDVI foram menores.

A definição de zonas maiores e menores que o desvio padrão possibilitou uma interpretação quantitativa e comparativa da variabilidade espacial do NDVI das imagens Sentinel-2 e Planet. Essa técnica permitiria ao produtor identificar áreas com diferentes necessidades de manejo agrícola, fato observado por Drissi et al. (2009) e Sun et al. (2017) em vinhedos, sobre a importância da caracterização espacial por NDVI.

4 CONCLUSÃO

Esses resultados correspondem aos primeiros estudos sobre a comparação de imagens Planet e Sentinel-2 no monitoramento de vinhedos na Indicação de Origem Campanha Gaúcha, Brasil. Isso contribui para o aumento do uso de imagens Planet, por um período maior, mais de um ciclo, ou uma região maior, mais de um vinhedo ou vinhedos de diferentes cultivares. O uso de imagens detalhadas pode gerar maiores informações sobre um vinhedo ou uma fazenda, para

verificar a diversidade entre as áreas, bem como para verificar padrões observados nas imagens para cada manejo aplicado.

As imagens de diferença mostraram uma predominância de maiores valores de NDVI nas imagens do Sentinel-2, confirmados pelos perfis médios de NDVI, sendo uma forma simples de espacializar as diferenças de NDVI, identificando áreas onde ocorreram as maiores variações entre as imagens. A identificação dessas áreas, a partir da média \pm 1DP, foi importante para a visualização de áreas de maior ou menor desenvolvimento da vegetação. Poderia auxiliar na tomada de decisão e mesmo colheitas direcionadas para a produção de diferentes vinhos de um mesmo vinhedo.

Embora os valores médios tenham apresentado diferenças entre as imagens Sentinel-2 e Planet, o uso dessas deve ser individual, pois os valores médios do NDVI não foram semelhantes entre as imagens, portanto não é recomendada a junção dos perfis para suprir a falta de imagens. As falhas de imagem em algumas épocas do ano podem ser devidas à falta de imagens ou cobertura de nuvens, dificultando o monitoramento dos vinhedos.

Mesmo com diferentes correções atmosféricas aplicadas às imagens do Sentinel-2 (original e reamostrada) e do Planet, estas mostraram muitas semelhanças da média do NDVI, caracterizando satisfatoriamente a evolução temporal do acúmulo de biomassa verde nos vinhedos. As imagens dos dois satélites foram adequadas para o monitoramento da variabilidade por zoneamento do NDVI, mostrando um comportamento semelhante na espacialização desse índice no vinhedo.

Embora tenham diferentes resoluções espaciais, ambas as imagens podem auxiliar no zoneamento do vinhedo, mostrando sua variabilidade, no contexto da agricultura de precisão. A escolha da imagem será de acordo com os recursos financeiros e o detalhe pretendido pelo produtor.

Os resultados evidenciaram a necessidade do uso de imagens orbitais na viticultura de precisão, contribuindo para o monitoramento temporal e espacial dos vinhedos durante o desenvolvimento do ciclo vegetativo. A utilização dessas ferramentas pode apoiar essa região de Indicação Geográfica, como a monitorização de vinhedos isolados ou conjunto de vinhedos de uma vinícola ou associação de produtores.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à agência de fomento à pesquisa Finep, CNPq e Fapergs, bem como às instituições de Embrapa e Unisinos, bem como à Miolo Wine Group.

REFERÊNCIAS

- ANDRIOTTI, J. L. S. **Fundamentals of statistics and geostatistics**. São Leopoldo: Editora Unisinos, 2005. 166 p.
- CAMPOS, M. S. **Unraveling MINITAB**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2003. 261 p.
- CHAVEZ JUNIOR, P. S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. **Remote Sensing of Environment**, v. 24, n. 3, p. 459-479, 1988. DOI: [http://doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90019-3](http://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90019-3).
- CONGEDO, L. **Semi-automatic classification plugin documentation**. 2016. Disponível em: https://www.academia.edu/35886696/Semi_Automatic_Classification_Plugin_Documentation_Release_6_0_1_1. Acesso em: 4 abr. 2020.
- DRISSI, R.; GOUTOULY, J. P.; FORGET, D.; GAUDILLERE, J. P. Nondestructive measurement of grapevine leaf area by ground normalized difference vegetation index. **Agronomy Journal Spatial Variability**, v. 101, n. 1, p. 226-231, 2009. Disponível em: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.2134/agronj2007.0167>. Acesso em: 4 abr. 2020.
- DUCATI, J. R.; BOMBASSARO, M. G.; FACHEL, J. M. G. Classifying vineyards from satellite images: a case study on Burgundy's Côte d'Or. **OENO One**, v. 48, n. 4, p. 247-260, 2014. DOI: <http://doi.org/10.20870/oenone.2014.48.4.1693>.
- EUROPEAN SPACE AGENCY. **Sentinel-2 User Handbook**. 2015. Disponível em: https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/document-library/-/asset_publisher/xlslt4309D5h/content/sentinel-2-user-handbook. Acesso em: 4 abr. 2020.
- FIELD, A. **Logistic regression: discovering statistics using SPSS**. Los Angeles: SAGE, 2009.
- JOHNSON, L. F.; ROCZEN, D. E.; YOUKHANA, S. K.; NEMANI, R. R.; BOSCH, D. F. Mapping vineyard leaf area with multispectral satellite imagery. **Computer and Electronics in Agriculture**, v. 38, n. 1, p. 33-44, 2003. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169902001060>. Acesso em: 4 abr. 2020.
- JUNGES, A. H.; FONTANA, D. C.; ANZANELLO, R.; BREMM, C. Normalized difference vegetation index obtained by ground-based remote sensing to characterize vine cycle in Rio Grande do Sul, Brazil. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 41, n. 5, p. 543-553, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1590/1413-70542017415049016>.
- JUNGES, A. H.; FONTANA, D. C.; LAMPUGNANI, C. S. Relationship between the normalized difference vegetation index and leaf area in vineyards. **Bragantia**, 78(2), 297-305, 2019b. DOI: <http://doi.org/10.1590/1678-4499.2018168>.
- JUNGES, A. H.; PAULETTO, H.; HOFF, R.; DUCATI, J. R.; ALBERTI, R. Landsat images for vineyard monitoring in the "Campanha Gaúcha" region by temporal profile of NDVI. In: XIX BRAZILIAN SYMPOSIUM OF REMOTE SENSING. **Proceedings** [...]. Santos: INPE, 2019a.

- Disponível em: <http://marte2.sid.inpe.br/rep/sid.inpe.br/marte2/2019/10.25.15.14>. Acesso em: 4 abr. 2020.
- MATESE, A.; TOSCANO, P.; DI GENNARO, S.F.; GENESIO, L.; VACCARI, F.P.; PRIMICERIO, J.; BELLI, C.; ZALDEI, A.; BIANCONI, R.; GIOLI, B. Intercomparison of UAV, **Aircraft and Satellite Remote Sensing Platforms for Precision Viticulture**. *Remote Sens.* 2015, 7, 2971-2990. <https://doi.org/10.3390/rs70302971>. Acesso em: 4 abr. 2020.
- MOLIN, P.; AMARAL, L. R.; COLAÇO, A. F. **Agricultura de precisão**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 40 p. Disponível em: <https://www.bibliotecaagptea.org.br/agricultura/precisao/livros/AGRICULTURA%20DE%20PRECISAO%20-%20OFICINA%20DE%20TEXTOS.pdf>. Acesso em: 4 abr. 2020.
- PAULETTO, H.; HOFF, R.; JUNGES, A. H.; ALBERTI, R.; VALENTI, E. S. Orbital images for spatial and temporal characterization of vineyard by vegetation index in the “Campanha Gaúcha” wine region, Brazil. **Brazilian Journal of Agriculture** v. 97, n. 1, p. 86-116, 2022. DOI: <http://doi.org/10.37856/bja.v97i1.4292>.
- PLANET. **Education and Research Program**. 2019. Disponível em: <https://www.planet.com/markets/education-and-research/>. Acesso em: 4 abr. 2020.
- PRINGLE, M.J.; MCBRATNEY, A. B.; WHELAN, B. M.; TAYLOR, J. A. A preliminary approach to assessing the opportunity for site-specific crop management in a field, using yield monitor data. **Agricultural Systems**, v. 76, n. 1, p. 273-292, 2003. DOI: [http://doi.org/10.1016/S0308-521X\(02\)00005-7](http://doi.org/10.1016/S0308-521X(02)00005-7).
- QGIS. **Guia do Usuário QGIS**. 2020. Disponível em: https://docs.qgis.org/3.10/pt_BR/docs/user_manual/. Acesso em: 4 abr. 2020.
- ROUSE, J.W., R.H. HAAS, J.A. SCHELL, and D.W. DEERING, 1974. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS, In: S.C. FREDEN, E.P. MERCANTI, and M. BECKER (eds) **Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium**. Volume I: Technical Presentations, NASA SP-351, NASA, Washington, D.C., pp. 309-317. Disponível em: <https://ntrs.nasa.gov/citations/19740022614>. Acesso em: 12 abr. 2020.
- SPIEGEL, M. R. **Statistic**. 3. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 1994. 644 p.
- SUN, L.; GAO, F.; ANDERSON, M.C.; KUSTAS, W.P.; ALSINA, M.M.; SANCHEZ, L.; SAMS, B.; MCKEE, L.; DULANEY, W.; WHITE, W.; ALFIERI, J.; PRUEGER, J.; MELTON, F.; POST, K. Daily mapping of 30 m LAI and NDVI for grape yield prediction in California vineyards. **Remote Sensing**, v. 9, n. 4, p. 317, 2017. DOI: <http://doi.org/10.3390/rs9040317>.
- WEISS, C. V. C.; CAMARGO, D. C. S.; ROSCA, E. H.; ESPINOZA, J. Comparative analysis between atmospheric correction methods in Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) sensor images. **Scientia Plena**, v. 11, n. 2, p. 1-8. 2015. Disponível em: <https://www.scientiaplenua.org.br/sp/article/view/17417>. Acesso em: 4 abr. 2020.