

USO DE SENSORES SUBORBITAL E PROXIMAL PARA OBTENÇÃO DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO EM VINHEDO

ANDERSON DE JESUS PEREIRA¹, ISRAEL DE OLIVIERA JUNIOR², BRUNO RICARDO SILVA COSTA³, LUIS HENRIQUE BASSOI⁴, LÚCIO ANDRÉ DE CASTRO JORGE⁵

¹ Doutorando em Engenharia Agrícola; Universidade Estadual Paulista (UNESP); e-mail: anderson.j.pereira@unesp.br.

² Doutor em Geografia; Universidade do Estado da Bahia; e-mail: iojjunior@gmail.com.

³ Doutor em Agronomia (Irrigação e Drenagem); UNESP; e-mail: bruno.ricardo@unesp.br

⁴ Doutor em Ciências / Energia Nuclear na Agricultura; Embrapa Instrumentação; e-mail: luis.bassoi@embrapa.br

⁵ Doutor em Engenharia Elétrica; Embrapa Instrumentação; e-mail: lucio.jorge@embrapa.br

Apresentado no
LII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2023
18 a 21 de outubro de 2023 – Ribeirão Preto - SP, Brasil

RESUMO: Os métodos baseados no sensoriamento remoto conseguem estimar indiretamente variáveis biofísicas da videira, como vigor vegetativo, conteúdo hídrico e nível nutricional, para orientar o manejo do vinhedo. Esta pesquisa teve como objetivo analisar o comportamento dos índices de vegetação CCCI, MSR, NDRE e NDVI em videiras, gerados por sensores suborbital e proximal, e verificar o seu potencial do seu uso para o monitoramento do vigor vegetativo em um vinhedo. Os dados multiespectrais foram obtidos por meio do sensor da MicaSense RedEdge-M e os dados proximais pelo sensor ativo Crop Circle ACS-430. Os índices de vegetação foram gerados e submetidos a uma análise estatística descritiva. Em ambas as metodologias o NDVI obteve uma menor dispersão em torno da média, enquanto o MSR e NDRE alcançaram as maiores classificações. O CCCI, MSR e NDRE obtiveram um padrão simétrico, contrastando com a assimetria à esquerda ($cs < 0$) do NDVI suborbital e proximal. Assim, o uso do NDVI para identificar a variabilidade no vinhedo pode apresentar restrições, sobretudo em áreas com vigor vegetativo elevado.

PALAVRAS-CHAVE: sensor ativo, sensor passivo, aeronave remotamente pilotada

USE OF SUBORBITAL AND PROXIMAL SENSORS TO OBTAIN VEGETATION INDICES IN VINEYARD

ABSTRACT: Methods based on remote sensing can indirectly estimate grapevine biophysical variables, such as vegetative vigor, water content and nutritional level, to guide vineyard management. The objective of this research is to analyze the behavior of CCCI, MSR, NDRE and NDVI vegetation indices in grapevines, generated by suborbital and proximal sensors, and to verify their potential use for monitoring the vegetative vigor in a vineyard. Multispectral data were acquired using the MicaSense RedEdge-M sensor and proximal data using the Crop Circle ACS-430 sensor. Vegetation indices were generated and submitted to a descriptive statistical analysis. In both methodologies, NDVI obtained a smaller dispersion around the mean, while the MSR and NDRE reached the highest classifications. CCCI, MSR and NDRE obtained a symmetrical pattern, contrasting with the asymmetry to the left ($cs < 0$) of the suborbital and proximal NDVI. Thus, use of NDVI to identify vineyard variability may present restrictions, especially in areas with high vegetative vigor.

KEYWORDS: active sensor, passive sensor, unmanned aerial vehicle

INTRODUÇÃO: Nos estudos relacionados aos cultivos agrícolas, a utilização do sensoriamento remoto viabiliza a obtenção de características das folhas isoladas e/ou do

dossel em distintas escalas espaciais e temporais. Os avanços nas tecnologias possibilitaram estimar indiretamente as variáveis biofísicas da videira, como vigor vegetativo, indicadores de potenciais de qualidade e rendimento, potencial de produção e detecção de estresse nutricional e hídrico (URRETAVIZCAYA *et al.*, 2016; MATESE *et al.*, 2019). Atualmente, os índices de vegetação são aplicados para trazer respostas sobre o comportamento espectral, fenologia, estresse hídrico e outros fatores. Os índices de vegetação quando aplicados em vinhedos são capazes de verificar diferenças quanto ao vigor vegetativo, incidência de pragas e doenças, rendimento, maturidade dos frutos, além de ser uma ferramenta importante para delimitar zonas de manejo (SANTESTEBAN *et al.*, 2013). Nesse sentido, acompanhar o avanço do índice de área foliar, vigor vegetativo e o acúmulo de biomassa das videiras nos estágios fenológicos contribuem para uma produção de qualidade, pois esses fatores interferem no conteúdo de açúcares e no potencial enológico das uvas (PITHAN *et al.*, 2015).

Os índices de vegetação, assim, são meios eficazes para acompanhar alterações na planta, de importância para o monitoramento da videira. Neste sentido, este estudo teve como objetivo analisar o comportamento dos índices de vegetação gerado por sensores suborbital e proximal, e verificar se os índices são indicados para o monitoramento do vigor vegetativo em um vinhedo.

MATERIAL E MÉTODOS: O experimento foi realizado em um vinhedo comercial com a videira cv. Syrah, localizado no município de Ribeirão Preto-SP (21°17'24,53" S 47°50'46,83" O). A área possui 1,1 ha, com espaçamento entre fileiras de 2,8 m e de 1 m entre plantas, condução das plantas no sistema de espaldeiras no sistema de dupla poda e sistema de irrigação por gotejamento. Os dados foram coletados 100 dias após a poda de produção, no estágio maturação de bagas, durante o ciclo de produção de janeiro a julho de 2021 (uvas com colheita no inverno).

A aeronave remotamente pilotada (ARP) utilizada para coleta de dados foi um multirotor, modelo DJI Inspire 2. A câmera acoplada à ARP foi o sensor multiespectral RedEdge-M fabricado pela MicaSense, capaz de capturar informações nas bandas do azul, verde, vermelho, vermelho limítrofe e infravermelho próximo. A altura de voo limitou-se a 30 m, o que gerou imagens com resolução espacial de 0,02 m, com sobreposição frontal e lateral definida em 75%. As imagens foram processadas no *software* Agisoft™ MetaShape, versão 1.5.3 (Agisoft LLC, São Petersburgo, Rússia), que realizou a calibração dos números digitais em valores de reflectância por meio do painel de calibração da Micasense. Após a obtenção do ortomosaico, ocorreu a segmentação do dossel, com o intuito de isolar somente o objeto de interesse. A imagem foi classificada pelo algoritmo maximum likelihood (ML), por meio do semi-automatic classification plugin (SCP) no *software* QGIS (versão 3.16.14, Hannover).

Os dados de reflectância proximal foram adquiridos pelo sensor óptico ativo Crop Circle ACS-430 (Holland Scientific Inc., Lincoln, NE, EUA), tendo acoplado ao mesmo um receptor global navigation satellite system (GNSS). O sensor captura informações em três comprimentos de onda, do espectro eletromagnético do vermelho (670 nm), vermelho limítrofe (730 nm) e o infravermelho próximo (780 nm). O equipamento foi posicionado no topo do dossel para obter os dados de reflectância vertical a uma distância de aproximadamente 0,30 m do topo das videiras. O deslocamento manual ocorreu em velocidade constante por todas as fileiras de plantas.

Com o emprego de técnicas de geoprocessamento, foram utilizados três comprimentos de ondas (região do vermelho, vermelho limítrofe e infravermelho próximo), para determinar o índice do conteúdo de clorofila no dossel (CCCI), a razão simples modificada (MSR), a diferença normalizada do vermelho limítrofe (NDRE) e índice de vegetação por

diferença normalizada (NDVI). Posteriormente, os dados foram submetidos a uma análise estatística descritiva.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Somente o NDVI obtido pelo sensor suborbital apresentou uma baixa dispersão em torno da média, com variação de 7 % (Tabela 1). Segundo a classificação de Wilding (1985), os outros índices foram definidos como de moderada variabilidade em relação à média ($15 < CV \leq 35\%$), e o MSR e NDRE possuem os maiores valores, respectivamente, 21 e 19 %. Os índices de vegetação apresentaram assimetria positiva ($cs > 0$), com exceção do NDVI, com distribuição de dados de forma assimétrica negativa, pois a cauda mais longa está à esquerda do ponto central ($cs < 0$) (Tabela 1). O grau de achatamento determinado pela curtose mostra que o NDVI suborbital detém valor negativo.

TABELA 1. Análise estatística descritiva dos índices de vegetação obtidos por sensor suborbital

Índice de vegetação	\bar{X}	Med	sd	se	CV (%)	Cs	Ck	n
CCCI	0,410	0,409	0,067	0,0003	16	0,055599	0,0259	376068
MSR	2,060	2,014	0,442	0,0021	21	0,299659	0,329	376068
NDRE	0,300	0,300	0,056	0,0003	19	0,01374	0,0087	376068
NDVI	0,729	0,730	0,049	0,0002	7	-0,03863	-0,2291	376068

\bar{X} média; Med: mediana; sd: desvio padrão; se: erro padrão da média; CV: coeficiente de variação; Cs: assimetria; Ck: Curtose; n: número de amostras

TABELA 2. Análise estatística descritiva dos índices de vegetação obtidos por sensor proximal

Índice de vegetação	\bar{X}	Med	sd	se	CV (%)	Cs	Ck	n
CCCI	0,386	0,38	0,052	0,0003	14	0,141	0,584	35475
MSR	9,557	9,465	2,232	0,0122	23	0,124	0,500	34797
NDRE	0,311	0,307	0,051	0,0003	16	0,238	0,687	34997
NDVI	0,805	0,813	0,055	0,0003	7	-0,451	3,444	35332

\bar{X} : média; Med: mediana; sd: desvio padrão; se: erro padrão da média; CV: coeficiente de variação; Cs: assimetria; Ck: Curtose; n: número de amostras

Os índices de vegetação elaborados por meio do sensor proximal apresentaram um padrão comportamental semelhante a dos índices suborbitais, com o MSR e NDRE com um maior coeficiente de variação, respectivamente, com 23 % e 16 %, classificados como de variação moderada ($15 < CV \leq 35\%$) (Tabela 2). O CCCI e o NDVI apresentaram uma baixa dispersão ($CV \leq 15\%$), sendo o NDVI detentor do menor desempenho, com 7 %. Constatou-se um padrão assimétrico à esquerda do NDVI ($cs < 0$), enquanto os outros índices apresentaram estimativas positivas. Outro fator importante refere-se a curtose elevada no NDVI (Tabela 2).

O NDVI, quando comparado com demais índices, apresenta a menor variabilidade dos dados em torno da média diante de todas as estimativas; e obteve um padrão assimétrico enviesado à esquerda ($cs < 0$). A assimetria negativa é constatada nas duas estimativas, e pode ser confirmada pelos valores da média aritmética inferiores à mediana. Dessa forma, visualiza-se que o NDVI apresentou uma menor dispersão dos dados quando comparado com os outros índices vegetativos, e um valor médio de 0,73 e 0,81, respectivamente, para o sensor suborbital e proximal (Tabelas 1 e 2). Esses resultados indicam que no momento da coleta dos dados (maturação das uvas) as videiras estavam em condições de elevado índice de área foliar (IAF). Ao adotar este

estágio fenológico para análise do vigor vegetativo de forma suborbital e proximal na videira cv. Syrah, o NDVI demonstrou uma menor sensibilidade para mapear a variabilidade do vigor vegetativo no dossel. Uma peculiaridade designada a este índice refere-se ao rápido alcance da saturação em condições de média à alta densidade de biomassa e elevados IAF (GITELSON *et al.*, 2002). Um comportamento semelhante do NDVI em relação ao NDRE foi encontrado por Costa (2021), quando estudou a variabilidade do vigor vegetativo das videiras da cv. Cabernet Sauvignon e Cabernet Franc, em que o NDRE evidenciou maior eficiência para caracterizar a variabilidade do vigor vegetativo. O NDRE e CCCI utilizam o comprimento de onda do *red edge* considerada como um indicador sensível do conteúdo de clorofila foliar. Conforme as condições expostas nesta pesquisa, o NDRE, o CCCI e o MSR podem ser adotadas, em função da insensibilidade gerada pelo NDVI, em vinhedos com alto vigor vegetativo.

CONCLUSÕES: Há um padrão comportamental semelhante entre os dados analisados pelos sensores suborbital e proximal. Em ambos os métodos, foi constatada menor sensibilidade e saturação do NDVI em condições de dossel vegetativo denso. Nesse sentido, o CCCI, NDRE e MSR podem expressar de forma mais adequada a variabilidade do vigor vegetativo na época de maturação das bagas.

AGRADECIMENTOS: À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo ao primeiro autor; à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro, e à Vinícola Terras Altas, pela cessão do vinhedo para realização do experimento.

REFERÊNCIAS: URRETAVIZCAYA, I.; ROYO, J. B.; MIRANDA, C.; TISSEYRE, B.; GUILLAUME, S.; SANTESTEBAN, L. G. Relevance of sink-size estimation for within-field zone delineation in vineyards. **Precision Agriculture**, v. 18, n. 2, p. 133-144, 2017. DOI: 10.1007/s11119-016-9450-0.

MATESE, A.; BARALDI, R.; BERTON, A.; CESARACCIO, C.; GENNARO, S. F.; DUCE, P.; FACINI, O.; MAMELI, M. G.; PIGA, A.; ZALDEI, A. Estimation of Water Stress in grapevines using proximal and remote sensing methods. **Remote Sensing**, v. 10, n. 1, p. 1-16, 2018. DOI: 10.3390/rs10010114.

SANTESTEBAN, L. G.; GUILLAUME, S.; ROYO, J. B.; TISSEYRE, B. Are precision agriculture tools and methods relevant at the whole-vineyard scale? **Precision Agriculture**, v. 14, p.2-17, 2013. DOI: 10.1007/s11119-012-9268-3.

PITHAN, P. A.; JUNGES, A. H.; FARIAS, A. R.; HOFF, A. R. Monitoramento do ciclo de videiras pelo índice de vegetação por diferença normalizada obtido de imagens Landsat 8 no município de Veranópolis – RS, Brasil. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 17. (SBSR), 2015, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: INPE, 2015. p. 2944-2951.

GITELSON, A.A.; KAUFMAN, Y.J.; STARK, R.; RUNDQUIST, D. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. **Remote Sensing Environment**, v.80, p. 76-87, 2002.

COSTA, B. R. S. **Zonas de vigor vegetativo para colheita seletiva em viticultura irrigada com base em sensoriamento proximal**. Orientador: Luís Henrique Bassoi. 2021. Tese (doutorado em Agronomia – Irrigação e Drenagem) – Programa de Pós-graduação em Agronomia – Irrigação e Drenagem, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, 2021.

WILDING, L. P. Spatial variability: its documentation, accommodation, and implication to soil surveys. In: NIELSEN, D. R.; BOUMA, J. (eds.). **Soil spatial variability**. Wageningen: Las Vegas Pudoc, 1985. p. 166-194.