

DESEMPENHO DE MÉTODOS PARA ESTIMATIVA DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA EM VIDEIRAS MEDIANTE SENSORIAMENTO PROXIMAL

B. R. S. Costa¹, H. Oldoni¹, T. M. M. Silva¹, L. H. Bassoi^{2,*}

¹ FCA UNESP Depto de Engenharia Rural, Av. Universitária, 3780, 18610-034, Botucatu, SP

² Embrapa Instrumentação, R. XV de Novembro, 1452, Caixa Postal 741, 13560-970, São Carlos, São Paulo

* Autor correspondente, e-mail: luis.bassoi@embrapa.br

Resumo: O sensoriamento proximal do dossel de videiras (*Vitis vinifera* L.) permite o monitoramento intensivo do seu vigor vegetativo a partir da estimativa de índices de vegetação, a exemplo do NDVI. Dentre outros equipamentos comerciais, o sensor ACS-430 foi desenvolvido para fornecer medidas espectrais invariáveis em função da altura em relação aos alvos. Contudo, devido a descontinuidade do dossel de videiras conduzidas em espaldeira, o estudo objetivou avaliar o desempenho do ACS-430, comparando-se o NDVI estimado mediante diferentes disposições do equipamento em relação ao dossel e verificando-se a existência de associações significativas entre essas medidas e parâmetros biofísicos das plantas. A avaliação foi conduzida em vinhedos cultivados com as variedades Cabernet Franc e Cabernet Sauvignon. A distância e a orientação do sensor não proporcionaram diferenças significativas nas estimativas do NDVI. Entretanto, medidas realizadas no topo do dossel foram inferiores e significativamente diferentes em comparação àquelas tomadas na lateral das plantas (p-valor < 0,01). As medidas obtidas acima da copa se correlacionaram significativamente com a área total e a biomassa seca foliar. O NDVI estimado lateralmente, usando feixe luminoso projetado perpendicularmente e originado a 0,80 m do dossel, apresentou correlação significativa (p-valor < 0,10) com o índice de clorofila total das videiras.

Palavras-chave: instrumentação agrícola, viticultura de precisão, vigor vegetativo, teor relativo de clorofila.

PERFORMANCE OF METHODS FOR ESTIMATION OF THE NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX IN WINE VINES BY PROXIMAL SENSING

Abstract: Proximal sensing of grapevines (*Vitis vinifera* L.) allows the continuous monitoring of their vegetative vigor based on the estimation vegetation indexes such as the NDVI. Unlike others commercial devices, the ACS-430 active sensor was designed to provide height-independent spectral measurements. However, due to the canopy discontinuity of wine grapes trained in vertical shoot position trellis system, this study aimed to evaluate the performance of the ACS-430 by the comparison of NDVI obtained from different measuring arrangements and by the examination of associations between these measurements and plant biophysical traits. The evaluation took place at two different vineyards cultivated with Cabernet Franc and Cabernet Sauvignon. The measuring distance and the sensor orientation did not affect the NDVI estimations. Nevertheless, NDVI measurements taken at 0.30 m upward the canopy were lower and significantly different than those taken sideways (p-value < 0.01). The NDVI mensuration taken above the canopy was also well correlated with plant leaf area and dry biomass. NDVI measured sideways along the canopy, with an upright oriented light beam started at 0.80 m far, provided a significant association (p-value < 0.10) with relative leaf chlorophyll content.

Keywords: agricultural instrumentation, precision viticulture, vegetative vigor, relative leaf chlorophyll content.

1. Introdução

A avaliação do vigor vegetativo das culturas pode ser feita por meio da estimativa de índices de vegetação (IV), uma vez que a assinatura espectral de superfícies vegetadas se correlaciona com características biofísicas das folhas e, por sua vez, com aspectos agrônômicos dos cultivos, como a área foliar (VIÑA et al., 2010) e o estado nutricional e fitossanitário das mesmas (CAMMARANO, et al., 2014; FENG et al., 2017). Dentre os IV utilizados, o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) proposto por Rouse et al. (1973) tem seu uso comumente citado na literatura.

O vigor vegetativo das videiras afeta as condições microclimáticas e exerce influência sobre aspectos fisiológicos e produtivos das plantas. Assim, a medida do NDVI é uma alternativa viável para a avaliação da condição vegetativa da videira pois viabiliza o monitoramento intensivo de sua variabilidade no contexto da viticultura de precisão (VP). Assim, no cultivo de variedades viníferas de videiras, a utilização do NDVI tem sido direcionada para orientação da colheita diferenciada, bem como para a avaliação de parâmetros de qualidade e produção, conforme relatado por Best et al. (2005), Trought e Bramley (2011), Martinez-Casasnovas et al. (2012) e King et al. (2014).

Dentre as técnicas de monitoramento remoto dos IV, o sensoriamento proximal torna possível a avaliação contínua de atributos vegetativos da cultura ao nível de campo, graças ao desenvolvimento de tecnologias e equipamentos específicos, tais como os sensores ópticos de reflectância (GreenSeeker - Trimble Navigation Limited, Sunnyvale, CA, EUA) e os sensores ativos associados ao sistema portátil (Crop Circle - Holland Scientific, Lincoln, NE, EUA). O uso de sensores de reflectância na avaliação de cultivares viníferas de videiras é referenciada por demais autores (Drissi et al., 2009, Stamatiadis et al., 2009, Calcante et al., 2012, Takos et al., 2019).

Dentre os sensores que integram o sistema CropCircle, destaca-se o sensor ativo ACS-430, o qual incorpora três canais de medidas ópticas e fornece medidas simultâneas de reflectância nos comprimentos de 670, 730 e 780 nm, o que possibilita a estimativa do NDVI e de outros IV. O ACS-430 possui as vantagens de não sofrer influência das condições luminosas locais e de fornecer medidas que independem da altura do sensor em relação ao alvo, uma vez que as bandas de reflectância espectral são dimensionadas como porcentagens que não se alteram em função das distâncias em que são feitas as medidas.

Contudo, faz-se necessário avaliar o desempenho do sensor em culturas que apresentam dossel descontínuo, como ocorre em videiras conduzidas em espaladeira. Nessas condições a cultura é disposta em fileiras e apresenta uma pequena fração da vegetação cobrindo o solo, dada a orientação vertical de sua copa. Logo, para fins de recomendação de métodos adequados de uso do sensor ACS-430 em videiras cultivadas conforme mencionado, torna-se imprescindível avaliar os possíveis efeitos da localização, posição e distância do sensor quanto ao dossel das plantas, que resultem em medidas fidedignas do NDVI proporcionais ao vigor vegetativo dos vinhedos.

Desta forma, o estudo teve como objetivo testar o desempenho do sensor ativo ACS-430 para caracterização do vigor vegetativo de videiras viníferas cultivadas em sistema de espaladeira. Avaliou-se o efeito da adoção de diferentes metodologias de amostragem nas estimativas do NDVI. Além disso, examinou-se a existência e magnitude da associação entre o NDVI estimado por diferentes esquemas de disposição do sensor e parâmetros biofísicos relacionados à condição vegetativa de videiras.

2. Material e Métodos

As avaliações foram realizadas ao final do ciclo de produção de 2019 em 2 vinhedos comerciais irrigados pertencentes à Vinícola Guaspari, localizada no município de Espírito Santo do Pinhal, SP, durante o período de repouso vegetativo da cultura. Os vinhedos foram cultivados com as variedades Cabernet Franc (CF) e Cabernet Sauvignon (CS) (*Vitis vinifera* L.), ambas castas de uvas tintas, enxertadas sobre o porta-enxerto Paulsen 1103. Em ambos os vinhedos adotou-se o sistema de condução em espaladeira, com orientação vertical do dossel das plantas e sistema de poda de formação do tipo Royat, a partir do qual direcionou-se um único cordão esporonado por planta.

Em uma única ocasião, foram realizadas estimativas do NDVI em 54 videiras (27 plantas

por cultivar), compreendidas em 18 grupos de 3 plantas adjacentes cada, localizados em posições variadas nos vinhedos. A amostragem de dados foi feita por caminhamento utilizando-se o sensor ativo ACS-430 (Holland Scientific, Lincoln, NE, EUA), configurado para aquisição de 10 medidas por segundo, a partir das quais calculou-se valores médios para cada planta. Seis diferentes metodologias de amostragem (Tabela 1) foram delineadas a partir da combinação de 3 diferentes critérios: a) a localização do sensor (topo ou lateral); b) a orientação do sensor, ou seja, o sentido da projeção da luz emitida pelo equipamento (paralelo ou perpendicular); c) a distância do sensor (0,30 e 0,80 m) em relação ao dossel. Medidas distanciadas à 0,80 m acima do topo do dossel não foram tomadas, dada as dificuldades práticas para sua realização em razão da natureza portátil do sistema do qual o ACS-430 foi componente (CropCircle), levando-se em conta a altura das videiras.

Tabela 1. Critérios de delineamento dos métodos de amostragem do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) obtido por sensoriamento remoto proximal utilizando-se o sensor ACS-430 em cultivares viníferas de videira.

Método	Critério a	Critério b	Critério c
	Localização do sensor	Orientação do sensor	Distância do alvo
M1	Topo	Paralelo	0,30 m
M2	Topo	Perpendicular	0,30 m
M3	Lateral	Paralelo	0,30 m
M4	Lateral	Perpendicular	0,80 m
M5	Lateral	Paralelo	0,30 m
M6	Lateral	Perpendicular	0,80 m

Medidas de parâmetros biofísicos relacionados ao vigor vegetativo foram coletadas em 18 plantas (9 por cultivar) dentre aquelas nas quais empregou-se as metodologias de amostragem do NDVI. Essas plantas foram desfolhadas e uma amostra de 30 folhas por planta foi retirada para a medida do índice relativo de clorofila total (CL, adimensional) por meio do medidor portátil ClorofiLOG modelo CFL1030 (Falker Automação Agrícola, Porto Alegre, RS, Brasil). Na sequência, estimou-se a sua área foliar total (AF, m²) a partir do somatório de medidas das áreas individuais de todas as folhas componentes do seu dossel, obtidas por meio do integrador de área foliar LI-3100C (LI-COR, Lincoln, NE, EUA). Por fim, as folhas foram secas em estufa (50 °C, até atingirem peso constante) e pesadas para obtenção da massa da matéria seca foliar (MS, kg).

A comparação entre os valores médios das estimativas do NDVI obtidas pelas diferentes metodologias de coleta de dados foi feita por meio de análise de variância (ANOVA). Assumindo-se a significância do teste F, diferenças entre as metodologias quanto à estimativa do NDVI foram evidenciadas conforme o teste de comparações múltiplas de Scott Knott, considerando-se um nível de significância mínimo de 5% (valor $p < 0,05$). Além disso, testou-se a existência de correlações lineares entre as medidas de NDVI obtidas pelos diferentes métodos e os parâmetros biofísicos das videiras, por meio do cálculo do coeficiente de correlação de Pearson (r) e da estimativa de sua significância. Utilizou-se o *software* R versão 3.6.1 (R CORE TEAM, 2019) para a análise estatística dos dados.

3. Resultados e Discussão

As cultivares de videira avaliadas não apresentaram diferenças significativas entre si, segundo o teste F, quanto aos parâmetros biofísicos indicadores do vigor vegetativo mensurados nas ocasiões de amostragem do NDVI. Valores médios (\pm desvio padrão) dos parâmetros AF, CL e MS referentes às cultivares CF e CS, respectivamente, foram iguais a $1,099 \pm 0,316$ e $1,022 \pm 0,458$ m², $28,428 \pm 2,337$ e $27,759 \pm 2,460$ e $0,086 \pm 0,030$ e $0,070 \pm 0,036$ kg, nessa ordem. Esses resultados indicaram que as condições vegetativas das videiras de ambas as cultivares ao final do ciclo de produção foram semelhantes. Contudo, a magnitude da variabilidade relativa dos dados de todos os parâmetros mencionados também contribuiu para a ausência de diferenças significativas na

comparação entre as cultivares. Essa maior dispersão se deu em razão da escolha de plantas com condições vegetativas distintas, previamente selecionadas para fins de adoção das metodologias de amostragem do NDVI, considerando-se a obtenção de uma maior amplitude de valores desse índice.

As metodologias de amostragem apresentaram diferenças significativas segundo o teste F (p -valor $< 0,01$) quanto à estimativa do NDVI, assumindo-se o conjunto das observações realizadas em ambas as cultivares (Tabela 2). O teste de comparação múltipla permitiu diferenciar as metodologias de utilização do sensor ACS-430 baseando-se apenas no critério da localização do equipamento em relação à copa das videiras no momento da coleta de dados de NDVI. Foi possível observar que as medidas desse índice realizadas no topo do dossel foram inferiores e diferiram significativamente daquelas obtidas lateralmente às plantas. Por sua vez, não houve diferenças significativas entre as estimativas do NDVI obtidas pelos métodos no tocante à orientação do feixe de luz emitido pelo equipamento bem como à distância do sensor em referência ao dossel, uma vez que não diferiram entre si quanto a esses critérios.

Tabela 2. Estatística descritiva referente ao índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) obtido por sensoriamento remoto proximal utilizando-se o sensor ACS-430 em diferentes métodos de amostragem em cultivares viníferas de videira.

Método	Média	Desvio	CV (%)
M1	0,599 ^b	0,083	13,798
M2	0,581 ^b	0,078	13,373
M3	0,646 ^a	0,077	11,863
M4	0,621 ^a	0,065	10,424
M5	0,643 ^a	0,085	13,154
M6	0,628 ^a	0,064	10,246

Valores médios seguidos de mesma letra não diferem entre si segundo o teste de Scott Knott (p -valor $< 0,01$). CV (%) coeficiente de variação.

Avaliando-se a existência de correlações lineares significativas entre o NDVI estimado pelos métodos de amostragem e os parâmetros biofísicos das videiras (Tabela 3), observou-se que as metodologias que adotaram o topo do dossel como critério de localização do sensor no momento da amostragem, apresentaram melhor desempenho em comparação às demais. Nesse sentido, uma vez que os métodos M1 e M2 não diferiram entre si quanto aos valores médios estimados de NDVI, a caracterização do vigor vegetativo com base na AF independe do sentido da projeção do feixe de luz emitido pelo sensor. Entretanto, destaca-se que apenas o método M1 demonstrou correlação significativa quanto à MS. Por sua vez, apenas a estimativa do NDVI obtida pelo método M6 associou-se de maneira significativa com o CL, o que permitiu concluir que essa abordagem pode representar uma alternativa para a estimativa indireta do conteúdo de pigmentos fotossintéticos em ambas as cultivares de videira.

Tabela 3. Coeficientes de correlação linear de Pearson (r) referentes à associação entre o índice de vegetação por diferença normalizada obtido por sensoriamento remoto proximal em diferentes métodos de amostragem e parâmetros biofísicos de cultivares de videira.

Método	AF	CL	MS
M1	0,572 [*]	0,310 ^{ns}	0,505 [#]
M2	0,440 [#]	0,312 ^{ns}	0,332 ^{ns}
M3	0,072 ^{ns}	0,144 ^{ns}	-0,015 ^{ns}
M4	0,104 ^{ns}	0,192 ^{ns}	-0,038 ^{ns}
M5	0,322 ^{ns}	0,201 ^{ns}	0,185 ^{ns}
M6	0,324 ^{ns}	0,410 [#]	0,209 ^{ns}

*: significativo a 5%; #: significativo a 10%; ns: não significativo. AF: área foliar total; CL: teor relativo de clorofila foliar total; MS: massa da matéria seca de folhas.

4. Conclusões

A localização do sensor ACS-430 em relação ao dossel de videiras Cabernet Franc e Cabernet Sauvignon cultivadas em sistema de espaldeira afeta as estimativas de NDVI. Quando feitas a partir do topo das videiras, os valores são inferiores àqueles obtidos a partir do posicionamento do sensor lateralmente às plantas. A variação da orientação e da distância do feixe de luz em relação à copa não proporcionou diferenças significativas em tais estimativas.

Medidas do NDVI realizadas com o sensor posicionado no topo das videiras e distanciado a 0,30 m em relação ao dossel demonstraram correlações significativas com parâmetros indicadores do vigor vegetativo. Estimativas do mesmo índice obtidas com o sensor posicionado lateralmente às videiras, com feixe de luz originando-se a 0,80 m e orientado em sentido perpendicular em relação ao dossel, demonstraram correlação significativa com o teor relativo de clorofila total.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de estudos; ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de estudos e financiamento do projeto; à Vinícola Guaspari pela concessão da área e apoio durante a pesquisa; e à Embrapa Pecuária Sudeste pela disponibilização do equipamento para medição de área foliar em laboratório.

Referências

- BEST, S., LEÓN, L., CLARET, M. Use of precision viticulture tools to optimize the harvest of high-quality grapes. Proceed. In: FRUTIC FRUITS AND NUTS AND VEGETABLE PRODUCTION ENGINEERING TIC CONFERENCE, 2005, Montpellier. Proceedings... Montpellier: 2005, p.249-258.
- CALCANTE, A. et al. Evaluation of “ground sensing” optical sensors for diagnosis of *Plasmopara viticola* on vines. Spanish Journal of Agricultural Research, v. 10, n. 3, p. 619-630, 2012.
- CAMMARANO, D. et al. Assessing the robustness of vegetation indices to estimate wheat N in Mediterranean environments. Remote Sensing, v. 6, p. 2827-2844, feb. 2014.
- DRISSI, R. et al. Nondestructive measurement of grapevine leaf area by ground Normalized Difference Vegetation Index. Agronomy Journal, v. 101, n.1, p. 226-231, jan. 2009.
- FENG, W. et al. Canopy vegetation indices from in situ hyperspectral data to assess plant water status of winter wheat under powdery mildew stress. Frontiers in Plant Science, v. 8, 12p., 13 jul. 2017.
- KING, P. D. et al. Within-vineyard variability in vine vegetative growth, yield, and fruit and wine composition of Cabernet Sauvignon in Hawke’s Bay, New Zealand. Australian Journal of Grape and Wine Research, v. 20, n. 2, p. 234-246, jun. 2014.
- MARTINEZ-CASASNOVAS, J. A. et al. Analysis of vineyard differential management zones and relation to vine development, grape maturity and quality. Spanish Journal of Agricultural Research, v. 10, n. 2, p. 326-337, may. 2012.
- ROUSE, J. W. et al. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE SYMPOSIUM, 1973, Washington. Proceedings... Washington: NASA, 1973, p.309-317.
- STAMATIADIS, S. et al. Comparison of passive and active canopy sensors for the estimation of vine biomass production. Precision Agriculture, v. 11, n. 3, p. 306-315, jun. 2009.
- TASKOS, D. et al. Effects of an *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jol. extract on grapevine yield and berry composition of a Merlot vineyard. Scientia Horticulturae, v. 250, p. 27-32, 10 may. 2019.
- TROUGHT, M. C. T.; BRAMLEY, R. G. V. Vineyard variability in Marlborough, New Zealand: characterizing spatial and temporal changes in fruit composition and juice quality in the vineyard. Australian Journal of Grape and Wine Research, v. 17, p. 7989, jan. 2011.
- VIÑA, A. et al. Comparison of different vegetation indices for the remote assessment of green leaf area index of crops. Remote Sensing of Environment, v. 115, p. 3468-3478, 15 dec. 2010.