

CALIBRAÇÃO DE MEDIDOR PORTÁTIL PARA ESTIMATIVA DE TEOR FOLIAR DE N EM FUNÇÃO DE ZONAS DE VIGOR VEGETATIVO DE VIDEIRAS FERTIRRIGADAS

Luis Henrique Bassoi¹; Thassio Monteiro Menezes da Silva²; Bruno Ricardo Silva Costa³; Henrique Oldoni⁴; Milene Corso Mitsuyuki⁵

¹Engenheiro Agrônomo, Pesquisador - Embrapa Instrumentação, Rua XV de Novembro, 1452 CEP 13561-206 São Carlos - SP. luis.bassoi@embrapa.br / (16) 9 8206-4653; ²Engenheiro Agrônomo, Doutorando - FCA UNESP Depto de Engenharia Rual e Socioeconomia, Av. Universitária, 3780 CEP 18610-034 Botucatu-SP; ³Engenheiro Agrônomo, Doutor - FCA UNESP Depto de Engenharia Rual e Socioeconomia, Av. Universitária, 3780 CEP 18610-034 Botucatu-SP; ⁴Engenheiro Arícola, Doutor - FCA UNESP Depto de Engenharia Rual e Socioeconomia, Av. Universitária, 3780 CEP 18610-034 Botucatu-SP; ⁵Estatística, Analista - Embrapa Instrumentação, Rua XV de Novembro, 1452 CEP 13561-206 São Carlos - SP

Apresentado no
Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2022
Campinas, SP, 09 a 11 de agosto de 2022

RESUMO: O monitoramento do teor foliar de nitrogênio pode auxiliar no manejo nutricional de uma cultura. O presente trabalho teve como objetivo propor um procedimento de fácil utilização do clorofilômetro portátil no contexto da viticultura de precisão. O estudo foi desenvolvido em um vinhedo com a ‘Chardonnay’ sobre o porta-enxerto ‘Paulsen 1103’ e fertirrigado por gotejamento. Leituras com o medidor portátil de clorofila foram realizadas em 40 plantas em duas zonas de vigor vegetativo da videira e em 4 datas de amostragem de folhas ao longo do ciclo de produção da cultura em 2019. Posteriormente, foram determinados em laboratório os teores de nitrogênio foliar para relacioná-los com os índices relativos de clorofila por meio de equações de estimativa generalizada. A função desenvolvida para o teor foliar de N apresenta erro de predição considerável, porém capaz de fornecer uma boa estimativa.

PALAVRAS-CHAVE: Videira para vinho; zona homogênea; viticultura de precisão

CALIBRATION OF PORTABLE METER TO ESTIMATE N LEAF CONTENT AS A FUNCTION OF VEGETATIVE VIGOR ZONES OF FERTIRRIGATED VINES

ABSTRACT: The monitoring of the leaf N content is helpful to the crop nutritional management. The present work aimed to propose an easy-to-use procedure for the hand-held chlorophyll meter in the context of precision viticulture. The study was carried out in a vineyard with ‘Chardonnay’ grafted onto ‘Paulsen 1103’ rootstock and fertigated by a drip irrigation system. Readings with the hand-held meter were performed on 40 plants from two grapevine’s vegetative vigor and on 4 leaf sampling dates throughout the 2019 growing season. Subsequently, the leaf nitrogen contents were determined in laboratory to relate them to the relative chlorophyll indices through generalized estimation equations. The function developed for the leaf N content presents considerable prediction error, but capable of providing a good estimate.

KEYWORDS: Wine grapevine; homogeneous zone; precision viticulture

INTRODUÇÃO: O nitrogênio é um elemento vital às plantas por ser parte constituinte de inúmeros compostos orgânicos como clorofilas, proteínas, ácidos nucleicos, enzimas, coenzimas e citocromos (O’Brien et al., 2016). Em algumas culturas, o teor de clorofila nas folhas se correlaciona positivamente com a concentração foliar de nitrogênio (N), correspondendo a 70% do N (nitrogênio) contido nos cloroplastos ao participarem da síntese e da estrutura da clorofila (Wood *et al.*, 1993). Os modelos que descrevem a relação entre as leituras dos equipamentos portáteis variam com a cultura e requerem calibração independente (Uddling *et al.*, 2007). O clorofilômetro portátil possibilita estimar os conteúdos de N presente nas folhas através do ajuste de funções de regressão, e se tornar uma ferramenta de gestão agrícola, com ênfase na viticultura de precisão, por meio do monitoramento da variabilidade espacial e temporal desse atributo da planta. Assim, o presente trabalho teve como objetivo propor um procedimento para a calibração do clorofilômetro levando-se em conta as zonas de vigor vegetativo da videira em um vinhedo fertirrigado por gotejamento.

MATERIAIS E MÉTODOS: O estudo foi desenvolvido no município de Espírito Santo do Pinhal, São Paulo, em um vinhedo com a *cv.* Chardonnay enxertada sobre o porta-enxerto Paulsen 1103 subdividido em duas áreas contíguas que juntas somam 1,1 ha, implantado em 2008 e fertirrigado por um sistema de irrigação localizada (gotejamento). As aplicações de nitrato de amônio via irrigação ocorreram aos, 2, 3, 11 e 23 dias após a poda (DAP) com doses equivalentes a 12,6 kg ha⁻¹, 36,0 kg ha⁻¹, 36,0 kg ha⁻¹ e 36,0 kg ha⁻¹, nessa ordem. O solo do vinhedo foi classificado como Cambissolo Háplico Tb, A moderado, e Neossolo Regolítico, A húmico, ambos eutróficos típicos, de textura argilosa, com cascalho, apresentando na área 1 um complexo e na área 2 uma associação dos mesmos (Oldoni *et al.*, 2021). Com base na distribuição espacial do NDVI da área evidenciada nos ciclos de produção de 2017 e 2018 por Oldoni *et al.* (2021), foi possível relacionar nas ocasiões o NDVI com o vigor vegetativo das videiras. Desta maneira, as zonas de NDVI orientaram na escolha dos locais para a coleta de dados no ciclo de produção de 2019 (FIGURA 1), que teve a sua poda em 7 de janeiro e a colheita em 17 de maio (ciclo de 130 dias), em um sistema de produção de uvas para colheita no inverno, utilizando o manejo da dupla-poda da videira.

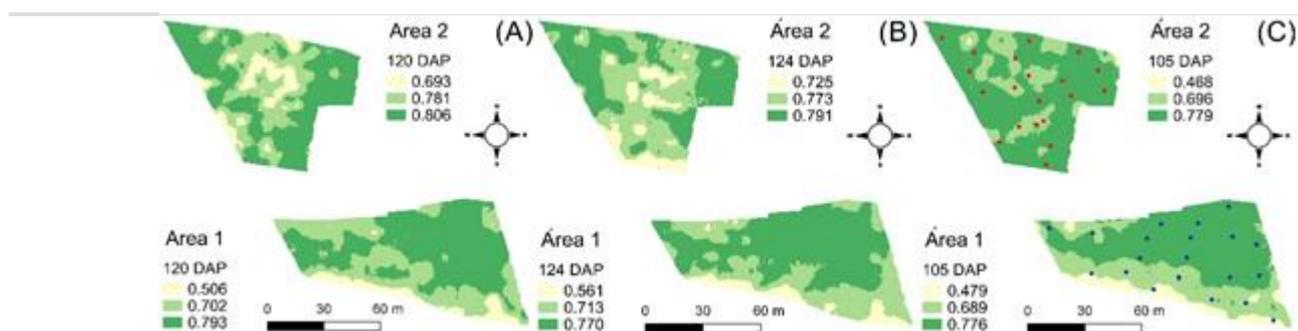


FIGURA 1. Distribuição espacial do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) referente aos anos de 2017(A), 2018(B) e 2019(C).

As leituras com o medidor portátil de clorofila foram realizadas em 40 plantas (FIGURA 1C) por data de coleta com os estádios fenológicos ocorrendo em 7 de fevereiro (brotação), 22 de fevereiro (chumbinho), 21 de março (ervilha) e 22 de abril (maturação), e correspondentes a 31, 46, 73 e 105 dias após a poda (DAP). Em cada planta foram selecionadas duas folhas totalmente expandidas, sem o indício do ataque de pragas ou de doenças, com a realização das medidas sendo feitas em dois pontos na face adaxial de cada folha. Entre as 40 plantas amostradas por data (160 no total), os teores de nitrogênio foram determinados em 10 plantas por data (40 no total). As plantas foram selecionadas baseado nos índices relativos de clorofila (IC) fornecidos pelo clorofilômetro onde as 5 maiores e as 5 menores de cada data foram processadas para a determinação do teor foliar de nitrogênio total (NF), pelo analisador elementar modelo Perkin-Elmer CHN 2400, conforme Merlini *et al.* (2017). Os IC foram relacionados com os teores de N por meio do método das equações de estimativa generalizada (Zeger e Liang, 1986; Liang e Zeger, 1986) para estimar parâmetros de regressão especialmente quando os dados são autocorrelacionados. Os modelos de calibração de IC em função de NF foram desenvolvidos a partir dos dados obtidos na Área 1 (70% dos dados), sendo sua validação realizada com dados pertencentes à Área 2 (30% dos dados). A classificação do modelo melhor ajustado foi feita com base no RMSE (raiz do erro quadrático médio). O *software* utilizado nas análises foi o R versão 4.03 (R CORE TEAM, 2021) e o pacote utilizado foi “geepack” desenvolvido por Højsgaard, Halekoh e Yan (2006).

RESULTADOS E DISCUSSÃO: O modelo descrito na TABELA 1 foi o que apresentou o melhor resultado para a predição do teor de nitrogênio foliar em videiras ‘Chardonnay’ em função dos índices relativos de clorofila *a* e *b* obtidos pelo clorofilômetro.

TABELA 1. Modelo de predição do teor de nitrogênio foliar ajustado em função dos índices relativos de clorofila *a* e *b* obtidos pelo clorofilômetro.

Modelo	R ²	RMSEP
$N_{\text{foliar}} = 59,355 - 4,1333 * (\text{clorofila } a) + 0,0686 * (\text{clorofila } a)^2 + 6,1294 * (\text{clorofila } b) - 0,3079 * (\text{clorofila } b)^2$	0,26	3,39

R²: coeficiente de determinação; RMSEP: raiz do erro quadrático médio da estimativa

Os resultados contidos na TABELA 2 representam a análise de variância do modelo de estimação generalizada desenvolvido para a calibração do clorofilômetro em função do teor de nitrogênio foliar presente nas videiras ‘Chardonnay’. O comportamento dos dados foi melhor representado por uma função quadrática ascendente.

TABELA 2. Modelo de predição do teor de nitrogênio foliar ajustado em função dos índices relativos de clorofila *a* e *b* obtidos pelo clorofilômetro.

FV	GL	χ^2	p-valor
Clorofila <i>a</i>	1	27,26	<0,001
(Clorofila <i>a</i>) ²	1	0,09	0,77
Clorofila <i>b</i>	1	0,09	0,77
(Clorofila <i>b</i>) ²	1	16,35	<0,001

FV: fonte de variação; GL: grau de liberdade; χ^2 : qui-quadrado

Os dados apresentados na FIGURA 1 são referentes ao modelo de predição do teor de nitrogênio foliar a partir dos índices relativos de clorofila *a* e *b* (medidas fornecidas pelo equipamento). Com base nos resultados para calibração e validação do modelo, os coeficientes de determinação foram de 0,67 e 0,26 o que significa que o modelo quando validado é capaz de explicar apenas 26% dos dados. Taskos *et al.* (2015) encontraram comportamentos semelhantes para o SPAD-502 com os coeficientes de determinação da calibração variando entre 0,44 a 0,74 e 0,15 a 0,52, respectivamente, para videiras ‘Cabernet Sauvignon’ e ‘Xinomavro’. Vale ressaltar que os modelos apresentados por Taskos *et al.* (2015) não foram validados como no presente estudo.

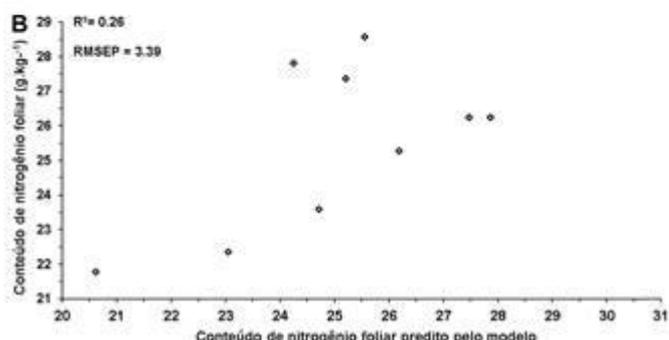
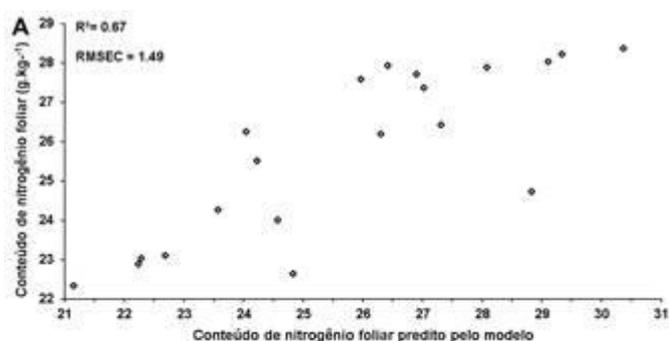


FIGURA 1. Modelos de calibração e validação para a predição do teor de nitrogênio foliar em videiras ‘Chardonnay’ a partir do índice relativo de clorofila total obtido pelo clorofilômetro.

Já os valores obtidos para o RMSEC e o RMSEP foram os melhores resultados para a calibração e validação do modelo de predição do clorofilômetro, correspondendo a 1,49 e 3,39 respectivamente. A diferença existente entre os valores do RMSEC e RMSEP demonstram a necessidade da validação dos modelos, uma vez que somente a calibração não é o suficiente para atestar a precisão e a acurácia dos mesmos. Quanto ao emprego prático dos modelos obtidos, é possível afirmar a existência de certo grau de limitação. A depender da amplitude de suficiência nutricional adotada, o modelo pode apresentar um erro (RMSEP) maior que a diferença entre os limites máximo e mínimo. Mesmo diante este cenário, o modelo pode ser empregado desde que considerado o seu erro, podendo proporcionar aos usuários uma boa estimativa do estado nutricional do vinhedo. Para Taskos *et al.* (2015), a alta complexidade existente nas relações entre o nitrogênio e ambiente impossibilitam a sua compreensão por meio de um único modelo matemático, necessitando assim, de modelagens periódicas.

CONCLUSÃO: A calibração e validação do clorofilômetro para estimativa de teores de nitrogênio foliar na videira permite afirmar que a função desenvolvida apresenta erro de predição, porém mesmo diante das suas limitações é capaz de fornecer ao usuário uma boa estimativa do estado nutricional, principalmente quando operado em maiores amplitudes de suficiência nutricional.

AGRADECIMENTOS:

À Vinícola Guaspari (Espírito Santo do Pinhal - SP), pela cessão do vinhedo para realização do trabalho em parceria. Ao CNPq e à CAPES, pela concessão de bolsas de estudos, respectivamente, ao segundo e terceiro autores e ao quarto autor. À Rede de Agricultura de Precisão da Embrapa, pelo suporte técnico.

REFERÊNCIAS

HØJSGAARD, S.; HALEKOH, U; YAN, J.; 2006: The R Package geepack for Generalized Estimating Equations. *J. Stat. Softw.* **15**, 1-11.

LIANG, K. Y.; ZEGER, S. L. Longitudinal data analysis using generalized linear models. *Biometrika*, v.73: 13-22, 1986.

MERLINI, C.; BARRA G. M. O.; CUNHA, M. D. P. P.; RAMÔA, S. D. A. S.; SOARES, B. G.; PEGORETTI, A. Compósitos eletricamente condutivos de poliuretano derivados do óleo de mamona com fibras de palma de pêssego revestidas com polipirrol. *Compósitos de polímeros*, v.38, n.10, p. 2146-2155, 2017.

O'BRIEN, J. A.; VEJA, A.; BOUGUYON, E.; KROUK, G.; GOJON, A.; CORUZZI, G.; GUTIÉRREZ, R. A.; 2016: Nitrate Transport, Sensing, and Responses in Plants. *Mol Plant* **9**, 837-856. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.molp.2016.05.004>

OLDONI, H.; COSTA, B. R. S.; BOGNOLA, I. A.; SOUZA, C. R.; BASSOI, L.H. Homogeneous zones of vegetation index for characterizing variability and site-specific management in vineyards. *Scientia Agricola*, v. 78, n.4, e20190243, 2021. DOI: 10.1590/1678-992x-2019-0243.

R CORE TEAM; 2021: R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing.

SHAH, S. H.; HOUBORG, R.; MC CABE, M. F.; 2017: Response of chlorophyll, carotenoid and SPAD-502 measurement to salinity and nutrient stress in wheat (*Triticum aestivum L.*). *Agron J* **7**, 61-81. DOI: <https://dx.doi.org/10.3390/agronomy7030061>

TASKOS, D. G.; KOUNDOURAS, S.; STAMATIADIS, S.; ZIOZIOU, E.; NIKOLAOU, N.; KARAKIOULAKIS, K.; THEODOROU, N. Using active canopy sensors and chlorophyll meters to estimate grapevine nitrogen status and productivity. **Precision agriculture**, v. 16, n. 1, p. 77-98, 2015. DOI: 10.1007/s11119-014-9363-8.

UDDLING, J.; GELANG-ALFREDSSON, J.; PIIKKI, K.; PLEUEL, H. Evaluating the relationship between leaf chlorophyll concentration and SPAD-502 chlorophyll meter readings. **Journal Photosynthesis Research**, Netherlands, v. 91, n. 1, p. 37-46, 2007. DOI: 10.1007/s11120-006-9077-5

WOOD, C. W.; REEVES, D. W.; HIMELRICK, D. J. Relationships between chlorophyll meter readings and leaf chlorophyll concentration, N status, and crop yield: a review. **Proceedings Agronomy Society of New Zealand**, v. 23, p. 1-9, 1993.

ZEGER, S. L.; LIANG, K. Y. Longitudinal data analysis for discrete and continuous outcomes. **Biometrics**, v. 42, p. 121-130, 1986.