TEOR FOLIAR DE N-P-K EM BATATA E SUA CORRELAÇÃO COM ÍNDICE GNDVI OBTIDO POR DRONE

LEANDRO GONÇALVES DOS SANTOS[1], MARCELO FOLETTO LIMBERGER[2], HENRIQUE DOS SANTOS FELIPETTO[3]

[1]Dr. Professor/Pesquisador, IF BAIANO, Guanambi-BA, leandro.santos@ifbaiano.edu.br;
[2]Especialista em Drones e Vants, PUCPR, Santa Maria-RS, engmarcelolimberger@gmail.com.br;
[3]Doutorando em Engenharia Agrícola UNIOSTE, Professor Assistente da UTFPR, felipetto@utfpr.edu.br;

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC
15 a 17 de setembro de 2021

RESUMO: A aplicação de aeronave remotamente pilotada (RPA) vem ganhando cada vez mais espaço em missões com finalidades civis pacíficas, dentre elas o sensoriamento agrícola e ambiental. O objetivo principal deste estudo foi correlacionar o teor foliar de nitrogênio e potássio na cultura da batata com o índice de vegetação normalizada no verde (GNDVI), obtido por imagens capturadas com uso de drone de asa fixa. Este trabalho foi realizado em Três Mártires, distrito do município de Júlio de Castilhos-RS. As imagens foram capturadas pelo sensor óptico Canon S100, embarcado no drone modelo Maptor e processadas no software Pix4D para geração do ortofotomosaico e mapa de índice GNDVI. Detectou-se que os teores foliares de P estavam adequados e que os teores foliares de N e K estavam abaixo do recomendado para a cultura. Apenas o teor de P apresentou correlação significativa negativa com o índice GNDVI. Por serem escassas na literatura informações sobre índices vegetativos obtidos por drones na cultura da batata, estes resultados podem compor um banco de dados para estudos futuros. A utilização do drone no monitoramento de lavouras para obtenção de índice vegetativo demonstrou ser uma ferramenta de rápido diagnóstico para profissionais da Agronomia e produtores.
PALAVRAS-CHAVE: Mapeamento aéreo, Agricultura de precisão, RPA, UAV

FOLIAR CONTENT OF N-P-K IN POTATO AND ITS CORRELATION WITH GNDVI INDEX OBTAINED BY DRONE

ABSTRACT: The application of remotely piloted aircraft (RPA) has been gaining more and more space in missions with peaceful civilian purposes, among them agricultural and environmental sensing. The main objective of this study was to correlate the foliar nitrogen and potassium content in the potato crop with the of green normalized difference vegetation index (GNDVI), obtained by images captured using a fixed wing drone. This work was carried out in Três Mártires, district of the municipality of Júlio de Castilhos-RS. The images were captured by the Canon S100 optical sensor, embedded in the Maptor model drone and processed in the Pix4D software to generate the orthophotomosaic and GNDVI index map. It was detected that the leaf contents of P were adequate and that the leaf contents of N and K were below the recommended for the culture. Only the P content showed a significant negative correlation with the GNDVI index. As information on vegetative indexes obtained by drones in potato cultivation is scarce in the literature, these results may compose a database for future studies. The use of the drone to monitor crops to obtain a vegetative index has proved to be a quick diagnostic tool for agronomy professionals and producers.
KEYWORDS: Aerial mapping, Precision agriculture, RPA, UAV

INTRODUÇÃO

Com a introdução de novas tecnologias eletrônicas, como sensores inerciais baseados em micro eletromecânica, tornou-se possível a utilização de dispositivos deste tipo em aeronaves de

pequena envergadura e de baixo custo, o que abre diversas aplicações em variados setores comerciais e da sociedade civil.

A captura de imagens com Aeronave Remotamente Pilotada (RPA) possui algumas vantagens em relação àquelas capturadas por satélites, dentre elas destaca-se a maior riqueza de detalhamento devido a maior resolução espacial. O uso da técnica de sensoriamento remoto com drones utilizando câmeras para medição da reflectância da vegetação vem se tornando uma ferramenta muito utilizada para o monitoramento das lavouras em razão de sua rápida resposta na obtenção dos dados e operação.

Atualmente as câmeras multiespectrais vêm sendo acopladas em drones para avaliar a reflectância do dossel das culturas e permitir detectar, por exemplo, o nível nutricional e a severidade do ataque de pragas e doenças nas plantas.

Para conseguir extrair dados relacionados à saúde da vegetação é necessário um sensor específico capaz de capturar imagens na região do infravermelho próximo do espectro eletromagnético, comprimento de onda que os humanos não conseguem enxergar, e essas câmeras são conhecidas como NIR (Near Infrared). Utilizando uma equação entre as bandas do verde do espectro visível e a banda infravermelho próximo, pode-se calcular o índice chamado GNDVI que significa Green Normalized Difference Vegetation Index (Gitelson et al., 1996).

A diagnose nutricional da planta avalia o teor dos nutrientes e a expressão de sintomas de deficiência na folha e os métodos convencionais para fazer essa verificação tendem a ser demorados principalmente em áreas de cultivo de maior dimensão. Dessa forma, a presente pesquisa teve como alvo a cultura da batata cujo objetivo foi realizar uma análise da correlação entre os teores foliares de nitrogênio, fósforo e potássio com o índice de vegetação GNDVI, obtido através de imagens de drone, tornando o diagnóstico mais rápido.

MATERIAL E MÉTODOS

A coleta de dados foi realizada numa fazenda produtora de batata, localizada em Três Mártires, distrito do município de Júlio de Castilhos, no Rio Grande do Sul, nas coordenadas UTM 244890,14 E e 6725072,30 N e 244422,85 E e 6724674,30 N, Fuso 22, Zona J, com uma altitude média de 470 m. O clima da região, de acordo com Köppen e Geiger, é classificado no tipo Cfa, clima subtropical úmido com precipitação anual regularmente distribuída (Gomes & Wollmann, 2016).

A cultura estudada foi a batata inglesa (*Solanum tuberosum* L), cultivar Asterix cultivada em ciclo de inverno de modo convencional, numa área de 9,34 ha previamente cultivada com soja e pastagem. O plantio ocorreu em 3 de março de 2017, utilizando o espaçamento de 0,70 m entre linhas e 0,30 m entre um tubérculo e outro. Aos 15 dias após o plantio realizou-se a capina e amontoa mecanizada buscando eliminar plantas invasoras, incorporar a adubação de cobertura e formação do camalhão.

As imagens para obtenção do índice de vegetação normalizada pelo verde (GNDVI) foram capturadas aos 90 dias após o plantio momento em que a cultura se encontrava no estágio fenológico 5, que compreende o ápice da maturação e início de senescência das folhas, momento em que também se realizou a coleta de amostras de planta para fins de diagnose foliar.

A aeronave remotamente pilotada utilizada foi o modelo Maptor da Horus Aeronaves, embarcada com sensor óptico Canon S100 com modificação do filtro para obtenção de imagens NIR (sensor CMOS; resolução de 12,1 Mp). O processamento foi realizado utilizando o software Pix4D Mapper Pro versão 3.2.23. Para extrair o valor do índice GNDVI com maior exatidão utilizou-se o software QGIS versão 2.18.12, pois neste foi possível obter o valor pixel nos pontos do grid de amostragem.

Para coleta de tecido foliar utilizou-se o grid de amostragem com células de formato retangular com 0,5 ha de área. Em cada ponto de amostragem, foram coletadas 5 sub amostras de tecido foliar, com uma distância aproximada de 2 m a partir do ponto central nas direções: norte, sul, leste e oeste. Coletou-se a terceira folha completamente expandida a partir do ápice da planta conforme Lorenzi et al. (1997) para em seguida proceder com análises químicas.

Para realizar a análise estatística conferiu-se a normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk prosseguindo-se com a análise da estatística descritiva e a correlação de Spearman.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o teor foliar de N observou-se o valor médio de 35,89 g/kg, entretanto com seu desvio padrão de 4,58 justificado pela variação entre 28,06 g/kg e 43,62 g/kg, para o mínimo e máximo, respectivamente (tabela 1). O teor foliar de P observou-se variação entre 2,86 e 5,76 g/kg, sendo 4,04 g/kg o teor médio. Para o K, observou-se uma variação entre 9,88 e 31,86 g/kg, sendo o teor médio na folha de 23,27 g/kg. O índice GNDVI apresentou pouca variação, oscilando entre valor mínimo de 0,61 e máximo de 0,9, com média de 0,79.

Tabela 1: Análise descritiva dos dados

Estatísticas Descritivas	**N (g/kg)**	**P (g/kg)**	**K (g/kg)**	**GNDVI**
Mínimo	28,06	2,86	9,88	0,61
Média	35,89	4,04	23,27	0,79
Mediana	36,02	4,18	24,64	0,80
Máximo	43,62	5,76	31,86	0,90
Desvio Padrão	4,58	0,82	6,81	0,07
CV (%)	17,36	21, 04	19,77	8,22

Ainda de acordo com os dados da tabela 1 e com a classificação proposta por Warrick & Nilsen (1980), verifica-se que o coeficiente de variação foi baixo (CV<12%) para o índice GNDVI e médio (12%<CV<60%) para os teores foliares de N e K. Os teores de N e K na folha apresentam maior amplitude entre os valores mínimos e máximos, o que justifica os maiores coeficientes de variação, e que também é indício de maior variabilidade espacial dos dados.

Fernandes et al. (2011) avaliando a extração e exportação de nutrientes em batata, observaram para a cultivar Asterix o teor foliar de 24,08 g/kg de N aos 90 dias após o plantio corroborando com os valores obtidos nesse estudo. Fernandes et al. (2017) observaram teor de N foliar variando entre 46 e 57 g/kg ao estudar a absorção e remoção de nutrientes em cultivares de batata, teores estes que superam os encontrados neste estudo.

De acordo com Lorenzi et al. (1997) a faixa adequada do teor foliar para a cultura da batata na época do florescimento, é de 40,0 a 50,0 g/kg de N, portanto os valores observados na área de estudo demonstram que a lavoura encontra-se com níveis insuficientes de nitrogênio o que poderá resultar em produção abaixo do potencial da cultura.

Fernandes et al. (2011) estudando o acúmulo e exportação de nutrientes em batata, observaram variação no teor foliar de P reduzindo de 7,4 a 3,7 g/kg com o avanço do estágio fenológico. Essa acumulação no período inicial de desenvolvimento e sua posterior redução com o avançar dos estágios fenológicos também foram relatadas em outras cultivares de batata.

Avaliando a fertilização fosfatada em diferentes cultivares de batata, Fernandes et al. (2017) observaram teor foliar de P variando entre 1,6 e 5,3 g/kg. Para a cultivar Asterix este autor relatou teor foliar médio de P de 2,1 cultivada em solos com níveis de fósforo variando entre 14 e 70 mg dm^{-3}.

Para garantir de 99 a 100% da produção, Reis Junior (1995) verificou que são necessários de 74,1 a 89,1 g/kg de K no teor foliar da batateira. Avaliando o desempenho de cinco cultivares de batata, Fernandes et al. (2017) observaram teor foliar médio de 32 g/kg de K na cultivar Asterix.

Os teores de nutrientes presentes nos tubérculos e folhas são influenciados por fatores ambientais e genéticos (White et al., 2009), o que resultam em taxas diferenciadas de extração e translocação ao longo do ciclo da cultura da batata. De acordo com Fernandes et al. (2011) após a fase de tuberização, os tubérculos são os drenos preferenciais da translocação de N, P, K e S nesta cultura.

De acordo com Lorenzi et al. (1997), a faixa adequada do teor foliar para a cultura da batata na época do florescimento, é de 40,0 a 50,0 g/kg de N, 2,5 a 5,0 g/kg de P e 40,0 a 65,0 g/kg de K. Portanto, e apenas o teor de P estaria dentro da faixa adequada, enquanto os teores de N e K estão abaixo dos valores de referência indicando que esse teor insuficiente de potássio poderá resultar em baixa produção.

O teor foliar de P se correlaciona negativamente com o índice GNDVI, o que significa que as varáveis variam em sentido contrário, assim como ocorre também entre as variáveis teor foliar de P e K. Teores baixos de fósforo na folha estão associados a índice GNDVI mais elevado, e vice-versa. Isto

se deve ao fato de que plantas deficientes em fósforo, apresentam como sintomas, hastes delgadas e folhas pequenas, opacas e com coloração verde escuro (Sanchez, 1937).

O índice GNDVI observado na cultura da batata aos 90 dias após plantio apresentou baixo desvio padrão, sendo o valor médio observado de 0,78. Não foram encontrados dados na literatura que correlacione o teor foliar com o índice GNDVI.

Na tabela 2 estão dispostos os valores da correlação de Spearman calculados a partir do valor médio de GNDVI e dos teores de N, P e K. O coeficiente de correlação varia de -1 a +1 de modo que o valor positivo indica que ambas varáveis estão aumentando e o valor negativo indica que essas variáveis estão diminuindo.

Tabela 2: Correlação entre Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Potássio (K) e GNDVI.

	GNDVI	N	K
N	-0,4204^{ns}		
K	0,2404 ^{ns}	0,0101^{ns}	
P	-0,5800**	0,4636 ^{ns}	-0,5460*

^{ns}= não significativo. * e **= significativo a 5 e 1%, respectivamente pelo teste de t "student".

Segundo Callegari-Jacques (2003), o coeficiente de correlação pode ser avaliado qualitativamente da seguinte forma: fraca correlação linear ($0 < | p | <0,30$), moderada correlação linear ($0,30 \leq | p | < 0,60$), forte correlação linear ($0,60 \leq | p | < 0,90$) e muito forte correlação linear ($0,90 \leq | p | < 1,00$).

O teor foliar de N se correlaciona moderadamente de forma negativa com o índice GNDVI, o que significa que as varáveis variam em sentido contrário, contudo não há significância entre as variáveis pelo teste de t. O teor de K apresenta fraca correlação linear com o índice GNDVI e não há significância entre as variáveis pelo teste de t. O teor de P apresenta moderada correlação linear negativa com o índice GNDVI, com nível de significância de 1% pelo teste de t.

Observa-se nos gráficos de dispersão (Figura 1) que a baixa proximidade dos pontos com a reta, indicam uma associação não tão forte entre os teores de N, P e K com o índice GNDVI. A associação negativa entre as variáveis teor foliar de N e de P (Figura 1A e 1B) com o índice GNDVI é explicado por apresentar coeficientes de correlação com valor menor que zero (tabela 2).

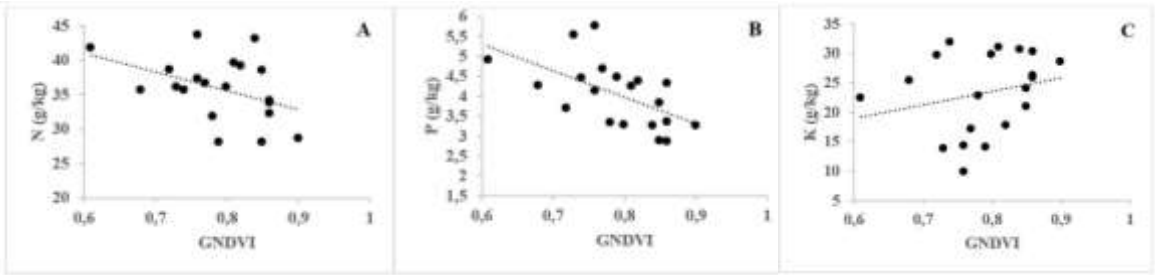

Figura 1: Gráfico de dispersão das correlações de GNDVI com os teores de Nitrogênio (A), GNDVI com Fósforo (B) e GNDVI com Potássio (C).

Júnior et al. (2007), observaram correlação significativa entre o índice GNDVI e o SPAD utilizando imagens multiespectrais para detectar diferentes níveis nutricionais em *Brachiaria decumbens*. Diversos autores apontam correlação significativa entre o índice GNDVI e o teor foliar de N nas fases iniciais de desenvolvimento, até o momento da floração em diferentes culturas (Zhu et al. 2006; Junior et al., 2007; Gutiérres-Rodríguez et al. 2006; Kyratzis, et al., 2017).

Neste estudo, a avaliação do teor foliar de N e K e obtenção do índice GNDVI ocorreram quando a cultura se encontrava numa fase de desenvolvimento mais avançada (90 dias após semeadura), podendo ser esta a razão da não obtenção de correlação entre as variáveis analisadas.

CONCLUSÃO

Os teores foliares de N e K observados estão abaixo do recomendado para a cultura da batata.Não foi observada correlação significativa entre os teores de N e de K com o índice GNDVI. O

teor de foliar de P se correlaciona negativamente com o índice GNDVI, demonstrando ser, este índice, uma variável capaz de estimar indiretamente o nível nutricional deste elemento na planta.

REFERÊNCIAS

CALLEGARI-JACQUES, S. M. Bioestatística: princípios e aplicações. Porto Alegre: Artemed, 2003. 255p.

FERNANDES, A. M.; SORATTO, R. P.; SILVA, B. L. Extração e exportação de nutrientes em cultivares de batata: I – macronutrientes. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 35, n. 6, p. 2039-2056, 2011.

FERNANDES, A. M.; SORATTO, R. P.; SOUZA, E. F. C.; JOB, A. L. G. Nutrient Uptake and Removal by Potato Cultivars as Affected by Phosphate Fertilization of Soils with Different Levels of Phosphorus Availability. Rev Bras Cienc Solo, 2017, 41:e0160288 https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20160288.

GITELSON, A. A.; KAUFMAN, Y. J.; MERZLYAK, M. N. Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. Remote Sens. Environ. 58:289–298. 1996 doi:10.1016/S0034-4257(96)00072-7

GOMES, S. L. S.; WOLLMANN, C. A. Comparação entre a precipitação pluviométrica mensal e anual entre os municípios de Jari e Santa Maria/RS. In: XII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA. Anais... Goiania: UFG, 2016. p. 2693-2702.

GUTIÉRRES-RODRÍGUEZ, M.; ESCALANTE-ESTRADA, J. A.; GONZALEZ, M. T. R.; REYNOLDS, M. P. Canopy Reflectance Indices and its Relationship with Yield in Common Bean Plants (Phaseolus vulgaris L.) with Phosphorous Supply. Int. J. Agri. Biol., v. 8, n. 2, 2006.

KYRATZIS, A. C.; SKARLATOS, D. P.; MENEXES, G. C.; VAMVAKOUSIS, V. F.; KATSIOTIS, A. Assessment of Vegetation Indices Derived by UAV Imagery for Durum Wheat Phenotyping under a Water Limited and Heat Stressed Mediterranean Environment. Plant Sci., 8:1114, 2017. doi: 10.3389/fpls.2017.01114

JÚNIOR, M. C. S.; PINTO, F. A. C.; QUEIROZ, D. M.; JÚNIOR, D. G. S. Utilização de imagens multiespectrais para detectar diferentes níveis nutricionais na forrageira Brachiaria decumbens. Anais... XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Florianópolis: INPE, 2007. p.401-406.

LORENZI, J. O.; MONTEIRO, P. A.; MIRANDA FILHO, H. S. & RAIJ, B. van. Raízes e tubérculos. In: RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. & FURLANI, A. M. C., eds. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 1997. p.221-229. (Boletim Técnico, 100).

REIS JUNIOR, R. A. Produção, qualidade de tubérculos e teores de K no solo e no pecíolo da batateira em resposta a adubação potássica. 1995. 108f. (Dissertação Mestrado), UFV, Viçosa.

SANCHEZ, c. A. Phosporus. In: BARKER, A. V.; PILBEAN, D. J. Handbook of plant nutrition. Boca Raton: CRC Press, 1937, p.51-82.

ZHU, Y.; LI, Y.; FENG, W.; TIAN, Y.; YAO, X.; CAO, W. Monitoring leaf nitrogen in wheat using canopy reflectance spectra. Canadian Journal of Plant Science, p.1037-1046, 2006.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D., ed. Applications of soil physics. New York, Academic Press, 1980. 350p.

WHITE, P. J.; BRADSHAW, J. E.; DALE, M. F. B.; BROADLEY, M. R. Relationships between yield and mineral concentrations in potato tubers. HortScience, v. 44, p. 6-11, 2009.