

RELAÇÃO ENTRE AS CORES REFLETIDAS E O TEOR DE FÓSFORO NA FOLHA DE MINITOMATEIRO DO TIPO GRAPE

LEONARDO P. DE MAGALHÃES¹, LUCAS R. TREVISAN², LETICIA S. SOARES³, RENAN I. ANTONIO⁴, TAMARA M. GOMES⁵, FABRÍCIO ROSSI⁶

¹ Doutorando, ESALQ/USP, (19) 2105-8649,leonardo.magalhaes@usp.br

² Doutorando, ESALQ/USP, (19) 2105-8649,lucas.renatotrevisan@usp.br

³ Aluno de Graduação, FZEA/USP, (19) 3565-4200,leticia.soares@usp.br

⁴ Aluno de Graduação, FZEA/USP, (19) 3565-4200,renan.antonio@usp.br

⁵ Professor Doutor, FZEA/USP, (19) 3565-4200,tamaragomes@usp.br

⁶ Professor Doutor, FZEA/USP, (19) 3565-4200,fabricio.rossi@usp.br

Apresentado no
XLVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2019
17 a 19 de setembro de 2019 - Campinas - SP, Brasil

RESUMO: A variação dos teores dos nutrientes nas folhas modifica os valores refletidos e absorvidos pelas plantas nos diferentes comprimentos de onda. A deficiência no teor de fósforo causa o arroxamento das folhas mais velhas, fato este causado pela translocação do fósforo para os frutos e folhas mais jovens, aumentando a concentração de antocianinas nas folhas. Relacionar a cor refletida pelas folhas com o teor de fósforo nas mesmas pode ser uma forma de avaliar, prever e detectar a deficiência desse nutriente. Para isso, deve se estabelecer quais cores se correlacionam positivamente ou negativamente com este nutriente. Assim, neste trabalho avaliou-se o teor de fósforo nas folhas de minitomateiro grape, de acordo com quatro tratamentos (0, 25, 50, 75 e 100% das doses de P recomendada na solução nutritiva), bem como calculou-se o valor normalizado das cores presentes nessas folhas através da digitalização da imagem das mesmas. Após isso, foi feita a análise utilizando-se as correlações de Pearson, Spearman e o R², sendo que comparando-se esses resultados o G e o B no sistema RGB e o S e o V do sistema HSV foram as cores e componentes que apresentaram maior correlação com os teores de fósforo.

PALAVRAS-CHAVE: Análise de Imagens, cores, folhas

RELATION BETWEEN THE REFLECTED COLORS AND THE PHOSPHORUS CONTENT IN THE GRAPE MINI-TOMATO LEAF

ABSTRACT: Variations on the nutrient contents present in the leaves modify the reflection and absorption indexes of the plants within the different wavelengths. Deficiency in the phosphorus content turns the older leaves purplish, effect of the phosphorus (P) translocation to younger fruits and leaves, increasing anthocyanin concentrations. Matching the color reflected by the leaves with their phosphorus content can be a way to evaluate, predict and detect the deficiency of this nutrient. For this, it should be established which colors correlate positively or negatively with this nutrient. Therefore, in this work, the phosphorus content in grape mini-tomato leaves was evaluated according to four treatments (0, 25, 50, 75 and 100% of the recommended P doses in the nutrient solution), followed by calculating the normalized

value of the colors present in these leaves by image scanning. After that, the analysis was made using the Pearson, Spearman and R2 correlations, and the comparison of these results demonstrated that the G and B in the RGB system and the S and the V in the HSV system, were the colors and components which showed a higher correlation with the phosphorus content.

KEYWORDS: Image Analysis, colors, leaves

INTRODUÇÃO: Em relação à absorção de luz pelas folhas das plantas, ocorrem dois picos, um próximo a 460 nm e outro a 660 nm, já a reflectância tem o pico maior não na região do verde, mas sim no infravermelho que ocorre por volta de 700 nm a 1300 nm (RAVEN et al., 2010). Através dessas reflectâncias podem ser avaliados aspectos como a quantidade de clorofila, teor de nitrogênio nas folhas (devido à sua relação com os cloroplastos) bem como defeitos em frutos (LI et al., 2011); estado nutricional das plantas (CHEN et al., 2010; GIANQUINTO et al., 2011); doenças (JONES et al., 2010), entre outros. A reflectância se altera quando as plantas passam por estresse, ocorrendo nesses casos um aumento na concentração de carotenoides e redução na produção de clorofilas. Essas alterações modificam a forma da folha absorver energia, aumentando a reflectância nos comprimentos de onda da faixa do visível (YOUNG & BRITTON, 1990 APUD FERRI, 2002). Um exemplo é a maior presença de antocianinas nas folhas de acordo com a quantidade de fósforo (P) disponível à elas. As antocianinas (do grego *anthos*, flor e *kyanos*, azul), são pigmentos vegetais, que dão cor as plantas, sendo junto com as clorofilas os mais importantes grupos de pigmentos de origem vegetal (HARBORNE & GRAYER, 1988). Parte da cor observada na maioria das flores, frutos, folhas, caules e raízes de plantas (MARKAKIS, 1982) são devido à presença das antocianinas. O aumento da presença desse pigmento, nas folhas sob limitado fornecimento de fósforo, ocorre devido ao translocamento de P das folhas mais velhas para as folhas jovens e frutos (SILVA et al., 2006), ocorrendo assim seu arroxamento. No desenvolvimento das plantas, o fósforo participa de diferentes atividades, como na divisão celular, reprodução assexuada e como parte de compostos fundamentais ao desenvolvimento, sendo importante no crescimento radicular, da parte aérea das plantas e no enchimento dos frutos (ALVARENGA, 2013). Avaliar se a quantidade desse nutriente na planta atende suas necessidades de desenvolvimento, ajuda no manejo nutricional da planta e que a mesma atinja seu máximo potencial de produção. Com isso, neste trabalho, buscou-se avaliar quais cores refletidas pelas folhas têm relação com os teores de fósforo nas mesmas.

MATERIAL E MÉTODOS: O experimento foi conduzido em casa de vegetação, pertencente ao laboratório de Tecnologia de Produção e Sanidade Vegetal, do departamento de Engenharia de Biosistemas, situada na Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA) da Universidade de São Paulo (USP), em Pirassununga-SP. As mudas dos minitomateiros foram conduzidas no próprio local do experimento, sendo o transplântio realizado no dia 30 de janeiro de 2018 (40 dias após semente – DAS). O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, em esquema fatorial 5 x 4, sendo cinco doses de fósforo (P): 0, 25, 50, 75 e 100% da dose recomendada para a solução nutritiva da cultura, e quatro avaliações em subparcelas divididas no tempo: aos 22, 36, 50 e 64 dias após o transplântio (DAT), com quatro repetições. Cada parcela foi composta por dois sacos plásticos preenchidos com substrato de fibra de coco, com uma planta cada, totalizando 160 plantas, conduzidas em sistema de haste dupla. Foi fornecida uma solução nutritiva adaptada de

Cunha et al., (2014). As doses de fósforo de cada tratamento foram aplicadas manualmente, sendo a dose de 100% de 114 gramas de P_2O_5 por 1.000 litros até 22 dias após transplântio (DAT) e de 260 gramas de P_2O_5 por 1.000 litros até a condução final do experimento (64 DAT). Em cada avaliação foram amostradas a 4ª folha totalmente expandida a partir do ápice como determinado por Malavolta (1989), sendo que em cada parcela foram obtidas quatro amostras, totalizando assim um total de 80 em cada coleta. As imagens foram obtidas tanto da face adaxial quanto da face abaxial das folhas, em um escâner de mesa ajustado para digitalizar as imagens a 300 dpi, salvando-as no formato tiff. As folhas foram colocadas com um papel cartão branco ao fundo para serem escaneadas, sendo a escolha da utilização do fundo branco tomada após teste onde foi constatado que essa cor de fundo não interferia no cálculo e obtenção das cores refletidas pelas folhas. Após a obtenção das imagens, em um software desenvolvido no programa Matlab foram calculados os valores do RGB e HSV (Matiz, saturação e brilho), bem como o cálculo dos índices normalizados dessas cores. Os passos utilizados na linguagem de programação são mostrados a seguir.

I = image;

R = I(:, :, 1); % obtenção dos componentes de cor vermelha

G = I(:, :, 2); % obtenção dos componentes de cor verde

B = I(:, :, 3); % obtenção dos componentes de cor azul

hsv = rgb2hsv(I); % conversão do sistemas de cor RGB para o HSV

H = hsv(:, :, 1); % obtenção do componente matiz da imagem

S = hsv(:, :, 2); % obtenção do componente saturação da imagem

V = hsv(:, :, 3); % obtenção do componente brilho da imagem

Rn = R/(R+G+B); % cálculo do índice normalizado do vermelho

Gn = G/(R+G+B); % cálculo do índice normalizado do verde

Bn = B/(R+G+B); % cálculo do índice normalizado do azul

Hn = H/(H+S+V); % cálculo do índice normalizado do matiz

Sn = S/(H+S+V); % cálculo do índice normalizado da saturação

Vn = V/(H+S+V); % cálculo do índice normalizado do brilho

Para comparação dos resultados, foram calculadas as correlações de Spearman, Pearson e o R^2 entre os valores dos índices normalizados e os teores de P nas folhas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Para fim de classificação, utilizando-se a correlação de Pearson, pode-se adotar os seguintes critérios: correlação perfeita ($r=1$), forte ($r>0,75$), moderada ($r>0,5$), fraca ($r<0,5$) e inexistente ($r=0$) (NOGUEIRA et al., 2010). Dentro dessa classificação, as cores verde (Gn abaxial e Gn adaxial), azul (Bn abaxial), e os componentes saturação Sn (abaxial) e brilho Vn (abaxial) apresentaram correlação moderada, acima de 0,5, com os teores de fósforo. Sendo que, de acordo com a correlação de Spearman e o R^2 , esses também foram os índices que tiveram maiores valores de relação. Yanli et al. (2015) obtiveram melhor resultado para predição da taxa de fósforo utilizando a parte adaxial das folhas de laranja. Neste trabalho, os índices calculados a partir da parte abaxial das folhas tiveram maior correlação, sendo que apenas o Gn adaxial obteve resultado entre as maiores

correlações. Como a deficiência de fósforo em folhas de tomateiros começa a demonstrar os sintomas na parte abaxial, isso pode explicar essa diferença em relação ao trabalho citado que utilizava folhas de laranjeiras. A sensibilidade à mudança de cores, no caso dos tomateiros, pode ser maior na parte abaxial em relação à adaxial, o que sugere a utilização dessa face da folha para análise. A clorofila é o principal componente da folha a afetar a reflectância na região do visível (400 a 700 nm) (PONZONI, 2012), quando ocorre a redução dos teores de fósforo há também diminuição da eficiência da clorofila, devido à participação desse nutriente na produção de energia (compondo com mais um P a molécula de ATP a partir de ADP) para a fotossíntese (GEIGER & SERVAITES, 1994). Assim quando a planta contém em sua folha maiores teores de fósforo, isto também leva à uma maior reflectância do verde, no comprimento de onda de 550 nm. Este fator pode explicar o porque do Verde Normalizado (Gn) estar entre as maiores correlações encontradas com os teores de fósforo. Já a correlação negativa do azul normalizado, explica-se por que quando há maior presença de fósforo nas folhas, há uma diminuição na reflexão na faixa do azul. Já ocorre o contrário com a redução do fósforo, pois a planta tendo diminuição desse nutriente passa a produzir mais antocianinas nas folhas e assim, devido à maior presença desse pigmento, passa a refletir mais nesse comprimento de onda. Já em relação ao sistema de cores HSV, Lima et al (2012) avaliou doses de nitrogênio em grama esmeralda valendo-se de índices vegetativos nessa sistema. Esses autores encontraram maior relação (R^2) entre o nutriente avaliado (N) e o componente H (matiz). Este resultado também foi observado por outros autores, como Felisberto, Godoy e Felisberto (2016) avaliando doses de N em pimentões. Já nos resultados aqui apresentados, em relação ao P, também no sistema de cores (HSV), a maior relação observada não foi com o componente H e sim com o componente S (saturação) em todas as relações avaliadas. Também nas imagens que utilizavam a parte abaxial da folha se obteve maiores valores desse componente, bem como quando foram avaliadas as cores refletidas no sistema RGB. Como as correlações de S com os teores de P foram positivas, isso indica que maior presença de P nas folhas leva estas a terem uma cor mais pura com maior presença da mesma (no caso verde). Pois, a saturação mede a presença, indo de zero a 100%, da cor pura (mantendo H e V constantes), ou seja, quanto maior a quantidade de P presente nas folhas maior era a quantidade de verde refletida pelas mesmas, indicando que esse fator também pode ser um indicador da quantidade de P nas folhas de tomateiros. Já o componente V (brilho) na parte abaxial, apresentou correlação negativa com os valores de P nas folhas. Outro sintoma da deficiência de P é o escurecimento das folhas (Alvarenga, 2013). Quando há maiores valores de P, a folha apresenta uma cor mais clara, e portanto V deveria aumentar também, assim a folha deveria apresentar também um brilho maior. Não é o que demonstra os resultados, pois quando a diminuição de P nas folhas é que o valor aumentou, indicando que o brilho da folha também aumentou, este fato é indicado pela correlação negativa do índice de Pearson (-0,558). Porém, o R^2 apresenta valor positivo.

TABELA 1. Correlação entre cores e teores de fósforo

Índices	Pearson	R ²	Spearman
Rn adaxial	-0,122	0,015	0,248
Gn adaxial	0,594	0,353	0,552
Bn adaxial	-0,444	0,197	0,316
Rn abaxial	0,069	0,005	0,281
Gn abaxial	0,628	0,394	0,561
Bn abaxial	-0,516	0,266	0,299
Hn adaxial	0,033	0,001	0,329
Sn adaxial	0,391	0,153	0,406
Vn adaxial	-0,189	0,036	0,418
Hn abaxial	0,407	0,165	0,406
Sn abaxial	0,682	0,465	0,553
Vn abaxial	-0,558	0,312	0,409

Rn = índice normalizado da cor vermelha, Gn = índice normalizado da cor verde, Bn = índice normalizado da cor azul, Hn = índice normalizado do matiz, Sn = índice normalizado da saturação e Vn = índice normalizado do brilho

CONCLUSÕES: Os resultados mostraram que, o G e o B no sistema RGB e os componentes S e V (sistema HSV) apresentaram maior correlação com os teores de fósforo, pelas correlações de Spearman, Pearson e R². A cor azul, assim como esperado pela literatura sobre a deficiência de fósforo, apresentou boa correlação com a variação do fósforo nas folhas. Apesar disso, a correlação demonstrada pelas cores citadas foi moderada, indicando que o uso de somente uma delas não é suficiente para prever ou relacionar os teores de fósforo nas folhas. A parte abaxial das folhas apresentaram maior correlação com os teores de fósforo, e em maior quantidade de vezes, indicando que essa face da folha pode ser a mais indicada para obtenção de imagens em minitomateiros.

AGRADECIMENTOS: A CAPES, aos membros do GEBio – Sistemas e Engenharia (Grupo de Estudos em Biossistemas) da FZEA/USP, aos professores e funcionários dos Departamentos de Engenharia de Biossistemas da ESALQ/USP e da FZEA/USP e à Empresa Agristar pela doação das sementes utilizadas no experimento.

REFERÊNCIAS: ALVARENGA, M. A. R. (2013). **Tomate: produção em campo, casa de vegetação e hidroponia**. 2^a ed. revisada e ampliada. Lavras: UFLA. 455 p. CHEN, P.; HABOUDANE, D.; TREMBLAY, N.; WANG, J.; VIGNEAULT, P.; LI, B. (2010) New spectral indicator assessing the efficiency of crop nitrogen treatment in corn and wheat. **Remote Sensing of Environment**, v. 114, p. 1987–1997. CUNHA, A.H.N. et al . (2014) Sweet grape mini tomato grown in culture substrates and effluent with nutrient complementation. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal , v. 34, n. 4, p. 707-715.

FELISBERTO, P.A.C; GODOY, L.J.G. de; FELISBERTO, G. (2016) Índices de cor da folha para monitoramento nutricional de nitrogênio em plantas de pimentão. **Científica**, [s.l.], v. 44, n. 2, p.207-216, FUNEP. <http://dx.doi.org/10.15361/1984->

5529.2016v44n2p207-216.

- FERRI, C.P. (2002). **Utilização da reflectância espectral para estimativa de pigmentos fotossintéticos em dosséis de soja [*Glycine max (L.) Merrill*]**. São José dos Campos: INPE/MCT. 173p. Tese Doutorado.
- GEIGER, D.R. & SERVAITES, J.C. (1994) Diurnal regulation of photosynthetic carbon metabolism in C3 plants. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, 45, 235–256.
- GIANQUINTO, G.; ORSINI, F.; FECONDINI, M.; MEZZETTI, M.; SAMBO, P.; BONA, S.A. (2011) Methodological approach for defining spectral indices for assessing tomato nitrogen status and yield. **European Journal of Agronomy**, v. 35, p. 135–143.
- HARBORNE, J.B.; GRAYER, R.J., (1988) **The anthocyanins**. In: The flavonoids: advances in research since 1980. Chapman & Hall, London, p. 1-20.
- JONES, H.G.; VAUGHAN R.A. (2010) **Remote sensing of vegetation: principles, techniques, and applications**. Oxford, UK. 384p.
- LI, J.; RAO X.; YING Y. (2011) Detection of common defects on oranges using hyperspectral reflectance imaging. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 78, p. 38–48.
- MALAVOLTA, E.; VITTI G.C.; OLIVEIRA A.S. (1989) **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. 201p.
- LIMA et al. (2012) Uso de índices de reflectância das folhas para avaliar o nível de nitrogênio em grama-bermuda. **Ciência Rural**, vol. 42, núm. 9, p. 1568-1574.
- MARKAKIS, P. (1982) Stability of Anthocyanins in foods. In: Markakis P (Ed) **Anthocyanins in color foods**. New York, Academic Press. p. 163-180.
- NOGUEIRA, I.D.B. (2010) Correlation between quality of life and functional capacity in cardiac failure. **Arquivos brasileiros de cardiologia**, v. 95, n. 2, p. 238-243.
- PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. (2012) **Sensoriamento Remoto da Vegetação**. 2 a Edição. Cubatão: Oficina de Textos. 160 p.
- RAVEN, P.H.; EVERT, R.F.; EICHHORN, S.E. (2010) **Biologia vegetal**. 7ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. 830p.
- SILVA, J. B. C. et al. (2006) **Cultivo de tomate para industrialização**. Disponível em: https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Tomate/TomateIndustrial_2ed/de_ficiencias.html Acesso em: 18 mar. 2019.