

DETERMINAÇÃO DA DEFICIÊNCIA NUTRICIONAL DE NITROGÊNIO NO FEIJOEIRO UTILIZANDO IMAGENS DIGITAIS

MURILO MESQUITA BAESSO¹, RAQUEL COUTO EVANGELISTA BAESSO², TAMARA MARIA GOMES³, FABRÍCIO ROSSI⁴, CLOVIS FISCHER⁵

¹ Engenheiro Agrônomo, Doutor em Engenharia Agrícola (Maquinas Agrícolas), USP/Pirassununga-SP, (19) 3565-6713, baesso@usp.br

² Engenheira Agrícola, Doutora em Meteorologia Agrícola (Maquinas Agrícolas), raquelevangelista@hotmail.com

³ Engenheira Agrônoma, Doutora em Engenharia Agrícola (Irrigação), USP/Pirassununga-SP, tamaragomes@usp.br

⁴ Engenheiro Agrônomo, Doutor em Agronomia (Cultivos protegidos), USP/Pirassununga-SP, rossi@usp.br

⁵ Engenheiro Elétrico, Doutor em Engenharia Elétrica (Elétrica), USP/Pirassununga-SP, cfischer@usp.br

Apresentado no

XLIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2015

13 a 17 de setembro de 2015- São Pedro – SP, Brasil

RESUMO: Este trabalho teve como objetivo avaliar o uso de índices espectrais, retirados de imagens digitais, para discriminar diferentes doses de N no feijoeiro. O trabalho teve cinco tratamentos (0; 50; 100; 150 e 200 kg de N ha⁻¹), com dez repetições. As imagens foram adquiridas aos 20; 30 e 40 dias após a emergência. Foram desenvolvidas funções discriminantes quadráticas, de diferentes combinações dos quatro índices espectrais testados. Três diferentes tamanhos de blocos de imagem foram testados 20 x 20; 30 x 30 e 40 x 40 “pixels”. Os melhores resultados foram alcançados pelos blocos de 20 x 20 “pixels”, apresentando classificação 91; 91 e 92% superior à classificação ao acaso aos 30; 40 e 50 dias após a emergência, respectivamente.

PALAVRAS-CHAVE: Agricultura de precisão; classificador estatístico; processamento de imagens digitais.

DETERMINATION OF NITROGEN STATUS IN BEAN PLANTS USING DIGITAL IMAGES

ABSTRACT: The objective of this work was to evaluate image spectral indices to detect nitrogen levels applied to bean plants. The experiment was five treatments (0; 50; 100; 150 and 200 kg of N ha⁻¹) with ten repetitions. The images were taken at 30; 40 and 50 days after emergence. Quadratic discriminant functions were developed from different combinations of four spectral indices. Three different sizes of image blocks were tested: 20 x 20, 30 x 30 and 40 x 40 pixels. The best results were obtained when using the 20 x 20 pixels blocks, with classification performance of 91; 91 e 92% better than a random classification at 30; 40 e 50 days after emergency, respectively.

KEYWORDS: Precision farming; statistical classification; digital image processing.

INTRODUÇÃO: Em aplicações convencionais de fertilizantes, toda a área de um talhão é considerada homogênea, ou seja, a necessidade de adubo é tida como igual para toda a área, o que na realidade não ocorre. Baseando-se nas necessidades médias da planta, uma aplicação uniforme causa adubação excessiva em algumas áreas do campo e insuficiente em outras, com comprometimento da eficiência do processo de produção. Nesses casos, a agricultura de precisão é uma alternativa ao sistema convencional, com aplicação de nutrientes em doses variadas. Uma maneira prática e rápida de determinar a existência da deficiência de nitrogênio na planta é por meio do diagnóstico visual. Porém, a sua precisão está limitada à experiência do técnico e, também, exige bastante trabalho para gerar um mapa de prescrição para ser utilizado no manejo localizado (BAESSO et al. 2007). Visualmente, o sintoma da deficiência de N é uma clorose nas folhas, que tem início nas mais velhas, o que possibilita o uso das propriedades espectrais do dossel da cultura para detectar essa deficiência. Este trabalho teve como objetivo avaliar o uso de índices espectrais, obtidos a partir de imagens digitais, para discriminar feijoeiros submetidos a diferentes doses de N.

MATERIAL E MÉTODOS: O trabalho foi conduzido em casa de vegetação no Departamento de Engenharia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, RJ. O trabalho teve cinco tratamentos (0; 50; 100; 150 e 200 kg de N ha⁻¹), com dez repetições, totalizando 50 vasos com 8 dm³ de material de solo. O cultivo foi realizado em vasos para que houvesse melhor controle das quantidades aplicadas de nutrientes. Foram semeadas seis sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) da cultivar BRS Ametista por vaso. Aos 20 dias após a emergência (DAE), procedeu-se ao desbaste, deixando-se quatro plantas por vaso. Como o nitrogênio é um nutriente de alta mobilidade no solo, a dose foi aplicada em duas etapas: um terço do total no ato do plantio e o restante aos 20 DAE. Os demais nutrientes foram misturados de maneira uniforme em todos os vasos com o material de solo, de acordo com os resultados da análise de solo, ficando apenas o nitrogênio como limitante na produção do feijoeiro. Foi feita uma irrigação diária para que não houvesse nenhuma influência do déficit hídrico no desenvolvimento das plantas. Com o objetivo de avaliar a melhor época para a obtenção das imagens, essas foram feitas em três épocas: 30; 40 e 50 DAE. Para a validação do nível de deficiência de nitrogênio na planta, foram feitas análises foliares em todos os vasos de cada tratamento aos 50 DAE. Para que as imagens fossem obtidas em condições de iluminação controlada, foi construída uma estrutura metálica com dimensões de 1,50 x 1,50m e 2,00m de altura, recoberta com tecido do tipo “blackout”. O sistema de iluminação era composto por oito refletores com lâmpadas halógenas de 150 watts, direcionadas para cima para que as plantas não recebessem luz direta. Todos os vasos foram levados individualmente à estrutura na ocasião da obtenção das imagens. As imagens foram processadas no Laboratório de Mecanização Agrícola do Departamento de Engenharia de Biosistemas (LAMAP) da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo. Foi utilizado o sistema computacional MATLAB® com o pacote de ferramentas para processamento de imagens. No processamento de imagens foi retirada características das imagens, condensando a informação nelas contidas. Dessa maneira, em vez de se utilizar a imagem original, utilizou-se um vetor com características que representa a informação desejada. Este trabalho partiu da hipótese que quatro índices espectrais levam a informação desejada para classificar o nível de deficiência de nitrogênio na planta. Foram desenvolvidas quatro funções discriminantes uma para cada classe de estresse nutricional de forma que um vetor desconhecido X foi atribuído à classe j , que apresentou o maior valor da função discriminante $d^j(X)$. Para a análise das imagens foi testado um classificador estatístico, descrito por Gonzales e Woods (1992) para avaliar o status do N. A mensuração do desempenho dos classificadores foi determinada pela exatidão global de classificação e pelo coeficiente Kappa.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: A análise de variância para as médias dos valores de análises foliares aos 50 DAE foi significativa ($P < 0,0001$), podendo-se concluir que existe pelo menos um contraste significativo entre as médias do tratamento com relação às doses de N aplicadas. Portanto, a procura de um classificador para discriminar os diferentes níveis de N pode ser justificada (REGAZZI, 2000). Não houve diferença significativa entre os tratamentos 200 e 150 kg de N ha⁻¹ (Tabela 1). Sendo assim, o classificador estatístico foi desenvolvido para quatro classes de “status” nutricional de nitrogênio, sendo elas: 0; 50; 100 de N ha⁻¹ e outra englobando as duas classes superiores (150 e 200 kg de N ha⁻¹).

Tabela 1 - Médias das análises foliares para as doses de N, realizadas as 50 DAE.

kg de N ha ⁻¹	Média dos valores de análise foliar (g kg ⁻¹)
200	50,2 ^a
150	49,8 ^a
100	40,2 ^b
50	34,5 ^c
0	28,7 ^d

Valores seguidos pela mesma letra não diferem, na coluna, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Nesse estudo os classificadores estatísticos que obtiveram valor de Kappa acima de 0,85 foram considerados como excelente. Na Tabela 2, são apresentadas as frequências de ocorrência de classificadores com Kappa igual ou superior a 0,85 para cada época de aquisição de imagens e para cada combinação de índices espectrais.

Tabela 2 - Frequências de ocorrência de classificadores com Kappa igual ou superior a 0,85 para cada combinação de índices espectrais utilizados como vetor de características

Índices Espectrais	Total*
Evd	2
Vern	0
Vn	0
Rvv	1
Evd e Vern	8
Evd e Vn	5
Evd e Rvv	5
Vern e Vn	7
Vern e Rvv	6
Rvv e Vn	6
Evd, Vern e Vn	4
Evd, Vern e Rvv	5
Evd, Vn e Rvv	4
Vern, Vn e Rvv	6
Evd, Vern, Vn e Rvv	5

Evd - excesso de verde; Vern - vermelho normalizado; Vn - verde normalizado; Rvv - razão verde-vermelho. * - Frequência de ocorrência máxima igual a 9 (três épocas x três tamanhos de blocos).

A utilização de mais de um índice espectral facilitou a discriminação das diferentes doses de N utilizadas neste trabalho. Demonstrando que a sobreposição de índices espectrais pode facilitar a discriminação das classes de nitrogênio avaliadas nesse trabalho. O resultado mais promissor ocorreu utilizando a combinação dos índices excesso de verde (Evd) e Vermelho normalizado (Vern), que obtiveram 8 classificadores com valores Kappa igual ou superiores a 0,85. Acredita-se que o realce da informação na banda verde em conjunto com o vermelho normalizado (menor influencia da variação da iluminação) melhorou o poder de discriminação entre as diferentes classes estudadas nesse trabalho. O Coeficiente Kappa dos melhores resultados de classificação desenvolvidos aos 30; 40 e 50 DAE para os blocos de 20 x 20; 30 x 30 e 40 x 40 “pixels” são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Coeficiente Kappa dos melhores resultados de classificação desenvolvidos aos 30; 40 e 50 DAE para os blocos de 20 x 20; 30 x 30 e 40 x 40 “pixels”.

Tamanho do bloco	Época de coleta da imagem		
	30 DAE	40 DAE	50 DAE
20 x 20 “pixels”	0,91 Aa	0,91 Aa	0,92 Aa
30 x 30 “pixels”	0,87 Aa	0,92 Aa	0,87 Aa
40 x 40 “pixels”	0,86 Aa	0,85 Aa	0,85 Aa

Os coeficientes Kappa seguidos de mesma letra minúscula não diferem na linha pelo teste Z, a 5% de probabilidade; os coeficientes Kappa seguidos de uma mesma letra maiúscula não diferem, na coluna, pelo teste Z, a 5% de probabilidade.

O tamanho do bloco de imagem não influenciou na classificação do “status” de nitrogênio, uma vez que os melhores resultados não diferem pelo teste Z, a 5% de probabilidade em todas as épocas estudadas, nesses casos deve-se optar pelo menor tamanho de bloco, o que implica em um menor tempo de processamento da imagem. Ou seja, o bloco 20 x 20 “pixels” (29,16 mm²), leva a informação necessária para uma adequada classificação.

CONCLUSÕES: O classificador estatístico foi capaz de avaliar o “status” do N no feijoeiro. Os melhores desempenhos de classificação ocorreram com a utilização de mais de um índice espectral no vetor de características do classificador.

REFERÊNCIAS

- BAESSO, M.M.; PINTO, F.A.C.; QUEIROZ D.M.; VIEIRA L.B.; ALVES E.A. Determinação do "status" nutricional de nitrogênio no feijoeiro utilizando imagens digitais coloridas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.2, p. 520-528, 2007.
- GONZALEZ R.C; WOODS R.E. **Digital image processing**. Reading Massachusetts: Addison- Wesley Publishing Company, 716p, 1992.
- REGAZZI A.J. **Modelos de regressão não-linear e aplicações utilizando o SAS (PROC NLIN)**. 2.ed. Viçosa: UFV, 131 p, 2000.