

### 3º Simpósio Internacional de Agricultura de Precisão

#### MAPEAMENTO DA PRODUTIVIDADE UTILIZANDO IMAGENS AÉREAS DIGITAIS

Carlos Alberto Alves Varella<sup>1</sup>, Francisco de Assis de Carvalho Pinto<sup>2</sup>, Daniel Marçal de Queiroz<sup>2</sup>, Evandro Chartuni Mantovani<sup>3</sup>

**RESUMO:** O objetivo deste trabalho foi testar um classificador estatístico para mapeamento da produtividade da cultura do milho. O classificador foi desenvolvido a partir de um vetor de características composto por índices de vegetação extraídos de imagens aéreas digitais. Os dados foram coletados em três áreas, situadas na Fazenda Experimental da Universidade Federal de Viçosa, Coimbra, MG. Localização geográfica 19° 28' 00" S e 44° 15' 08" W. Foram adquiridas imagens coloridas e imagens falsa-cor infravermelho de uma altura de vôo de 1000 m. Por ocasião da aquisição das imagens foram realizadas leituras SPAD com uma taxa de amostragem de 10 m. A produtividade foi avaliada quando a umidade dos grãos apresentou, aproximadamente, 27% de teor de água em base úmida. O coeficiente Kappa do classificador foi positivo e acima de 79% para as três áreas estudadas. O coeficiente de efeito pepita foi inferior a 0,25 para os estádios fenológicos vegetativos e ficou entre 0,25 e 0,75 para os estádios fenológicos reprodutivos. Os resultados obtidos neste trabalho indicam que imagens aéreas digitais podem ser utilizadas para mapeamento de produtividade, e que os estádios fenológicos vegetativos podem ser os mais recomendados para mapeamento da produtividade na cultura do milho.

**PALAVRAS-CHAVE:** Agricultura de precisão, variabilidade espacial, análise discriminante.

#### YIELD MAPPING USING AERIAL DIGITAL IMAGES

**ABSTRACT:** The objective of this work was to test a statistical classifier to map yield in corn. The classifier was evaluated from a vector composed by vegetation indexes, extracted from aerial digital images. The data were collected in three areas of Federal University of Viçosa, Coimbra, MG, geographical location of 19° 28' 00" S and 44° 15' 08" W. Color and false-color infrared images were acquired at 1000 m height of flight. Image acquisition and SPAD readings were taking at the same time. SPAD reading were sampling at 10 m grid. The yield was sampled when the grain moisture was, approximately, 27% water in humid base. The Kappa classifier coefficient was positive and above 79% for the three studied areas. The Nugget coefficient was shorter than 0.25 for the vegetative stages growth and it was between 0.25 and 0.75 for the reproductive stages growth. The results get in this work indicate that digital aerial images can be used to map yield, and that the vegetative stages growth were more recommended to mapping yield in corn.

**KEYWORDS:** Precision agriculture, spatial variability, discriminant analysis.

**INTRODUÇÃO:** Segundo dados da CONAB (2004) a produção de milho deste ano foi em torno de 42 milhões de toneladas, sendo a segunda maior cultura em produção de grãos e área plantada no Brasil. O Levantamento sistemático da produção agrícola do IBGE (IBGE, 2003), relata que houve um aumento significativo na produtividade do milho entre 2002 e 2003 devido às ótimas condições climáticas e ao emprego de novas tecnologias. A agricultura de precisão é uma nova tecnologia que vem sendo estudada por diversos pesquisadores. Essa nova tecnologia tem como objetivo acessar e monitorar a atividade agrícola em pequenas subdivisões da área total. Contudo, existe ainda limitação quanto ao uso da informação obtida, visto que o sistema atualmente mais utilizado está instalado em colhedoras e apresenta resultados após a colheita. Assim a

<sup>1</sup> Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, IT-Departamento de Engenharia, BR 465 km 7 - CEP 23890-000 - Seropédica - RJ. E-mail: [varella@ufrj.br](mailto:varella@ufrj.br).

<sup>2</sup> Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Agrícola, Av. PH Holfs s/n, Campus UFV - CEP 36570-000 - Viçosa - MG. E-mail: [facpinto@ufv.br](mailto:facpinto@ufv.br).

<sup>3</sup> Embrapa Milho e Sorgo, Rodovia MG 424 - km 65 - CEP 35701-970. Caixa-Postal: 151 Sete Lagoas - MG. E-mail: [evandro@cnpmc.embrapa.br](mailto:evandro@cnpmc.embrapa.br).



### 3º Simpósio Internacional de Agricultura de Precisão

informação só pode ser utilizada para a identificação de fatores limitantes de safras futuras. Diversos pesquisadores têm concluído que a produtividade tem correlação com índices de vegetação (BLACKMER et al., 1996; STONE et al., 1996; DIKER et al., 2001). Contudo estes estudos têm sido realizados no campo da estatística univariada, isto é, cada índice de vegetação tem sido correlacionado isoladamente com a produtividade, e um dos maiores problemas encontrados tem sido a influência do solo na refletância do dossel. A hipótese deste trabalho é que um vetor de características composto por índices de vegetação pode diminuir a influência do solo na refletância do dossel e aumentar o poder de discriminação de classificadores. O objetivo deste trabalho foi testar um classificador estatístico, desenvolvido a partir de vetores de índices de vegetação, obtidos em imagens aéreas digitais, para estimar a variabilidade espacial da produtividade na cultura do milho.

**MATERIAL E MÉTODOS:** Os dados foram coletados na Fazenda Experimental da Universidade Federal de Viçosa, situada em Coimbra – MG, localização geográfica latitude 20° 51' 12" S e longitude 42° 54' 24" W. Foram estudadas três áreas cultivadas com a cultura do milho. A "Área 1" possuía 3,33 ha com a cultivar DKB 214, a "Área 2" possuía 1,58 ha com a cultivar MAV 200 e "Área 3" possuía 1,00 ha com a cultivar DKB 214. As leituras do medidor portátil de clorofila foram feitas por ocasião da aquisição das imagens. Utilizou-se o SPAD 502 (Minolta Camera Co., Ltd., Osaka, Japan). As observações foram obtidas a cada dez metros em toda a área de cultivo. Cada observação de leitura SPAD foi resultado da média de treze leituras espaçadas a cada 0,9 m. As leituras foram tomadas conforme proposto por PETERSON et al. (1993) e georreferenciadas utilizando-se um aparelho GPS da marca Trimble, modelo Pro XRS. As leituras foram agrupadas em três classes (baixa, média e alta). Essas classes foram formadas diminuindo-se o valor máximo do valor mínimo da amostra e dividindo-se o resultado pelo número de classes (três). Os mapas de leitura SPAD foram confeccionados utilizando-se a técnica de Krigagem. Com base nas três classes foi obtido um mapa temático por nível de SPAD. Este mapa temático foi utilizado para definir a amostragem da produtividade. Para estimar a produtividade, foram colhidas manualmente três linhas de 9,0 m de comprimento em três diferentes posições para cada classe de leituras SPAD. O número de classes de produtividade foi igual ao número de classes de leituras SPAD. O valor médio utilizado para representar cada classe de produtividade foi a média do peso dos grãos coletados para cada classe. O peso dos grãos foi corrigido para 14% de teor de água em base úmida. No primeiro voo, nas áreas 1, 2 e 3, as imagens foram obtidas nos estádios fenológicos VT, R1 e VI2, respectivamente. No segundo voo, nessas mesmas áreas, as imagens foram obtidas nos estádios fenológicos R1, R2 e VT. Os estádios fenológicos foram identificados conforme proposto por RITCHIE et al. (1993). Para cada classe de SPAD retirou-se uma amostra composta por blocos de pixels da imagem original. O número de observações de cada amostra foi igual a metade do número de observações de leituras SPAD. O vetor de características para cada classe de SPAD foi composto pelos índices de vegetação NDVI (ROUSE et al., 1974), RNIR (RICHARDSON & WIEGAND, 1977), GNIR (BAUSCH & DUKE, 1996), ARVI (KAUFMAN & TANRÉ, 1992), SAVI (HUETE, 1988) e GNDVI (GITELSON et al., 1996). O classificador foi desenvolvido por análise discriminante, que segundo KHATTREE & NAIK (2000) é uma técnica da estatística multivariada que estuda a separação de objetos de uma população em duas ou mais classes. As funções discriminantes foram obtidas utilizando-se o procedimento DISCRIM do programa computacional SAS (SAS, 1999). Neste trabalho foram obtidas três funções discriminantes, uma para cada classe de SPAD, e assumiu-se uma probabilidade a priori proporcional ao número de observações de cada classe, sendo o vetor desconhecido alocado na classe que apresentou maior valor de probabilidade condicional. O classificador foi desenvolvido com 75% do total de observações, sendo os restantes 25% utilizados para estimar a acurácia de classificação. O classificador foi avaliado quanto a sua acurácia pelo coeficiente Kappa calculado da matriz de erros, segundo proposto por CONGALTON & MEAD (1983).

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** No Quadro 2 são apresentados a exatidão global e coeficiente Kappa do classificador. Observa-se que o coeficiente Kappa foi positivo e acima de 79% para todas as áreas. Segundo ROSENFELD & FITZPRATICK-LINS (1986), valores positivos de Kappa significa que os acertos da classificação não ocorreram por acaso.



### 3º Simpósio Internacional de Agricultura de Precisão

Quadro 3. Exatidão global e coeficiente Kappa do classificador

Vôo	Área	Exatidão Global (%)	Kappa (%)
1	1	100	87
	2	100	100
	3	100	100
2	1	91	79
	2	100	100
	3	100	100

No Quadro 4 é apresentado o resultado da modelagem do semivariograma de produtividade estimada. Observa-se que o coeficiente de efeito pepita (CEP) foi inferior a 0,25 para os estádios fenológicos vegetativos (V12 e VT), e que foi ficou entre 0,25 e 0,75 para os estádios fenológicos reprodutivos (R1 e R2), mostrando, segundo CAMBARDELLA et al. (1994), que os valores estimados apresentaram alta dependência espacial nos estádios vegetativos e moderada dependência espacial nos estádios reprodutivos. Esses resultados indicam que os estádios fenológicos vegetativos podem ser os mais recomendados para estimar a variabilidade espacial da produtividade na cultura do milho por meio de imagens aéreas digitais.

Quadro 4. Modelagem do semivariograma de produtividade estimada

Parâmetro	Área 1		Área 2		Área 3	
	VT vôo 1	R1 vôo 2	R1 Vôo1	R2 Vôo2	V12 vôo 1	VT vôo 2
Modelo	Exponencial	Esférico	Esférico	Exponencial	Esférico	Gauss
Efeito pepita ( $C_0$ )	0,15	0,30	0,36	0,53	0,11	0,22
Patamar (C)	1,03	1,06	1,19	1,07	2,38	3,425
Alcance (A)	18	86	104	25	268	156
CEP ( $C_0/C$ )	0,15	0,29	0,31	0,50	0,04	0,06

A Figura 1 ilustra os mapas de produtividade estimada obtidos pela interpolação por krigagem para os estádios fenológicos que apresentaram alta dependência espacial (V12 e VT).

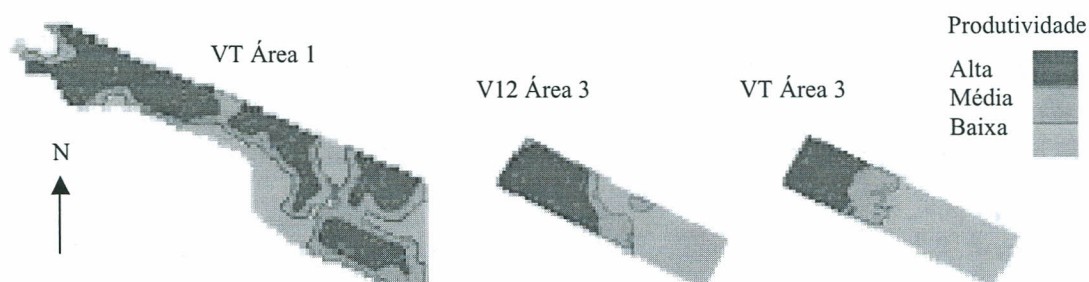


Figura 1. Mapas de produtividade estimada obtidos pela interpolação por krigagem para os estádios fenológicos que apresentaram alta dependência.

**CONCLUSÕES:** O coeficiente Kappa foi positivo e acima de 79% para todas as áreas, mostrando que os acertos do classificador não ocorreram por acaso. Resultados obtidos neste trabalho indicam que a produtividade da cultura do milho pode ser estimada por meio de imagens aéreas digitais e que os estádios fenológicos vegetativos podem ser os mais recomendados para o mapeamento.



### 3º Simpósio Internacional de Agricultura de Precisão

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAUSCH, W.C. & DUKE, H.R. Remote sensing of plant nitrogen status in corn. Transactions of de ASAE, v. 39, n.5, p.1869-1875, 1996.
- BLACKMER, T.M.; SCHEPERS, J.S.; VARVEL, G.E.; MEYER, G.E. Analysis of aerial photography for nitrogen stress within corn fields. Agronomy Journal, v. 88, p.729-733, 1996.
- CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURVO, R.F.; KONOPA, A.E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. Soil Science Society of American Journal, v.58, n.5, p.1501-1511, 1994.
- CONAB. Acompanhamento da safra 2003/2004: sexto levantamento. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2004.
- CONGALTON, R.G. & MEAD R.A. A quantitative method to test for consistency and correctness in photointerpretation. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, v.49, n.1, p.69-74, 1983
- DIKER, K.; BAUSCH, W. C.; HEERMANN, D. F. Monitoring temporal changes of irrigated corn by aerial images. Annual International ASAE Meeting July 30-August 1, Sacramento, California, USA Paper No. 01-1144, 2001.
- GITELSON, A.A.; Y.J. KAUFMAN; MERZLYAK, M.N. Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. Remote Sensing of Environment, v.58, p.289-298, 1996.
- HUETE, A.R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). Remote Sensing of Environment, v.25, p.295-309, 1988.
- IBGE. Levantamento sistemático da produção agrícola, v.15, n.12, p.1-84, 2003.
- KAUFMAN, Y.J. & TANRÉ, D. Atmospherically resistant vegetation index (ARVI) for EOS-MODIS. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, v.30, n.2, p.261-270, 1992.
- KAUFMAN, Y.J. & TANRÉ, D. Atmospherically resistant vegetation index (ARVI) for EOS-MODIS. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, v.30, n.2, p.261-270, 1992.
- PETERSON, T.A.; BLACKMER, T.M.; FRANCIS, D.D.; SCHEPERS, J.S. Using a chlorophyll meter to improve N management. Cooperative Extension, Institute of Agriculture and Natural Resources, Univ. of Nebraska, NebGuide G93-1171-A, 1993.
- RICHARDSON, A. J.; WIEGAND, C. L. Distinguishing vegetation from soil background information. Photogrammetric engineering and remote sensing, v.43, p.1541-1552, 1977.
- RITCHIE, S.W.; HANWAY, J.J.; BENSON, G.O. How a corn plant develops. Cooperative Extension Service Ames, special report n.48, Iowa State University of Science and Technology, Iowa, 1993. Disponível em: <http://www.iastate.edu/>. Acesso em: 20 jun. 2001.
- ROSENFELD & FITZPATRICK-LINS. A coefficient of agreement as a measure of thematic classification accuracy. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, v.52, n.2 p.223-227, 1986.
- ROUSE, J.W.; HAAS JR., R.H.; DEERING, D.W.; SCHELL, J. A.; HARLAN, J. C. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation, NASA/GSFC type III final report: Greenbelt, Maryland, NASA, 1974, 371 p.
- SAS Institute Inc. SAS/STAT Software Release 8.0. Cary, NC: SAS Institute Inc., 1999.
- STONE, M.L.; SOLIE, J.B.; RAUN, W.R.; WHITNEY R.W.; TAYLOR, S.L.; RINGER, J.D. Use of spectral radiance for correcting in-season fertilizer nitrogen deficiencies in winter wheat. Transactions of the ASAE, v.39, n.5, p.1623-1631, 1996.