

## Notas Científicas

### Validação de modelo para predição do potencial produtivo de trigo com sensor óptico ativo

Daniel Santos Grohs<sup>(1)</sup>, Christian Bredemeier<sup>(2)</sup>, Naracelis Poletto<sup>(3)</sup> e Claudio Mario Mundstock<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup>Instituto Rio Grandense do Arroz, Seção de Agronomia, Rua Bonifácio Carvalho Bernardes, nº 1.494, CEP 94930-030 Cachoeirinha, RS. E-mail: dsgrhos@gmail.com, claudiomm@terra.com.br <sup>(2)</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Departamento de Plantas de Lavoura, Avenida Bento Gonçalves, nº 7.712, CEP 91501-970 Porto Alegre, RS. E-mail: cbredemeier@gmail.com <sup>(3)</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Catarinense, Rua das Rosas, s/nº, CEP 88965-000 Santa Rosa do Sul, SC. E-mail: naracelis@ifc-sombrio.edu.br

Resumo – O objetivo deste trabalho foi validar um modelo baseado no índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), para a predição da variabilidade espacial da biomassa acumulada na parte aérea e da produtividade de grãos de trigo. Foram realizadas leituras georreferenciadas de NDVI e biomassa, no final do afilhamento, e produtividade. O modelo proposto permitiu relacionar classes de variabilidade espacial do NDVI e da biomassa, com 81% de correspondência entre elas. Entretanto, a relação entre as classes de variabilidade espacial da produtividade e do NDVI foi menor, com 48% de correspondência.

Termos para indexação: *Triticum aestivum*, agricultura de precisão, NDVI, variabilidade espacial.

#### Validation of model for wheat yield prediction potential using active optical sensor

Abstract – The objective of this work was to validate a model based on the normalized difference vegetation index (NDVI) for the prediction of spatial variability of accumulated biomass in shoots and wheat grain yield. Georeferenced readings of NDVI and biomass, at the end of tillering, and of grain yield were carried out. The proposed method allowed relating classes of spatial variability of NDVI and biomass, with 81% of correspondence between them. However, the relation between spatial variability of yield and NDVI was lower, with 48% of correspondence.

Index terms: *Triticum aestivum*, precision agriculture, NDVI, spatial variability.

Atualmente, é crescente a demanda por informações referentes à variabilidade espacial de indicadores dinâmicos que estimem o potencial produtivo de culturas (McBratney et al., 2005). A estimativa deste potencial, em um determinado estágio fenológico das plantas, viabiliza o manejo de sítio específico em lavouras, como adubações em taxa variável (Milani et al., 2006). O desenvolvimento de novos instrumentos, baseados em sensoriamento remoto, tem levado à expansão de práticas agrícolas aplicadas em tempo real. Alguns desses sensores são gerados com base em variáveis espectrais, como o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI). Um exemplo é o GreenSeeker (Trimble, Sunnyvale, Califórnia, EUA), equipamento portátil, utilizado para adequar adubações nitrogenadas em taxa variável e tempo real (Raun et al., 2005).

O NDVI foi proposto por Rouse et al. (1973) para a quantificação do crescimento da vegetação e da biomassa acumulada, e varia de -1 a +1. Quanto maior o seu valor, maior o vigor de desenvolvimento da cultura (Rouse et al., 1973). A partir desse princípio, Raun et al. (2005) desenvolveram algoritmos para aplicações de doses nitrogenadas em trigo e milho, com esse sensor. No Brasil, Povh et al. (2008) adaptaram essa metodologia, para ajuste de doses nitrogenadas em trigo, centeio e triticale. Grohs et al. (2009), no Rio Grande do Sul, propuseram um modelo para a estimativa da variabilidade espacial do potencial produtivo em cereais de inverno, no final do período de afilhamento, entre a emissão da quinta e da sétima folha. Essa fase é considerada crítica para o manejo da adubação nitrogenada desses cereais, pois é nesse momento que se define o máximo número de filhinhos,

componente do rendimento nesses cereais (Wamser & Mundstock, 2007). Assim, a predição de doses nitrogenadas a serem aplicadas em cobertura, na cultura do trigo, pode ser baseada no conhecimento prévio do potencial produtivo da lavoura no final do afilhamento.

O objetivo deste trabalho foi validar um modelo baseado no NDVI, para a predição da variabilidade espacial da biomassa acumulada na parte aérea e da produtividade de grãos de trigo.

O experimento foi conduzido sobre uma lavoura comercial da cultivar Fundacep 51 de trigo, em Victor Graeff, RS (52°20'29"W, 28°28'29"S). A semeadura foi realizada em 25/5/2006. Foi selecionada uma área de 7,3 ha na lavoura, com altitude entre 490 a 500 m. Em 1/8/2006, as plantas encontravam-se na emissão da sétima folha. Antes da aplicação do nitrogênio, foram georreferenciados 119 pontos, com um receptor GPS portátil modelo CS60 (Garmin, Olathe, EUA). Foi utilizada uma grade amostral de 20x20 m, em que cada amostra correspondeu a 400 m<sup>2</sup>. As variáveis quantificadas nesses pontos foram: NDVI e biomassa acumulada na parte aérea, na emissão da sétima folha (7.1 da escala Haun), e produtividade de grãos.

A leitura do NDVI foi realizada sobre o dossel de plantas com o sensor GreenSeeker. O sensor foi posicionado em uma altura entre 0,8 e 1,0 m acima e paralelamente à superfície do solo, sendo as leituras realizadas em 0,3 m<sup>2</sup>. Após essa medição, foi realizada a amostragem de plantas na mesma área medida pelo sensor. A biomassa acumulada (kg ha<sup>-1</sup>) foi determinada após secagem das plantas, em estufa, a aproximadamente 65°C. Já a produtividade de grãos, foi determinada no final do ciclo, em 31/10/2006, após a colheita manual das espigas em uma área de 0,3 m<sup>2</sup> próxima à área amostrada anteriormente. Após a trilha, a massa de grãos foi corrigida para 13% de umidade e determinou-se a produtividade de grãos (kg ha<sup>-1</sup>).

O modelo a ser validado para a estimativa da variabilidade espacial da biomassa acumulada e da produtividade de grãos, obtido a partir das leituras do NDVI, foi baseado na equação,

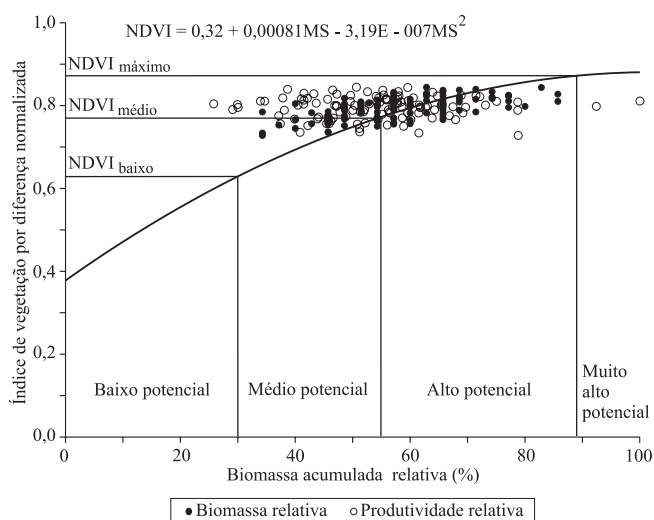
$$\text{NDVI} = 0,13 + 0,00097\text{MS} - 3,52\text{E} - 007\text{MS}^2,$$

(Grohs et al., 2009), em que: NDVI corresponde à leitura do índice de vegetação por diferença normalizada avaliada no período do afilhamento; e MS à biomassa de matéria seca acumulada. Essa equação é aplicada

conjuntamente, pois, a partir da leitura do NDVI, estimam-se dois potenciais produtivos: a biomassa acumulada e, ao mesmo instante, a produtividade de grãos. Contudo, a estimativa dessas variáveis é indireta e não prediz valores absolutos (Figura 1), mas ajusta-se à quatro classes de potencial produtivo: baixo (NDVI<0,59), médio (NDVI entre 0,59 e 0,75), alto (NDVI entre 0,75 e 0,83) e muito alto (NDVI>0,83). Os detalhes referentes à obtenção das classes estão disponíveis em Grohs et al. (2009).

Para a validação do modelo, o primeiro passo foi a transformação dos valores absolutos de biomassa e produtividade de grãos em valores relativos, para ajuste às classes de potencial produtivo. Aos valores máximos de biomassa acumulada e de produtividade de grãos foi atribuído o valor unitário (=1), e aos demais, uma proporção deste. Em seguida, os valores relativos de biomassa e produtividade foram ajustados, dentro dos limites das classes de potencial produtivo estimadas pelo modelo, em função do valor de NDVI correspondente.

Os mapas de isolinhas da biomassa e de produtividade de grãos foram sobrepostos ao mapa gerado em função do NDVI, tendo-se obtido os mapas de correspondência – expressos em termos percentuais de área sobreposta e não sobreposta, a partir da contagem digital de pixels equivalentes em cada imagem. Esses



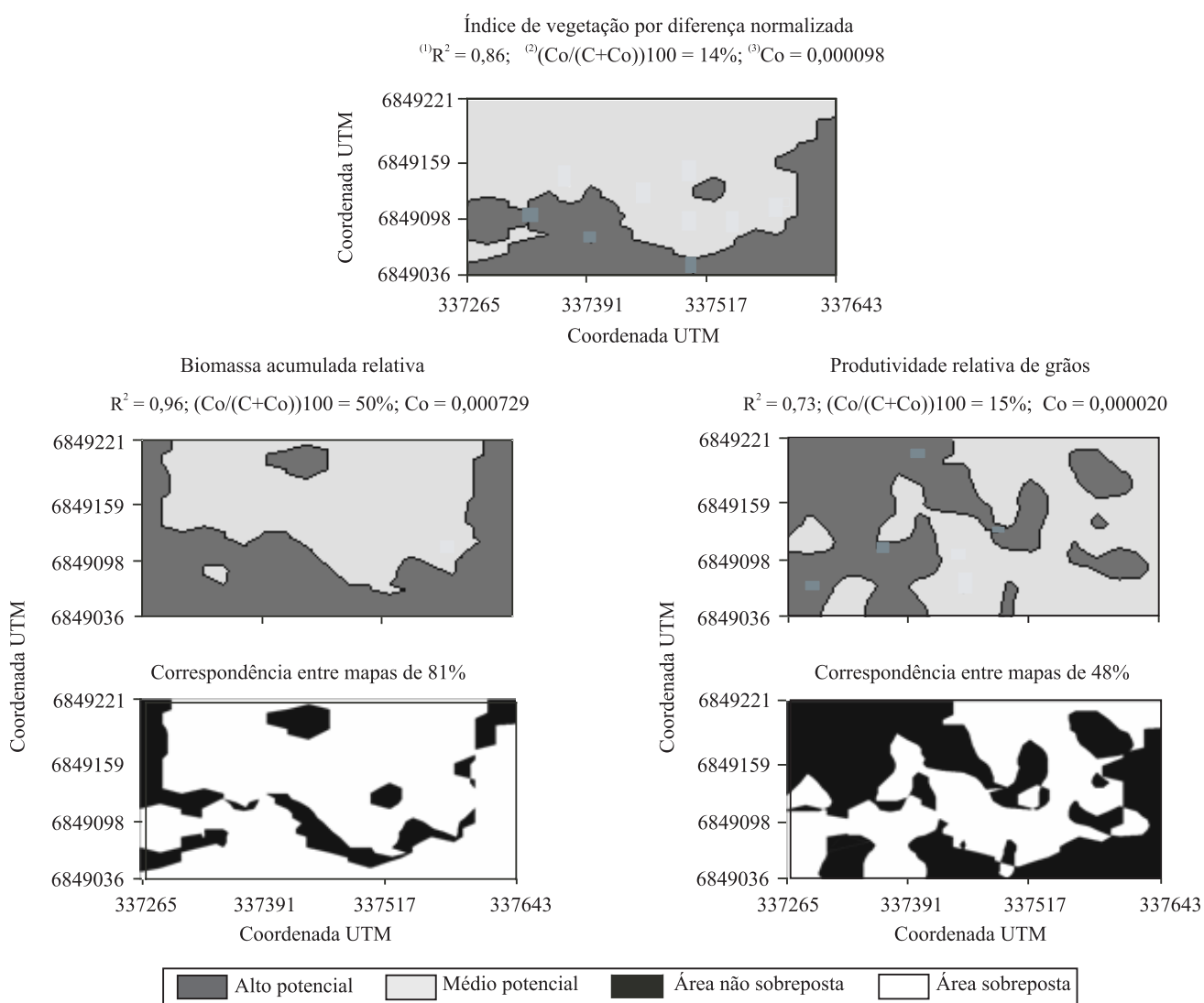
**Figura 1.** Modelo para estimativa de classes do potencial produtivo de trigo no final do afilhamento de acordo com Grohs et al. (2009), e ajuste dos valores de biomassa acumulada e produtividade de grãos, amostrados na lavoura, às classes de potencial produtivo previstas pelo modelo.

mapas foram gerados por procedimento geoestatístico, com uso do programa computacional GS<sup>+</sup> versão 7.0, cujas etapas são descritas resumidamente por Camargo et al. (2004): primeiro, análise estrutural dos dados com base no procedimento isotrópico para escolha dos semivariogramas mais adequados; segundo, análise da qualidade dos modelos ajustados pelo coeficiente de determinação, pela dependência espacial entre as amostras e pela ocorrência do efeito pepita; e, terceiro, construção dos mapas temáticos.

Os valores máximos de biomassa acumulada e produtividade de grãos, obtidos nos pontos amostrados

da lavoura, foram, respectivamente, 2.588 e 5.602 kg ha<sup>-1</sup>. Após a transformação dos valores absolutos em relativos e a sua distribuição nas classes de potencial produtivo do modelo, observou-se que a variação dos valores de biomassa e produtividade foram baixos e ajustaram-se prioritariamente às classes de médio a alto potencial (Figura 1).

No ajuste dos modelos de semivariogramas (Figura 2), obteve-se exponencial, para o NDVI, e esférico para biomassa acumulada e produtividade de grãos. A qualidade do ajuste foi considerada satisfatória e foram observadas poucas diferenças entre as variáveis.



**Figura 2.** Correspondência com o mapa de isolinhas do índice de vegetação por diferença normalizada com o mapa da biomassa acumulada relativa e produtividade relativa de grãos, e parâmetros de ajuste dos semivariogramas. <sup>(1)</sup>Coefficiente de determinação do ajuste do modelo. <sup>(2)</sup>Grau da dependência espacial entre as amostras. <sup>(3)</sup>Efeito pepita.

De modo geral, o  $R^2$  obtido foi elevado, tendo variado de 0,73 a 0,96. O grau de dependência espacial entre as amostras foi classificado como forte, para o NDVI e a produtividade de grãos, e moderado para a biomassa. Quanto ao efeito pepita, os maiores valores ocorreram para a biomassa e os menores para o NDVI e a produtividade de grãos.

Os mapas gerados foram delimitados, conforme as duas classes de potencial predominantes. Assim, o NDVI mostrou uma alta (81%) e média (48%) correspondência com os mapas de biomassa acumulada e produtividade de grãos, respectivamente (Figura 2). A alta correspondência entre os mapas de NDVI com a biomassa já era esperada. Raun et al. (2005), ao utilizar o sensor GreenSeeker em trigo, verificaram que a associação entre essas variáveis é íntima, independentemente dos fatores ambientais que causam a variabilidade temporal. A média correspondência do NDVI com a produtividade de grãos também era esperada. Em trabalhos baseados em sensores hiperspectrais, a relação de produtividade de grãos com o NDVI tende a ser significativa em estádios mais avançados das culturas, como no florescimento (Basso et al., 2001). Em estádios mais precoces, Casa & Castrignanò (2007) observaram que a variabilidade temporal da produtividade é mais forte que a espacial e, conseqüentemente, a sua predição, baseada apenas no NDVI, é instável ao longo do ciclo da cultura.

O modelo proposto por Grohs et al. (2009), com base na quantificação do NDVI, é válido para a caracterização da variabilidade espacial do potencial produtivo de trigo, especialmente da biomassa acumulada. No entanto, ainda são necessários outros trabalhos que foquem em métodos para aumentar a acurácia na predição da variabilidade espacial da produtividade pelo NDVI.

## Referências

- BASSO, B.; RITCHIE, J.T.; PIERCE, F.J.; BRAGA, R.P.; JONES, J.W. Spatial validation of crop models for precision agriculture. *Agricultural Systems*, v.68, p.97-112, 2001.
- CAMARGO, E.C.G.; FUCKS, S.D.; CÂMARA, G. Análise espacial de superfícies. In: DRUCK, S.; CARVALHO, M.S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.M.V. (Ed.). *Análise espacial de dados geográficos*. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004. p.79-122.
- CASA, R.; CASTRIGNANÒ, A. Analysis of spatial relationships between soil and crop variables in a durum wheat field using a multivariate geostatistical approach. *European Journal of Agronomy*, v.28, p.331-342, 2008.
- GROHS, D.S.; BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C.M.; POLETTO, N. Modelo para estimativa do potencial produtivo em trigo e cevada por meio do sensor GreenSeeker. *Engenharia Agrícola*, v.29, p.101-112, 2009.
- MCBRATNEY, A.; WHELAN, B.; ANCEV, T.; BOUMA, J. Future directions of precision agriculture. *Precision Agriculture*, v.6, p.7-23, 2005.
- MILANI, L.; SOUZA, E.G. de; URIBE-OPAZO, M.A.; GABRIEL FILHO, A.; JOHANN, J.A.; PEREIRA, J.O. Unidades de manejo a partir de dados de produtividade. *Acta Scientiarum Agronomy*, v.28, p.591-598, 2006.
- POVH, F.P.; MOLIN, J.P.; GIMENEZ, L.M.; PAULETTI, V.; MOLIN, R.; SALVI, J.V. Comportamento do NDVI obtido por sensor ótico ativo em cereais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.43, p.1075-1083, 2008.
- RAUN, W.R.; SOLIE, J.B.; STONE, M.L.; MARTIN, K.L.; FREEMAN, K.W.; MULLEN, R.W.; ZHANG, H.; SCHEPERS, J.S.; JOHNSON, G.V. Optical sensor-based algorithm for crop nitrogen fertilization. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.36, p.2759-2781, 2005.
- ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE SYMPOSIUM, 3., 1973, Washington. *Proceedings*. Washington: NASA, 1973. v.1, p.309-317.
- WAMSER, A.F.; MUNDSTOCK, A.M. Adubação nitrogenada em estádios fenológicos em cevada, cultivar "MN 698". *Ciência Rural*, v.37, p.942-948, 2007.