



AGRICULTURA DE PRECISÃO
Resultados de um Novo Olhar

Alberto Carlos de Campos Bernardi
João de Mendonça Naime
Álvaro Vilela de Resende
Luís Henrique Bassoi
Ricardo Yassushi Inamasu
(editores)

Embrapa

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Instrumentação

Rua XV de Novembro, 1452 – Caixa Postal 741

CEP 13560-970 - São Carlos - SP

Fone: (16) 2107-2800 – Fax: (16) 2107-2902

www.embrapa.br

www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente

João de Mendonça Naime

Membros

Cinthia Cabral da Costa

Elaine Cristina Paris

Maria Alice Martins

Cristiane Sanchez Farinas

Valéria de Fátima Cardoso

Membro suplente

Paulo Renato Orlandi Lasso

**Normalização bibliográfica, Projeto gráfico,
Capa, Editoração eletrônica, Tratamento das ilustrações**
Editora Cubo

Foto da Capa

Ricardo Yassushi Inamasu

Impressão e Acabamento

RB Gráfica Digital Eirelli

1ª edição

1ª impressão (2014): 1.000 exemplares

2ª impressão (2014): 1.000 exemplares

As opiniões, conceitos, afirmações e conteúdo desta publicação são de exclusiva e de inteira responsabilidade dos autores, não exprimindo, necessariamente, o ponto de vista da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), vinculada ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados internacionais de catalogação na publicação - CIP
Embrapa Instrumentação

A278 Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar. / Alberto Carlos de Campos Bernardi, [et al.], editores técnicos. – Brasília, DF : Embrapa, 2014.
596 p. ; II. color. ; 21 cm x 29,7 cm.

ISBN 978-85-7035-352-8

1. Agricultura de precisão. 2. Instrumentação. 3. Automação Agropecuária.
4. Inovação. 5. Culturas. 6. Agricultura. I. Bernardi, Alberto Carlos de Campos.
II. Naime, João de Mendonça. III. Resende, Álvaro Vilela de. IV. Bassoi, Luis
Henrique. V. Inamasu, Ricardo Yassushi. VI. Embrapa Instrumentação.

CDD 21 ED 681.763

©Embrapa 2014

Sistematização do índice de oportunidade na adoção da agricultura de precisão para diferentes sistemas produtivos

Ronaldo P. de Oliveira^{1*}, Ziany Neiva Brandão^{2*}, Alberto C. de Campos Bernardi^{3*}, Naylor Bastiani Perez^{4*}, Julio Cezar Franchini^{5*}, Vinicius de M. Benites^{1*}, Anderson Santi^{6*}, Luciano Gebler^{7*}, Luís Henrique Bassoi^{8*}, José Maria Filippini Alba^{9*}, Luciano S. Shiratsuchi^{10*}.

¹Pesquisador, Embrapa Solos

²Pesquisadora, Embrapa Algodão

³Pesquisador, Embrapa Pecuária Sudeste

⁴Pesquisador, Embrapa Pecuária Sul

⁵Pesquisador, Embrapa Soja

⁶Pesquisador, Embrapa Trigo

⁷Pesquisador, Embrapa Uva e Vinho

⁸Pesquisador, Embrapa Semiárido

⁹Pesquisador, Embrapa Clima Temperado

¹⁰Pesquisador, Embrapa Agrossilvipastoril

*E-mail: ronaldo.oliveira@embrapa.br; ziany.brandao@embrapa.br; alberto.bernardi@embrapa.br; naylor.perez@embrapa.br; julio.franchini@embrapa.br; vinicius.benites@embrapa.br; anderson.santi@embrapa.br; luciano.gebler@embrapa.br; luis.bassoi@embrapa.br; jose.filippini@embrapa.br; liciano.shiratsuchi@embrapa.br.

Resumo: A caracterização da variação espacial da produção é demanda na adoção da agricultura de precisão. Algumas abordagens buscam estabelecer métricas em apoio a uma gestão eficiente do manejo por sítio-específico. Entre as métricas parametrizadas segundo o ajuste do semi-variograma, o índice de oportunidade de adoção quantifica a variação espacial em função da viabilidade operacional das tecnologias disponíveis. Proposto com base em sistemas de produção de grãos australianos, o modelo foi aplicado no Brasil como ação transversal aos experimentos da Rede de Agricultura de Precisão da Embrapa. O principal objetivo foi avaliar o potencial de uso do índice aplicado a diferentes sistemas produtivos sob condições comuns de monitoramento no Brasil. Este trabalho conclui a fase de sistematização do índice; adaptando o protocolo de aplicação do método; e complementa resultados preliminares do modelo aplicado a dados de condutividade elétrica aparente do solo. Resultados finalísticos consideram conjuntos de dados obtidos por diferentes tecnologias de monitoramento em dez unidades de pesquisa. Valores absolutos e correlações resultantes da sistematização indicam a aplicabilidade do modelo, validam a estabilidade numérica dos resultados e sugerem calibrações específicas do comprimento operacional para os diferentes sistemas de produção.

Palavras-chave: suporte a decisão, índice de oportunidade, variação espacial, sítio-específico

An index to assess the opportunity for precision agriculture applied to different cropping systems

Abstract: Quantitative characterization of the spatial variation in crop yield has first been applied in Brazil using the opportunity index for the adoption of precision agriculture. The study is part of a joint research project, named Brazilian Precision Agriculture Research Network, aiming at establishing methods and protocols for the adoption of PA technology. The model uses semi-variogram parameters to quantify the magnitude and the spatial structure of variation. This work complements preliminary index results from four to ten research-plots, concluding a stepwise process to adapt the method of application to different production systems and sensor technologies. Results from available technologies have fit typical index values previously observed in Australia, suggesting model suitability to Brazilian conditions, numerical stability in response, and the potential for model calibration to different management practices.

Keywords: decision support, opportunity index, spatial variability, site-specific



1. Introdução

A modelagem quantitativa da variação espacial é uma das demandas no desenvolvimento de ferramentas de apoio às etapas de adoção da agricultura de precisão (AP). A carência por sistemas de suporte a decisão que sejam efetivamente integrados à gestão do sistema de produção não é nova (McCOWN, 2002), mas persiste como fator limitante na adoção da tecnologia (MATTHEWS et al., 2008). A caracterização e a quantificação da variação espacial dos fatores de produção são etapas componentes de um processo cíclico de adoção das tecnologias da AP (STAFFORD, 2000). Estas etapas permitem estabelecer métricas, indicadores e limiares aplicados na gestão estratégica e operacional do sistema de manejo. A modelagem numérica visa facilitar o entendimento agrônomo das causas da variação na produção, indicando impedimentos ao ganho de produtividade.

Contribuições semi-quantitativas aplicam a geoestatística na caracterização da estrutura de autocorrelação espacial das variáveis, parametrizando o semi-variograma (ZIMBACK, 2001) ou estimando semi-variogramas médios e proporcionais (McBRATNEY; PRINGLE, 1999). Outra abordagem com base na análise variográfica que quantifica a viabilidade operacional do investimento na AP é o índice de oportunidade na adoção da agricultura de precisão (O_i). Proposto preliminarmente em Pringle et al. (2003), este índice é função da variabilidade da produção (Y_i) e do retorno ambiental associado (E), expressa como $O_i = f(Y_i, E)$.

A variabilidade espacial é quantificada com valores de ajuste do semi-variograma segundo componentes de magnitude e de estrutura espacial da variação, sendo a estrutura espacial um limitante da viabilidade de manejo por sítio-específico (PRINGLE et al., 2003). O O_i foi adaptado a processos de decisão estratégica e operacional; apesar de permanecer sem uma proposta metodológica que considere a valoração ambiental na adoção da AP. Uma vez sistematizado, espera-se que valores médios possam indicar limiares na tomada de decisão, indicando ações mais eficientes em nível de talhão, ou priorizando áreas aptas em nível de propriedade. Investigações associadas consideraram: a trafegabilidade de

máquinas segundo a morfologia matemática do terreno (TISSEYRE; McBRATNEY, 2007); dados de condutividade elétrica aparente (CE_a) do solo e índices de vegetação (IVs) (DE OLIVEIRA; WHELAN, 2008); e valores de NDVI na colheita seletiva em vitivinicultura (MONSÓ; ARNÓ; MARTINEZ-CASASNOVAS, 2013).

Este trabalho conclui a fase de sistematização do O_i no Brasil como uma das ações transversais aos experimentos da Rede de Agricultura de Precisão da Embrapa (Rede AP). O objetivo foi avaliar o potencial de uso do modelo proposto em Oliveira (2009) para diferentes sistemas produtivos (i.e. culturas anuais e perenes) e, de forma geral, validar a robustez matemática do algoritmo aplicado a dados de sensores de CE_a do solo, produtividade e imagens orbitais (i.e. satélite) obtidos nas unidades piloto (UPs) da Rede AP. Resultados preliminares com dados de CE_a do solo para um número limitado de UPs sugeriram: i) a viabilidade de escolha entre sensores de CE_a (i.e. indução ou contato) segundo particularidades operacionais do sistema produtivo; ii) a estabilidade dos resultados absolutos do modelo; e iii) correlações entre os índices do monitoramento de CE_a do solo com a variabilidade espacial de atributos do solo coletados por grade amostral. Resultados finalísticos complementam a aplicação do método e demonstram a robustez analítica do modelo.

2. Material e Métodos

Esta etapa finalística da sistematização do O_i amplia o uso do modelo com variáveis obtidas em dez (10) UPs; conforme aplicação descrita em Oliveira et al. (2012) para dados de CE_a de quatro (4) áreas. Dados compilados neste trabalho abrangem áreas nos seguintes sistemas agrícolas: i) produção de algodão situada na Fazenda Pamplona, Cristalina, GO (coordenadas 16°10'16"S; 47°37'47"O), detalhada em Brandão et al. (2013); ii) sistema de integração lavoura-pecuária (ILP), Bagé, RS (coordenadas 31°19'9.12"S; 53°59'22.2"O), com sucessão de soja e pastagem (PEREZ et al., 2011); iii) sistema de plantio direto (SPD) da Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária (FAPA), Guarapuava, PR (coordenadas 25°32'S; 51°30'O), com cultivo de trigo, aveia ou cevada no inverno e soja ou milho

no verão (OLIVEIRA et al., 2011); iv) SPD no município de Castelândia, GO (coordenadas 18°4'44.14"S; 50°10'52.6"O), com rotação das culturas de soja, milho e sorgo, tendo o solo e o histórico de adoção descritos em Oliveira e Benites (2012); v) lavoura comercial sob SPD no município de Não-Me-Toque, RS (coordenadas 28°22'17"S; 52°54'30"O), com sucessão de aveia preta e soja na safra monitorada; vi) produção comercial de grãos sob SPD, localizada na Fazenda Santa Anastácia em Sorriso, MT (coordenadas 28°29'51.8"S; 56°49'25.36"O); vii) área irrigada por pivô central com pastagem tropical e cultivo de milho para silagem, localizada em São Carlos, SP (coordenadas 21°57'15"S; 47°50'53,5"O), detalhadas em Bernardi et al. (2011a,b); viii) pomar comercial da Mussato Consultoria em Vacaria, RS (coordenadas 28°29'51,71"S; 50°49'25,52"O), com maçãs da variedade Fuji como detalhado em Kuse et al. (2013); ix) pomar comercial de uva de mesa no Perímetro Irrigado Senador Nilo Coelho, no município de Petrolina, PE (coordenadas 9°3'12,8"S; 40°39'13,8"O) como detalhada em Nascimento, Bassoi e Rabello (2013); e x) produção de arroz irrigado na Estação Experimental Terras Baixas (ETB) em Capão do Leão, RS (coordenadas 31°48'45,53"S; 52°28'35,20"O).

As variáveis de entrada no cálculo do O_i são caracterizadas pelos conjuntos de dados gerados com sensores para o monitoramento intensivo por safra em cada talhão, obedecendo a viabilidade operacional dos diferentes sistemas. Os conjuntos de dados, num total de 31, foram obtidos utilizando sensores de proximidade (i.e. CE_a do solo e produtividade) e sensores remotos (i.e. imagens orbitais da refletância multiespectral). As medidas de CE_a do solo, num total de 21, foram realizadas por: i) rastreamento contínuo por contato, com o Veris 3100 (Veris Technologies[®]) nas profundidades de 30 e 90 cm; ii) rastreamento contínuo por indução eletromagnética, com o EM-38 (Geonics Ltda.) nas configurações vertical e horizontal (RABELLO, 2009); e iii) medição pontual por contato, com o protótipo descrito em Rabello et al. (2011). Dados do monitoramento da produção, num total de 4 em 3 culturas (i.e. algodão, milho e soja), foram observados nas safras 2010/2011 e 2011/2012. Dados de IVs durante o desenvolvimento

do algodão (i.e. 125, 170 e 190 DAE) foram obtidos por transformações lineares (i.e. NDVI e MSAVI) da refletância do dossel monitorada pelo satélite Landsat-5 (BRANDÃO et al., 2013). A organização e análise dos dados seguiu as etapas descritas em Oliveira et al. (2012) aplicando o O_i (OLIVEIRA, 2009) para dados de CE_a . A compilação e processamento deste acervo de dados heterogêneos visa uma avaliação da robustez de resposta do modelo e da estabilidade dos valores absolutos do índice. Condições similares de heterogeneidade são observadas no acervo de dados históricos em sistemas de produção de grãos na Austrália que foi utilizado na revisão do modelo preliminar proposto para culturas anuais e perenes (PRINGLE et al., 2003). Este acervo reúne informações de associações de produtores que adotam a AP em condições agrônomicas distintas; para o qual o sumário de resultados do modelo revisado em Oliveira (2009) são utilizados como termos comparativos para médias obtidas no Brasil. Para análise dos mapas em relação aos valores de O_i , as variáveis foram interpoladas por krigagem ordinária e os mapas classificados segundo uma legenda comum as distribuições de dados do mesmo sensor.

3. Resultados e Discussão

Resultados finalísticos do índice abrangem a aplicação do método para distintos sistemas de produção (i.e. culturas anuais e perenes) utilizando dados observados com três (3) tipos de tecnologias (i.e. CE_a do solo; produção e índices de vegetação); demonstrando a robustez do algoritmo com valores absolutos do O_i estáveis em relação as médias típicas para as diferentes tecnologias (Tabela 1). O resultado geral do O_i com dados de sensores de CE_a do solo (S_i) ficou abaixo das médias australianas (Tabela 2), apesar de estável no intervalo de variação típico do O_i (i.e. entre 0 e 10); em particular na baixa correlação do componente de magnitude da variação. Entre as possíveis causas dos baixos valores no Brasil estão: i) o monitoramento de CE_a com sensores por contato, em modo contínuo ou pontual, na grande maioria das áreas, em contraste a totalidade de medidas por indução na Austrália; ii) as condições de fertilidade e umidade do solo em áreas de grãos

Tabela 1. Valores do índice de oportunidade (O_i) na adoção da agricultura de precisão e dos seus componentes da magnitude e da estrutura espacial da variação na autocorrelação das variáveis obtidas por diferentes sensores em áreas sob variados sistemas de produção das Unidades Piloto (UP) da Rede de Agricultura de Precisão da Embrapa.

| UP | Área (ha) | Talhão (Ano) | Sensor [*] (Var.) | C_v ¹ (%) | M_v ² | C_d ³ (m) | S_v ⁴ | O_i ⁵ | | |
|---|-----------|---|-------------------------------|-----------------------------|----------------------------|------------------------|--------------------|--------------------|-----|-----|
| Pastagem Tropical e Milho (silagem) Irrigados | 8,0 | Pivô Q4 ₍₂₀₁₀₎ | CE (20 cm) | 18,7 | 1,3 | 18 | 0,9 | 1,1 | | |
| | | | CE (40 cm) | 27,9 | 2,0 | 243 | 12,8 | 5,0 | | |
| | 18,0 | Pivô Q2-3 ₍₂₀₁₁₎ | Produção _(Milho) | 14,1 | 1,0 | 106 | 5,6 | 2,4 | | |
| | | | Pivô Q2-3 ₍₂₀₁₂₎ | Produção _(Milho) | 7,5 | 0,5 | 94 | 4,9 | 1,6 | |
| | | Pivô Q2-3 ₍₂₀₁₃₎ | EM38 _(Horiz.) | 69,3 | 4,9 | 78 | 4,1 | 4,5 | | |
| | | | EM38 _(Vert.) | 31,7 | 2,2 | 6 | 0,8 | 1,4 | | |
| Algodão | 57,6 | Lavoura E ₍₂₀₁₀₎ | Veris (30 cm) | 14,4 | 1,0 | 1112 | 58,6 | 7,7 | | |
| | | | Veris (90 cm) | 18,8 | 1,3 | 736 | 38,8 | 7,2 | | |
| | | Lavoura E ₍₂₀₁₁₎ | Produção _(Algodão) | 4,1 | 0,3 | 282 | 14,8 | 2,1 | | |
| | | | NDVI ₍₁₂₅₎ | 0,7 | 0,1 | 1206 | 63,6 | 1,8 | | |
| | | | NDVI ₍₁₇₀₎ | 10,1 | 0,7 | 345 | 18,2 | 3,6 | | |
| | | | NDVI ₍₁₉₀₎ | 33,7 | 2,4 | 256 | 13,5 | 5,7 | | |
| | | | MSAVI ₍₁₂₅₎ | 3,0 | 0,2 | 577 | 30,4 | 2,5 | | |
| | | | MSAVI ₍₁₇₀₎ | 8,9 | 0,6 | 565 | 29,8 | 4,3 | | |
| | | SPD Grãos (Guarapuava) | 18,9 | FAPA ₍₂₀₁₁₎ | Produção _(Soja) | 6,3 | 0,5 | 60 | 3,2 | 1,2 |
| | | | | | FAPA ₍₂₀₁₀₎ | Veris (30 cm) | 19,3 | 1,5 | 148 | 7,8 |
| SPD Grãos (Castelândia) | 33,0 | T-6 ₍₂₀₁₀₎ | Veris (30 cm) | 23,3 | 1,6 | 311 | 16,4 | 5,2 | | |
| | | | Veris (90 cm) | 20,4 | 1,4 | 95 | 5,0 | 2,7 | | |
| SPD Grãos (Nao-Me-Toque) | 43,0 | Cotrijal ₍₂₀₁₀₎ | Veris (30 cm) | 15,2 | 1,1 | 203 | 10,7 | 3,4 | | |
| | | | Veris (90 cm) | 17,2 | 1,2 | 127 | 6,7 | 2,8 | | |
| ILP Sul (Bagé) | 21,0 | UR Bagé ₍₂₀₁₀₎ | Veris (30 cm) | 70,9 | 5,0 | 149 | 7,9 | 6,3 | | |
| | | | Veris (90 cm) | 69,9 | 4,9 | 10 | 0,5 | 1,6 | | |
| Arroz Irrigado | 1,3 | ETB ₍₂₀₁₁₎ | Veris (30 cm) | 27,1 | 1,9 | 91 | 4,8 | 3,0 | | |
| | | | Veris (90 cm) | 141,5 | 10,0 | 42 | 2,2 | 4,7 | | |
| Maçã | 3,5 | Mussato ₍₂₀₁₂₎ | Veris (30 cm) | 51,0 | 3,6 | 51 | 2,7 | 3,1 | | |
| | | | Veris (90 cm) | 36,4 | 2,6 | 191 | 10,1 | 5,1 | | |
| Videira de Mesa | 1,6 | Lote 180 ₍₂₀₁₂₎ | Veris (20 cm) | 19,0 | 1,3 | 155 | 8,2 | 3,3 | | |
| | | | Veris (40 cm) | 17,3 | 1,2 | 18 | 1,0 | 1,1 | | |
| SPD Grãos (Sorriso) | 129,8 | S ^{ta} . Anastácia ₍₂₀₁₃₎ | EM38 _(Horiz.) | 51,6 | 3,6 | 518 | 27,3 | 10,0 | | |

^{*} Sensor_(Var.) = Tipo de Sensor_(variável monitorada); sendo: Veris_(profundidade da leitura em centímetros); EM38_(modo de operação Horizontal ou Vertical); Produção_(Cultura); NDVI_(dias após emergência); ou MSAVI_(dias após emergência).

¹ C_v = Coeficiente de Variação Espacial; ² M_v = Magnitude da Variação; ³ C_d = Maior Distância de Correlação; ⁴ S_v = Estrutura Espacial da Variação; e ⁵ O_i = Índice de Oportunidade.

sob SPD, dadas práticas diferenciadas de aplicação de insumos a longo e do curto intervalo de tempo para monitoramento entre as safras de verão e de inverno, em geral em períodos muito secos; e iii) questões na calibração dos equipamentos nos diferentes sistemas.

Valores do O_i para dados de produção (Y_i) foram em geral baixos para todas as ocorrências (Tabela 1), visivelmente promovidos pelos baixos valores do coeficiente de variação espacial (CV_a) utilizado no cálculo do componente de magnitude da variação (M_v). Os valores finais ficaram abaixo dos limiares da oportunidade de adoção na Austrália (Tabela 2). Isto pode ser melhor observado para a produção de algodão, apresentando o menor M_v mesmo que associado a uma variação da produção dentro da média de 16% prevista para a cultura (i.e. entre 2,5 e 3,0 t). Neste caso, o índice final ficou baixo (i.e. pouca oportunidade de adoção) mesmo que com uma boa estrutura espacial na variação (alto S_v), uma vez que a amplitude na variação da produção do algodão (i.e. 0,5 t) é pequena em relação aos valores de grãos que calibraram o modelo. Ainda para as produções de milho e soja, apresentando variações acima das médias (e.g. variação de 3,5 t na soja), observa-se a influência do CV_a nos baixos valores de O_i . Este é um fator crítico na calibração do componente de magnitude do O_i , uma vez que sua média é aplicada na normatização do M_v , devendo ser ajustado por tipo de cultura ou tecnologia de monitoramento. Entretanto o acervo de dados é limitado, uma vez que sugeridos mais de 30 monitoramentos no ajuste do CV_a médio na cultura do milho (OLIVEIRA, 2009).

Valores do O_i com índices de vegetação (I_i) mantiveram-se dentro das médias (Tabela 2) e demonstram o potencial da aplicação alternativa do índice como métrica de controle temporal da variação espacial durante o desenvolvimento da cultura (Figura 1), quando observados os procedimentos de monitoramento e análise descritos em Brandão et al. (2013). Ambos os índices, NDVI e MSAVI, apresentam um aumento gradual no componente magnitude; refletindo uma maior amplitude de variação com o desenvolvimento da cultura; com simultânea redução na estrutura espacial da variação; coerente com uma menor dependência espacial causada pela maior heterogeneidade

de desenvolvimento das plantas. Este exemplo mostra a possibilidade de uso do O_i em diferentes escalas de aplicação; seja avaliando a estrutura de variação do solo para orientações no desenho amostral; acompanhando o comportamento da variação durante o desenvolvimento da cultura; ou comparando os índices por safras de um talhão na rotação de culturas, de vários talhões na priorização de áreas da propriedade, e as médias por propriedade em planos diretores locais. Mas a limitada disponibilidade de dados de produção compromete a análise mais conclusiva do desempenho do O_i . Observa-se a necessidade de um acervo temporal mínimo para viabilizar a caracterização da variabilidade. Dado o efeito temporal da variação, a experiência australiana indica um mínimo de três anos de monitoramento para um planejamento efetivo do manejo. Quando confrontados com valores de grãos na Austrália, os resultados apresentados dão fundamento ao algoritmo proposto, desta forma: difundido conceitos do modelo; explicitando procedimentos de análise; criando subsídios para a definição de um protocolo de análise no Brasil; e indicando o potencial de implementação do modelo e calibração de parâmetros operacionais de manejo.

4. Conclusões

Resultados do modelo complementam a abrangência de aplicação do método para diferentes sistemas de produção com três tipos de sensores, concluindo a sistematização do índice. A pesquisa adapta a aplicação do modelo para condições de monitoramento no Brasil. O modelo demonstrou estabilidade na amplitude de variação de valores absolutos típicos do O_i para diferentes tecnologias de monitoramento intensivo. Correlações entre os componentes magnitude e estrutura espacial sugerem a aplicabilidade do modelo em diferentes etapas do processo de adoção da AP. Valores absolutos do O_i indicam a necessidade de calibração de variáveis operacionais específicas dos sistemas de produção (i.e. culturas anuais e perenes) para mais efetivamente refletir a oportunidade na adoção da AP.

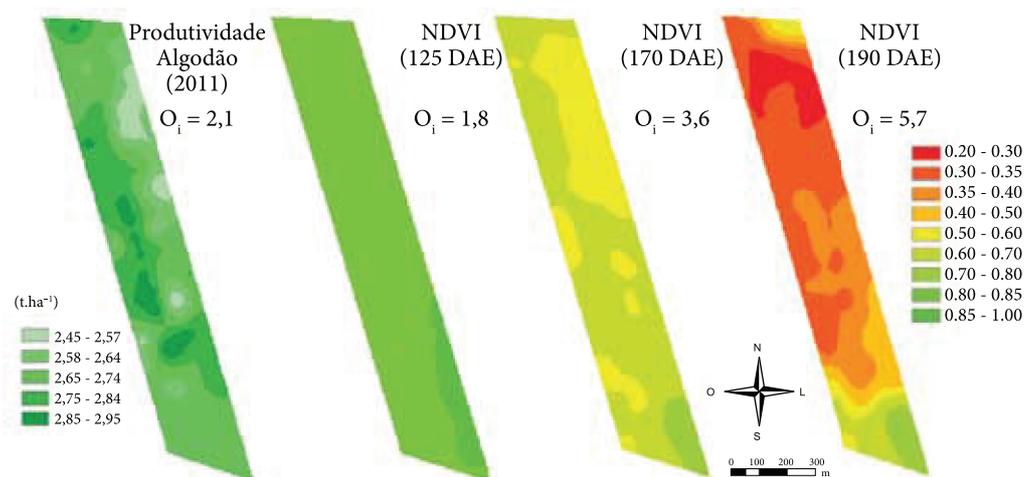


Figura 1. Mapas da produtividade do algodão; com baixo índice de oportunidade em função da pequena amplitude de variação apesar da oportuna estrutura espacial; e dos índices de vegetação (i.e. NDVI) em diferentes estágios do desenvolvimento da cultura (i.e. 125, 170 e 190 DAE); mostrando coerência dos valores do O_i na evolução da estrutura de variação e no aumento da amplitude de valores de NDVI segundo uma legenda comum aos três monitoramentos.

Tabela 2. Distribuição de valores dos índices de oportunidade de adoção da Agricultura de Precisão parametrizados pela correlação espacial de variáveis caracterizadas por diferentes tecnologias disponíveis na Austrália e no Brasil.

| País | Variável - Índice | Nº | Índice de Oportunidade (O_i) | | | $r(M_i)$ | $r(S_i)$ |
|-----------|---------------------------------|-----|----------------------------------|------|------|----------|----------|
| | | | Min. | Med. | Max. | | |
| Austrália | Produção - Y_i | 218 | 1,6 | 5,2 | 17,3 | 0,82 | 0,85 |
| | CE _a do Solo - S_i | 42 | 2,6 | 7,7 | 18,1 | 0,82 | 0,71 |
| | Índice Vegetativo - I_i | 87 | 2,0 | 3,7 | 9,0 | 0,83 | 0,94 |
| Brasil | Produção - Y_i | 4 | 1,2 | 1,8 | 2,4 | 0,52 | 0,50 |
| | CE _a do Solo - S_i | 31 | 0,8 | 3,4 | 10,0 | 0,14 | 0,75 |
| | Índice Vegetativo - I_i | 6 | 1,8 | 4 | 5,7 | 0,90 | 0,85 |

Agradecimentos

A Rede de Agricultura de Precisão da Embrapa e todas as instituições parceiras pelo apoio e suporte sem os quais esse trabalho não seria viável. Em particular aos produtores e técnicos envolvidos na coleta e organização de dados: Ladislau M. Rabello, Ronei S. Sana, Valdinei

Sofiatti, João H. Zonta, José da Cunha Medeiros, Giovana M. Bettiol, Marcos Correa Neves, Jose Pereira da Silva Junior, Getúlio S. Guimarães, Fabio A. de Oliveira, Henrique Debiasi, Adilson de Oliveira Junior, Thiago M. Machado, Abel L. Vieira, Ivan Bedin, Eliel F. do Nascimento, Henrique Levien, Jean Carlo dos S. Simões e José Carlos D'Ávila.

Referências

- BERNARDI, A. C. C.; BETTIOL, G. M.; INAMASU, R. Y.; RABELLO, L. M. Avaliação da produção e propriedades químicas espacializadas e da calagem e adubação a taxas variadas em lavoura de milho para silagem em São Carlos, SP. In: INAMASU, R. Y.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; BERNARDI, A. C. C. (Ed.). Agricultura de precisão: um novo olhar. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2011a. p. 176-183.
- BERNARDI, A. C. C.; BETTIOL, G. M.; INAMASU, R. Y.; RABELLO, L. M. Variabilidade espacial de propriedades do solo em pastagem manejada intensivamente em São Carlos, SP. In: INAMASU, R. Y.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; BERNARDI, A. C. C. (Ed.). Agricultura de precisão: um novo olhar. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2011b. p. 261-266.
- BRANDÃO, Z. N.; OLIVEIRA, R. P.; SANA, R. S.; SOFIATTI, V.; ZONTA, J. H.; MEDEIROS, J. C. Uso de imagens orbitais e suborbitais na caracterização da variabilidade espacial da produtividade. 2013.
- DE OLIVEIRA, R. P.; WHELAN, B. M. An index for evaluating crop production variability from remote and proximal sensor data. In: AUSTRALIAN AGRONOMY CONFERENCE, 14., 2008, Adelaide. Proceedings... Gosford: The Regional Institute, 2008.
- KUSE, L. R.; VIEIRA, A. L.; GEBLER, L.; GREGO, C. R. Analisi spaziale del suolo e correlazione con la produttività in melicoltura. Rivista di Frutticoltura e di Ortofloricoltura, v. 75, n. 3, 2013, p. 50-53.
- MONSÓ, A.; ARNÓ, J.; MARTINEZ-CASASNOVAS, J. A. A simplified index to assess the opportunity for selective wine grape harvesting from vigour maps. In: EUROPEAN CONFERENCE FOR PRECISION AGRICULTURE, 9., 2013. Proceedings... 2013. p. 625-632.
- MATTHEWS, K. B.; SCHWARZ, G.; BUCHAN, K.; RIVINGTON, M.; MILLER, D. Wither agricultural DSS? Computers and Electronics in Agriculture, v. 61, n. 2, p. 149-159, 2008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2007.11.001>
- MCBRATNEY, A. B.; PRINGLE, M. J. Estimating average and proportional variograms of soil properties and their potential use in precision agriculture. Precision Agriculture, v. 1, n. 2, p. 219-236, 1999. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1009995404447>
- MCCOWN, R. L. Changing systems for supporting farmers' decisions: problems, paradigms, and prospects. Agricultural Systems, v. 74, n. 1, p. 179-220, 2002. [http://dx.doi.org/10.1016/S0308-521X\(02\)00026-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0308-521X(02)00026-4)
- NASCIMENTO, E. F.; BASSOI, L. H.; RABELLO, L. M. Definição da malha de amostragem da condutividade elétrica do solo para obtenção de zonas de manejo em pomar de videira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2013, Fortaleza. Anais... Fortaleza: SBEA: UFC, 2013.
- OLIVEIRA, F. A.; FRANCHINI, J.; DEBIASI, H.; OLIVEIRA JUNIOR, A.; MACHADO, T. M. Variabilidade espacial da produtividade da soja e da condutividade elétrica de um Latossolo Bruno. In: INAMASU, R. Y.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; BERNARDI, A. C. C. (Ed.). Agricultura de precisão: um novo olhar. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2011. p. 153-156.
- OLIVEIRA, R. P. Contributions towards decision support for site-specific crop management. Sydney: Universidade de Sydney, 2009. 318 p.
- OLIVEIRA, R. P.; BENITES, V. M. Índices de variabilidade espacial do solo em apoio ao manejo eficiente de fertilizantes em sistema de plantio direto no cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2012, Ribeirão Preto. Anais... 2012.
- OLIVEIRA, R. P.; BERNARDI, A. C. C.; RABELLO, L. M.; INAMASSU, R. Y. Spatial variability index based on soil properties for no-till and pasture site specific management in Brazil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE FOR PRECISION FOR PRECISION AGRICULTURE, 2012, Indianápolis. Proceedings... 2012.
- PEREZ, N. B.; NEVES, M. C.; VOLK, L. B. S.; MARTINS, L.; SISTI, R. N. Variabilidade espaço-temporal em sistemas de integração lavoura-pecuária na Região Sul do Brasil: perspectivas de intervenção com agricultura de precisão. In: INAMASU, R. Y.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; BERNARDI, A. C. C. (Ed.). Agricultura de precisão: um novo olhar. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2011. p. 249-253.
- PRINGLE, M. J.; MCBRATNEY, A.; WHELAN, B.; TAYLOR, J. A. A preliminary approach to assessing the opportunity for site-specific crop management in a field, using a yield monitor. Agricultural Systems, v. 76, n. 1, p. 273-292, 2003. [http://dx.doi.org/10.1016/S0308-521X\(02\)00005-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0308-521X(02)00005-7)
- RABELLO, L. M. Condutividade elétrica do solo, tópicos e equipamentos. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2009. p. 19. (Serie Documentos, 43).
- RABELLO, L. M.; INAMASSU, R. Y.; BERNARDI, A. C. C.; NAIME, J. M.; MOLIN, J. P. Mapeamento da condutividade elétrica do solo: sistema protótipo. In: INAMASU, R. Y.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; BERNARDI, A. C. C. (Ed.). Agricultura de precisão: um novo olhar. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2011. p. 249-253.
- STAFFORD, J. V. Implementing precision agriculture in the 21st century. Journal of Agricultural Engineering Research, v. 76, n. 3, p. 267-275, 2000. <http://dx.doi.org/10.1006/jaer.2000.0577>
- TISSEYRE, B.; MCBRATNEY, A. A technical opportunity index based on mathematical morphology for site-specific management using yield monitor data. In: EUROPEAN CONFERENCE FOR PRECISION AGRICULTURE, 6., 2007, Greece. Proceedings... 2007. p. 249-256.
- ZIMBACK, C. R. L. Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade do solo. 2001. 114 f. Tese (Livro-Docência em Levantamento do Solo e Fotopedologia)-Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.