



XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo

Solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas
31 de julho à 05 de agosto - Center Convention - Uberlândia/Minas Gerais

USO DA KRIGAGEM INDICATRIZ COMO FERRAMENTA PARA MANEJO DA ADUBAÇÃO NA VITICULTURA IRRIGADA

Alessandra Monteiro Salviano Mendes⁽¹⁾; Luís Henrique Bassoi⁽²⁾; Davi José Silva⁽³⁾

⁽¹⁾ Pesquisador; Embrapa Semiárido; BR 428, km 152, Caixa Postal 23, Petrolina-PE, CEP 56302-970, amendes@cpatsa.embrapa.br; ⁽²⁾ Pesquisador; Embrapa Semiárido; BR 428, km 152, Caixa Postal 23, Petrolina-PE, CEP 56302-970, lhbassoi@cpatsa.embrapa.br; ⁽³⁾ Pesquisador; Embrapa Semiárido; BR 428, km 152, Caixa Postal 23, Petrolina-PE, CEP 56302-970, davi@cpatsa.embrapa.br

Resumo - A resposta de culturas agrícolas à adubação é de interesse tanto dos responsáveis pela recomendação de adubação quanto do produtor agrícola. Assim, este trabalho teve como objetivo mapear a probabilidade de resposta da videira cv. Sugaone irrigada à adubação por macronutrientes. As amostras de tecido foliar, na época de florescimento, foram coletadas nos pontos de cruzamento de uma malha com intervalos regulares em uma área de amostragem, composta por 11 linhas, cada uma com 14 plantas, perfazendo um total de 154 amostras. Na época de pleno florescimento da cultura, em cada planta foram retiradas 12 folhas inteiras, sendo 3 folhas em cada um dos quadrantes da cobertura foliar. Foram determinados os teores de N, P, K, Ca, Mg e S. Os dados foram analisados pela estatística descritiva e em seguida codificados em 0 ou 1, se estavam acima ou abaixo dos teores considerados suficientes para a cultura. A variabilidade espacial foi determinada pelo cálculo do semivariograma e construção de mapas de por meio da krigagem. Não foi possível o uso da krigagem indicatriz e a confecção do mapa probabilístico para o P e o Mg. Todavia, para os demais nutrientes estudados, o método da krigagem indicatriz pode ser utilizado como ferramenta para mapear a probabilidade de resposta à adubação na cultura da videira. Toda a área estudada apresentou teores foliares excessivos de P, e grande parte das plantas apresentou teores foliares deficientes de S, Ca e Mg, correspondentes as áreas de maior probabilidade de resposta à adubação destes nutrientes.

Palavras-Chave: *Vitis vinifera* L. agricultura de precisão; mapas probabilísticos; nutrição mineral.

INTRODUÇÃO

A região do Submédio São Francisco vem se destacando no cenário nacional como a maior produtora e exportadora de uvas finas de mesa do Brasil. Todavia, nessa região é prática comum a utilização excessiva de fertilizantes, acarretando prejuízos econômicos e problemas ambientais como salinização e contaminação do solo. Para que os ganhos econômicos sejam maximizados e as perdas ambientais minimizadas, faz-se necessário que as tomadas de decisões dos viticultores sejam baseadas em critérios técnicos (Melo, 2006) associados à utilização de um manejo com o maior embasamento

técnico possível. Segundo Tschiedel & Ferreira (2002), a introdução do conceito de agricultura de precisão é imprescindível em propriedades onde se tenha como objetivo maximizar os lucros e minimizar os danos ambientais. Com a adoção deste conceito, ter-se-á um controle maior sobre as possíveis causas na redução da produtividade e/ou dano ambiental.

O manejo da variabilidade, segundo Blackmore (1996), é a chave para o uso efetivo da tecnologia de agricultura de precisão. A geoestatística é uma ferramenta muito utilizada nos estudos de variabilidade espacial e temporal, podendo auxiliar na identificação de padrões espaciais de distribuição de nutrientes. Além disso, existem ferramentas da geoestatística que permitem estimar a probabilidade de ocorrência de um dado evento a partir de uma informação obtida.

O método da krigagem indicativa ou indicatriz é baseado em uma transformação binária dos dados, sendo cada dado transformado em um indicador antes de ser submetido às análises geoestatísticas e à krigagem. Por convenção, os dados são codificados em 0 ou 1, se estiverem acima ou abaixo de determinado valor de corte, respectivamente. O valor de corte é arbitrário e depende do objetivo do estudo. O resultado da transformação é um novo conjunto de dados, composto de 0 e 1, o qual é, então, submetido às análises geoestatísticas, obtendo-se, assim, o semivariograma indicador, que reflete o modelo de continuidade espacial para o valor de corte pré-estabelecido (Motomiya et al., 2006). A krigagem indicatriz tem sido usada com sucesso, segundo Verhagen & Bouma (1997), porque permite expressar o modelo espacial em termos de probabilidade de excesso. Em vez de apresentar os resultados de interpolações em termos de classes de valores fixos, pode-se apresentá-los em termos de probabilidade de que determinado valor seja excedido.

O uso dessa técnica permite a construção de mapas de zonas homogêneas, permitindo o manejo regionalizado do pomar, levando-se em conta a variabilidade espacial do solo e do estado nutricional das plantas.

Este trabalho teve por objetivo identificar zonas diferenciadas de manejo, em área comercial de produção de uva de mesa em Petrolina - PE, utilizando o procedimento de krigagem indicatriz a partir da variabilidade dos teores foliares de macronutrientes.

MATERIAL E MÉTODOS

A coleta de amostras de tecido foliar foi realizada na Fazenda Alpha Vale, em Petrolina-PE, em julho de 2006,



XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo

Solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas
31 julho à 05 agosto - Center Convention - Uberlândia/Minas Gerais

em parreiral da cultivar apirênica Sugaone, enxertada sobre o porta-enxerto SO4, plantado em 2002, no espaçamento de 3,5 x 4 m, e irrigado por microaspersão.

Em um grid regular de 35 x 56 m, composto pelo espaço entre 11 fileiras e 14 plantas em cada fileira, cada planta era considerada como um ponto amostral, perfazendo 154 amostras. Na época de pleno florescimento da cultura, em cada planta foram retiradas 12 folhas inteiras (limbo + pecíolo), sendo 3 folhas em cada um dos quadrantes da cobertura foliar para compor a amostra. Após a coleta, as mesmas foram levadas ao laboratório, lavadas e colocadas em estufa de circulação forçada para secagem a 65 °C por 72 h e em seguida, moídas em moinho tipo Willey. Para as determinações de macronutrientes, a exceção de N, o material vegetal foi submetido à digestão nítrico-perclórica conforme descrito em Embrapa (1999). Nesse extrato, a concentração de P foi determinada por espectrofotometria do metavanadato + molibdato, a de K por fotometria de emissão de chama, as de Ca e Mg por espectrofotometria de absorção atômica e a de S por turbidimetria do sulfato de bário. Para a determinação de N, submeteu-se o material vegetal à digestão sulfúrica e posterior destilação do extrato pelo método micro-Kjeldahl (Embrapa, 2006). A variabilidade dos dados foi inicialmente avaliada por meio de estatística descritiva; as variáveis foram classificadas, de acordo com os valores de CV, segundo Warrick & Nielsen (1980), como de baixa (CV<12%), média (12<CV<62%) e alta (CV>62%) variabilidade, e a hipótese de normalidade dos dados foi testada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (KS). Foram calculados o coeficiente de assimetria, que mostra o grau de dispersão da variável em relação a um valor central e o coeficiente de curtose, que mostra a dispersão (achatamento) da distribuição em relação à média. Para análise dos resultados foi utilizado o método da krigagem indicatriz, ou seja, escolheram-se níveis de corte ou valores críticos para delimitar os padrões de distribuição espacial. Como níveis de corte foram utilizados os teores referentes ao limite superior das faixas de concentração de nutrientes na folha completa da videira na fase de plena floração definidos por Terra (2003). A análise da dependência espacial foi feita por meio da geoestatística, conforme Vieira et al. (1983) e Robertson (1998) e do ajuste de semivariogramas. Esta análise baseia-se na suposição de que medições, de uma determinada variável, realizadas em pontos mais próximos são mais semelhantes umas às outras, que aquelas separadas por distâncias maiores. A semivariância é, por definição,

$$\text{dada por: } \gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

sendo N(h) o número de pares de valores medidos Z(x_i), Z(x_i + h), separados por um vetor h, sendo o gráfico de $\gamma(h)$ denominado semivariograma.

Do ajuste de um modelo matemático aos valores estimados de $\gamma(h)$ são definidos os coeficientes do modelo teórico para o semivariograma (o efeito pepita, C₀; patamar, C₀ + C₁; e o alcance, a). O efeito pepita é o valor da semivariância para a distância zero e representa o componente da variação ao acaso; o patamar é o valor da semivariância onde a curva se estabiliza sobre um valor constante; o alcance é a distância máxima até onde ocorre dependência espacial. A função semivariância foi calculada para todas as direções, semivariograma isotrópico, com o objetivo de perceber a presença de dependência espacial dos dados. Foram testados os modelos esférico, exponencial e gaussiano. Em caso de dúvida entre mais de um modelo para o mesmo semivariograma, considerou-se o melhor coeficiente de determinação e a menor soma de quadrados do resíduo. Para verificar a presença de anisotropia, foram calculados semivariogramas para quatro direções, com intervalos de 45 ° (0, 45, 90 e 135 °). A razão entre a variância estruturada e o patamar [C/(C₀ + C₁)], expressa em porcentagem, permitiu a classificação do grau de dependência espacial (Cambardella et al., 1994). Os mapas probabilísticos foram confeccionados de acordo com metodologia descrita em Landim & Sturaro (2002). O software utilizado para a confecção dos mapas de isolinhas foi o GS+ (Robertson, 1998).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os coeficientes de variação (Tabela 1) permitiram classificar os teores de todos os nutrientes como de média variabilidade (Warrick & Nielsen, 1980), exceto para o N que apresentou baixa variabilidade dos dados obtidos. Os valores D do teste KS demonstraram que os teores foliares dos micronutrientes apresentam distribuição normal dos dados, exceto para S. No entanto, a normalidade dos dados não é uma exigência para a aplicação de técnicas de geoestatística, sendo apenas recomendado que a distribuição não apresente caudas muito alongadas para não comprometer as análises (WEBSTER, 1985; CRESSIE, 1991).

Em média, os teores foliares de nutrientes nas plantas ficaram abaixo dos valores de corte utilizados (N< 35; P< 2,9; K< 20; Ca< 18; Mg< 5,3; S< 3,8 g kg⁻¹), exceto para o P. Neste caso, toda a área do pomar apresentou teores foliares considerados excessivos para a cultura de acordo com Terra (2003). Isso se deve a aplicação excessiva de fertilizantes fosfatados no solo, sem a utilização adequada da análise foliar para ajuste das recomendações de adubação.

Como não foi verificada evidente anisotropia no conjunto dos dados, foram assumidos semivariogramas unidirecionais (direção independente) para o restante das análises. O modelo do semivariograma e seus parâmetros



XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo

Solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas
31 julho à 05 agosto - Center Convention - Uberlândia/Minas Gerais

(efeito pepita, alcance e patamar) foram usados, conjuntamente com técnicas de interpolação de dados (krigagem), para obter os mapas de probabilidade, em que os valores originais das variáveis fossem menores ou maiores que os respectivos valores de corte preestabelecidos. Para o Mg, que apresentou semivariograma que não indicou a presença de estrutura espacial (efeito pepita), o método de interpolação usado para estimativa dos valores em locais não amostrados foi o inverso da distância ao quadrado.

Tabela 1. Parâmetros da estatística descritiva do teor foliar de nutrientes e da produtividade da videira cv. Sagraone, sob irrigação em Petrolina - PE.

Atributo	M	V	DP	CV	C _s	C _k	Valor D
N (g kg ⁻¹)	32,51	6,62	2,57	8	-0,02	-1,02	0,10
P (g kg ⁻¹)	7,21	1,47	1,21	17	-0,05	1,12	0,10
K (g kg ⁻¹)	15,67	45,9	6,77	43	0,15	-1,03	0,10
Ca (g kg ⁻¹)	14,17	9,69	3,11	22	0,95	1,24	0,12
Mg (g kg ⁻¹)	3,97	0,69	0,83	21	2,17	14,20	0,09
S (g kg ⁻¹)	1,48	0,40	0,63	42	1,47	2,04	0,18

M= média; V= variância; DP= Desvio-padrão; CV= coeficiente de variação (%); Valor D= estatística do teste de Kolmogorov-Smirnov a 5%, para ajuste à distribuição normal; valor crítico de K-S (p, 0,05 = 0,12067). C_s= coeficiente de simetria; C_k= coeficiente de curtose.

Observou-se que os modelos ajustados aos dados avaliados foram o exponencial e o esférico (Tabela 2). No entanto, segundo Robertson (1998), o modelo exponencial é similar ao esférico, pois ambos atingem o patamar gradualmente; todavia, difere do esférico na taxa por meio da qual o patamar é alcançado e pelo fato de que o modelo e o patamar nunca convergem. Como consequência, os valores dos alcances podem ser diferentes quando os dois modelos são comparados.

Tabela 2. Parâmetros da análise semivariográfica das variáveis indicadoras, quando se utilizaram os valores críticos: N< 35; P<2,9; K<20; Ca<18; Mg<5,3; S<3,8 g kg⁻¹.

Atributo	Modelo	Co	Co+C	Ao (m)	GD (%)	R ²
Efeito Pepita Puro – EPP						
P (g kg ⁻¹)						
N (g kg ⁻¹)	Exp	0,013	0,181	4,8	93	0,42
K (g kg ⁻¹)	Esf	0,025	0,228	13,5	89	0,81
Ca (g kg ⁻¹)	Esf	0,0004	0,099	10,8	99	0,46
Efeito Pepita Puro – EPP						
Mg (g kg ⁻¹)						
S (g kg ⁻¹)	Exp	0,002	0,011	213	81	0,83

C₀: efeito pepita; C₀ + C₁: patamar, A₀: alcance; GD: grau de dependência espacial; Exp.: modelo exponencial; Esf.: modelo esférico; Gaus.: modelo Gaussiano.

Com exceção do P e Mg, as demais variáveis apresentaram dependência espacial (Tabela 2), sendo que a avaliação a variância estruturada pelos valores da relação C/(Co+C) indicaram alta correlação espacial dos modelos de semivariogramas ajustados.

Em relação ao P, como todas as plantas apresentaram teores considerados acima do normal, em todas as amostras coletadas, não foi possível o ajuste de semivariograma e o mapeamento utilizando-se a krigagem indicatriz.

A Figura 1 apresenta os mapas de probabilidade da distribuição espacial das variáveis indicadoras utilizando-se como ponto de corte os teores referentes ao limite superior das faixas de concentração de nutrientes na folha completa da videira na fase de plena floração definidos por Terra (2003).

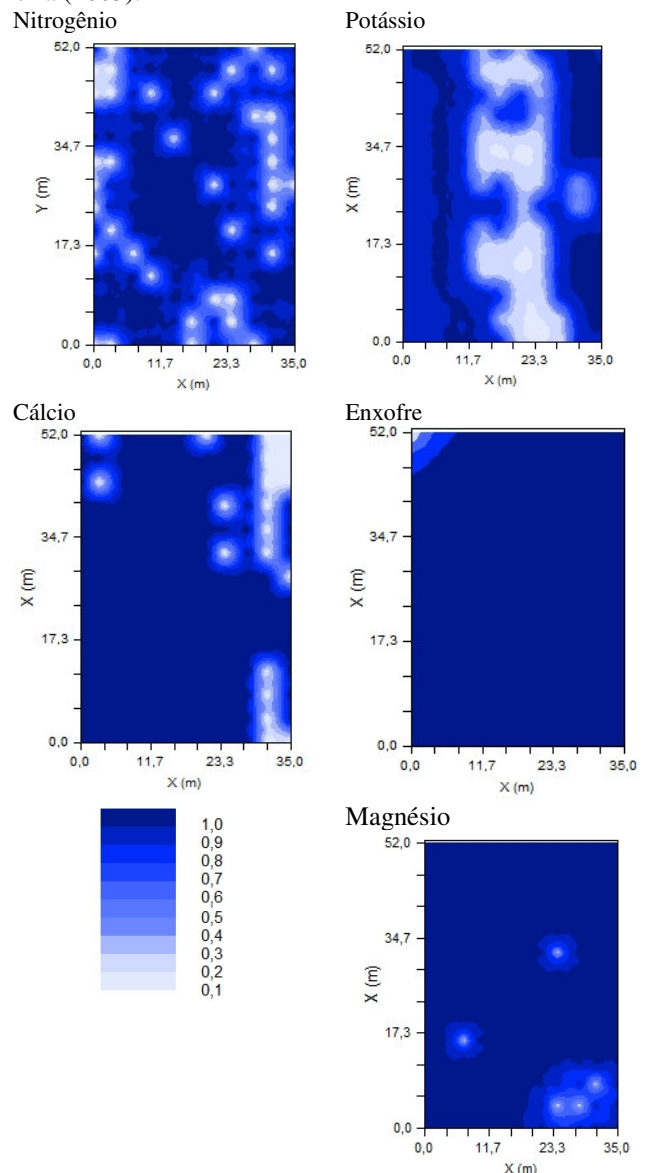


Figura 1. Mapas probabilísticos para teores foliares de N, K, Ca, Mg e S em videira cv. Sagraone apresentarem-se inferiores ou iguais ao valor crítico (N< 35; K<20; Ca<18; Mg<5,3; S<3,8 g kg⁻¹).



XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo

Solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas
31 julho à 05 agosto - Center Convention - Uberlândia/Minas Gerais

No mapa de N observa-se uma distribuição mais irregular das áreas de menor probabilidade de resposta à adubação que estão distribuídas nas extremidades da área do pomar. Todavia, observou-se nos mapas para os teores de Ca e de S uma grande área homogênea com alta probabilidade dos teores foliares destes nutrientes encontrarem-se abaixo dos níveis de corte utilizados, ou seja, menores que 18 e 3,8 mg kg⁻¹, respectivamente. Essa região exigirá nos próximos ciclos de cultivo uma maior atenção quanto à correção da deficiência das plantas, seja pela aplicação via solo ou foliar destes nutrientes.

O solo da área, um Neossolo Quartzarênico, apresenta textura arenosa e, conseqüentemente, baixa CTC. Por isso, apesar de apresentar baixos teores de Ca e Mg, os valores de saturação por bases (V) são elevados e o pH próximo da neutralidade. Essas características dificultam a recomendação e aplicação de calagem, de forma a atender a demanda das plantas por estes nutrientes. Como se trata de um solo arenoso, com baixos teores de matéria orgânica e considerando a alta mobilidade do S no solo, este nutriente pode mostrar-se deficiente ocasionalmente. Para suprir estas deficiências, no caso do S, deve-se dar preferência ao sulfato de potássio como fonte de K. Da mesma forma, o Ca pode ser fornecido pelo nitrato de cálcio na adubação nitrogenada.

CONCLUSÕES

1. O método da krigagem indicatriz pode ser utilizado como ferramenta para mapear a probabilidade de resposta à adubação com macronutrientes pela cultura da videira.

2. A área do pomar apresentou-se em grande parte com teores foliares excessivos de P e deficientes de S, Ca e Mg.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, o apoio financeiro, e a Fazenda Alpha Vale, pela disponibilização da área para realização do experimento.

REFERÊNCIAS

- BLACKMORE, B.S. **An information system for precision farming**. Silsoe. Inglaterra : The Centre for Precision Farming. Cranfield University, 1996. p.09.
- CAMBARDELLA, C. A.; MOOMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEM, D. L.; TURVO, R. F.; KONOPA, A. E. Field Scale variability of soil properties in Central Iowa soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 47, p. 1501-1511, 1994.
- CRESSIE, N. **Statistics for spatial data**. New York: John Wiley, 1991. 359p.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Solos/Embrapa Informática Agropecuária/Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 370 p., 1999.
- LANDIM, P. M. B.; STURARO, J. R. **Krigagem indicativa aplicada à elaboração de mapas probabilísticos de riscos**. Rio Claro: UNESP/Departamento de Geologia Aplicada, IGCE. 20 p., 2002. (Texto didático, 6).
- MELO, G. W. B. de. O perigo do excesso de adubação da videira. **Toda Fruta**. Disponível em: <<http://www.todafruta.com.br>>. Acesso em: 13 dez. 2006.
- MOTOMIYA, A. V. A.; CORÁ, J. E.; PEREIRA, G. T. Uso da krigagem indicativa na avaliação de indicadores de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 3, p.485-496, 2006.
- ROBERTSON, G.P. **GS+**: Geostatistics for environmental sciences: version 5.1 for windows. [S.l.]: Gamma Design Software, 152 p., 1998.
- TERRA, M. M. Nutrição, calagem e adubação. In: POMMER, C. V. (Ed.), **Uva: tecnologia de produção, pós-colheita, mercado**. Belo Horizonte: Cinco Continentes, 2003. p.405-475.
- TSCHIEDEL, M.; FERREIRA, M. F. introdução à agricultura de precisão: conceitos e vantagens. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.32, n.1, p.159-163, 2002.
- VIEIRA, S. R.; HATFIELD, T. L.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W.. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, v. 51, n. 03, p. 1-75, 1983.
- VERHAGEN, J.; BOUMA, J. Modeling soil variability. In: PIERCE, J.F. & SADLER, E.J., eds. **The state of site-specific management for agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, p.55-68, 1997.
- WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. **Spatial variability of some physical properties of the soil**. In: Hillel, D. (Ed.) Applications of soil physics, New York: Academic Press, 1980. p.319-344.
- WEBSTER, R. Quantitative spatial analysis of soil in the field. In: Stewart, B.A. (ed.) **Advances in Soil Science**, New York, v.3, p.1-70, 1985.