

Variabilidade espacial da fertilidade de solo em pomar de uva de mesa em Petrolina - PE

Alessandra Monteiro Salviano Mendes¹, Davi José Silva¹, Luís Henrique Bassoi²

¹DSc. em Solos e Nutrição de Plantas

² DSc. em Ciências

*E-mails: alessandra.mendes@embrapa.br, luis.bassoi@embrapa.br; davi.jose@embrapa.br

Resumo: O conhecimento da variabilidade dos atributos químicos do solo é uma importante etapa para a definição de zonas de manejo da fertilidade do solo, permitindo à aplicação de fertilizantes a taxa variável. O objetivo deste estudo foi caracterizar a variabilidade espacial de atributos químicos do solo em um pomar de videira de mesa cultivada sob irrigação, em Petrolina, PE. As amostras de solo foram coletadas em um grid de 3,5 × 4 m, totalizando 168 pontos de amostragem e uma área de 1820 m² (42 × 60 m). Determinaram-se os seguintes atributos: teores de P, K, Ca, Mg, e calcularam-se as relações Ca/Mg, K/Mg, Ca/Mg e (Ca+Mg)/K. Os dados foram analisados utilizando estatística descritiva, a fim de verificar os parâmetros de tendência central e dispersão. A variabilidade espacial foi determinada pelo cálculo do semivariograma, e a construção de mapas de contorno foi feita com valores obtidos na interpolação por krigagem ordinária. A dependência espacial dos teores de K, Ca e Mg no solo nas duas profundidades avaliadas foi caracterizada, sendo possível a construção de mapas com zonas homogêneas quanto à essas variáveis.

Palavras-chave: bases trocáveis, características químicas do solo, geoestatística.

Spatial variability of soil fertility in a table grape orchard, in Petrolina, Brazil

Abstract: The knowledge of the variability of soil chemical properties is an important step for the definition of management zones of soil fertility, allowing the application of variable rate fertilizer. The aim of this study was to characterize the spatial variability of soil chemical properties in a table grape orchard grown under irrigation in Petrolina, State of Pernambuco, Brazil. Soil samples were collected on a grid of 3.5 × 4 m, totaling 168 sampling points and an area of 1820 m² (42 × 60 m). The following attributes were determined: P, K, Ca, Mg, and the Ca/Mg, K/Mg, Ca/Mg and [(Ca + Mg)/K] ratios. Data were analyzed using descriptive statistics in order to verify the central tendency and dispersion of data. The spatial variability was determined by semivariograms, and contour maps were made with values obtained by ordinary kriging interpolation. The spatial dependence of K, Ca and Mg in two depths evaluated was observed, and then maps with homogeneous zones regarding these variables were constructed.

Keywords: exchangeable cations, soil chemical attribute, geostatistics

1. Introdução

A agricultura de precisão (AP) é uma plataforma tecnológica extremamente importante para garantir a competitividade e sustentabilidade do agronegócio brasileiro, permitindo uma exploração mais racional dos sistemas produtivos (CARVALHO FILHO, 2012). De acordo com Caon e Genú (2013) a AP utiliza, de forma mais eficiente, a quantidade de calcário e de fertilizantes do que a agricultura convencional. Para isso, utiliza-se do conceito de espacialização dos fatores de produção, sendo imprescindível o conhecimento da sua variabilidade.

Nos últimos anos, a geoestatística tornou-se uma importante ferramenta no auxílio do melhor entendimento da variabilidade espacial de diversos parâmetros de interesse nas ciências agrárias, permitindo a interpretação de dados baseados na estrutura de sua variabilidade natural, considerando a dependência espacial no espaço a ser estudado (BATISTA; ZIMBACK, 2010).

O conhecimento detalhado da variabilidade espacial dos atributos do solo apresenta-se como ferramenta vantajosa para aperfeiçoar o manejo em áreas agrícolas por meio do estabelecimento de zonas de manejo (CORÁ et al. 2004; NASCIMENTO et al., 2011, 2012) que possibilitam por exemplo, a aplicação de insumos com taxa variada (RAGAGNIN; SENA JUNIOR; SILVEIRA NETO, 2010; GUEDES FILHO, 2009; CAON; GENÚ, 2013). O uso dessas zonas de manejo, segundo Luchiari Júnior et al. (2012), é uma estratégia válida para aumentar a eficiência do uso dos recursos naturais e reduzir o impacto da agricultura no ambiente.

O solo naturalmente apresenta heterogeneidade, tanto vertical como horizontalmente em consequência das interações que ocorrem entre os fatores e processos envolvidos na sua formação.

Além disso, práticas culturais e de manejo do solo podem alterar atributos químicos do solo, com impacto principalmente nas suas camadas superficiais (NAJAFIAN et al., 2012), sendo causas adicionais de variabilidade (CORA, 1997). Umali et al. (2012) avaliaram o efeito do terreno e do manejo sobre a variabilidade espacial das propriedades do solo em um pomar de maçã e concluíram que as práticas de manejo em uma área intensamente utilizada impõe marcante variabilidade de curto alcance nas propriedades do solo.

Assim, o objetivo deste estudo foi caracterizar a variabilidade espacial da fertilidade do solo em um pomar de videira de mesa cultivada sob irrigação, em Petrolina, PE.

2. Material e Métodos

O experimento foi conduzido na Fazenda Alpha Vale, localizada em Petrolina-PE, em um parreiral de videira (*Vitis vinifera* L.), cv Sugaone, enxertada sobre o porta-enxerto SO4, com área de 7,31 ha, implantado em 2002, no espaçamento de 3,5 × 4 m, com duas plantas por cova, e irrigado por microaspersão. As coordenadas geográficas da área são de 9° 21' 07" de latitude Sul e 40° 27'05" de longitude Oeste, com altitude média de 380 metros. O solo da área foi classificado como Neossolo Quartzarênico (SANTOS et al., 2006).

Foram aplicados durante o ciclo de cultivo 135,9; 106,0; 268,0; 120; 50,8; 29,7; 0,5 e 4 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅, K₂O, S, Ca, Mg, B, Cu, Fe e Zn, respectivamente. As fontes utilizadas foram sulfato de amônio, nitratos de potássio e de cálcio, Amiorgan®, fosfatos monoamônico e monopotássico, cloretos de potássio e de cálcio, sulfatos de potássio e de magnésio, nitrato de ferro, sulfatos de zinco e de cobre e ácido bórico.

Na área de amostragem (42 × 60 m), composta por 12 fileiras, cada uma com 15 plantas, cada planta foi considerada um ponto amostral perfazendo 168 amostras, coletadas em um grid regular de 3,5 × 2 m. As amostras foram coletadas nas camadas de 0-0,20 e 0,20-0,40 m de profundidade.

As amostras de solo foram submetidas às análises químicas de rotina de acordo com os procedimentos descritos em Claessen (1997) para determinação dos seguintes atributos químicos: K, Ca e Mg trocáveis (cmol_c dm⁻³) e P disponível (mg dm⁻³). A partir dos resultados obtidos, calcularam-se as seguintes relações: Ca/Mg, Ca/K, Mg/K e (Ca+Mg)/K

Os dados foram, inicialmente, analisados por meio da estatística descritiva e a hipótese de normalidade dos dados foi avaliada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (KS) ao nível de 5 % de probabilidade, por meio do programa computacional STATISC 5.0. A dependência espacial das variáveis foi avaliada nos pressupostos de estacionaridade da hipótese intrínseca, conforme instruções de Vieira (2000), analisando-se os semivariogramas ajustados pelo

software GS+ - GAMMA DESIGN SOFTWARE (ROBERTSON, 1998), e estimados conforme a

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad \text{Eq. 1}$$

sendo: $\gamma(h)$ - valor da semivariância para uma distância h ; em que $N(h)$ é o número de pares de valores medidos $Z(x_i)$, $Z(x_i+h)$, separados por um vetor h ; $Z(x_i)$ - valor do atributo Z na posição x_i ; $Z(x_i+h)$ - valor do atributo Z separado por uma distância h da posição x_i .

A escolha dos modelos experimentais baseou-se no maior valor do coeficiente de determinação e no menor valor da raiz quadrada do erro médio, a partir dos quais foram definidos os parâmetros dos semivariogramas:

- efeito pepita (C_0), que é o valor de γ quando $h = 0$;
- alcance da dependência espacial (a), que é a distância em que $\gamma(h)$ permanece aproximadamente constante, após aumentar com o aumento de h ;
- patamar (C_0+C_1), que é o valor de $\gamma(h)$ a partir do alcance e que se aproxima da variância dos dados, se ela existe.

A dependência espacial de uma variável foi expressa utilizando-se o grau de dependência espacial (GD), calculado pela equação 2, e que mede a proporção da variância estruturada (C_1) em relação ao patamar ($C_0 + C_1$).

$$GD = C_1 / (C_0 + C_1) \times 100 \quad \text{Eq. 2}$$

O GD pode ser usado para classificar a dependência espacial em fraca ($GD < 25\%$), moderada ($25\% \leq GD < 75\%$) e forte ($GD \geq 75\%$) (ZIMBACK, 2001). Após a comprovação da autocorrelação espacial entre as amostras foram elaborados mapas de isolinhas utilizando-se a krigagem ordinária como técnica de interpolação e o software GS+ - GAMMA DESIGN SOFTWARE (ROBERTSON, 1998).

3. Resultados e Discussão

Pelos limites de coeficiente de variação (CV) propostos por Warrick e Nielsen (1980), os valores para a classificação de variáveis do solo ($CV < 12\%$), ($12\% < CV < 60\%$) e ($CV >$

60%), indicam variabilidade baixa, moderada e alta, respectivamente (Tabela 1). Nenhuma das variáveis avaliadas apresentou baixa variabilidade. Na camada de 0-0,20 m, todas as variáveis apresentaram variabilidade média, enquanto na camada de 0,20-0,40 m as variáveis Ca/K, Mg/K e (Ca+Mg)/K apresentaram elevada variabilidade.

Os resultados da análise descritiva (Tabela 1), indicaram ajuste à distribuição normal apenas para P, Ca/K e [(Ca+Mg)/K] na camada de 0-0,20 m de profundidade e P, Ca e Mg, na camada de 0,20-0,40 m. Todavia, essa não é uma exigência da geoestatística, mas é conveniente que a distribuição não apresente caudas muito longas, de forma a não comprometer as análises, pois a estimação por krigagem apresenta melhores resultados quando a normalidade dos dados é satisfeita.

Os teores de P no solo (Tabela 1) merecem destaque, apresentando médias de 689,42 e 451,40 mg kg⁻¹ nas camadas de 0-0,20 e 0,20-0,40 m, com valores máximos alcançando 1750,00 e 1027,00 mg kg⁻¹, respectivamente. Esses teores estão extremamente elevados e são resultados do manejo da adubação fosfatada, frequentemente empregada na região. Para esta mesma área, Mendes, Bassoi e Silva (2011) avaliando o uso do método da krigagem indicatriz como ferramenta para mapear a probabilidade de resposta à adubação, observaram que a área do pomar apresentou-se em grande parte com teores foliares excessivos de P. Além de prejuízos econômicos causados pelo excesso de fertilizantes utilizados, vale ressaltar também os riscos de se causar danos ambientais devido à movimentação de P no perfil do solo, considerando-se a sua textura extremamente arenosa e os baixos teores de MO. Costa (2009) estudando alterações na fertilidade do solo em pomares de videira na região de Petrolina-PE observou que o manejo adotado quanto às fertilizações fosfatadas provocou aumento elevado na concentração de P disponível no solo e relatou que os teores de P encontrados possibilitam a ocorrência de desequilíbrios nutricionais e de contaminação de aquíferos com o elemento.

O CV e o desvio padrão, de acordo com Souza (1999), dão ideia da magnitude de variabilidade de propriedades químicas e físicas dos solos, porém, nada informam quanto à dependência espacial

dessas propriedades, o que só é possível por meio de técnicas geoestatísticas.

A partir dos parâmetros das análises geoestatísticas (Tabela 2), observa-se que houve dependência espacial para a maioria das variáveis na camada de 0-0,20 m.

Quando não foi possível identificar a estrutura da variância, como no caso do teor de P disponível e da relação Ca/Mg (0-0,20 m), diz-se que os semivariogramas apresentaram efeito pepita puro (EPP) (Tabela 2). Assim, pode-se assumir que a distribuição é completamente ao acaso, há independência entre amostras e os métodos da estatística clássica podem ser aplicados, sendo a média aritmética um valor que representa bem o conjunto de dados. Provavelmente, nesses casos, a dependência espacial ocorre em uma distância menor do que à distância entre os pontos de amostragem utilizada (VIEIRA, 2000). Na camada de 0,20-0,40 m, as variáveis que apresentaram maior variabilidade dos dados avaliada pelo CV, também não apresentaram estrutura de dependência espacial.

As variáveis apresentaram ajuste aos modelos esférico, exponencial e gaussiano (Tabela 2).

Todavia, nos estudos sobre variabilidade espacial de características químicas do solo, é mais comum o ajuste dos dois primeiros modelos citados (SILVA et al., 2003; CORÁ et al., 2004; CARVALHO; VILAS BOAS; FADIGAS, 2010).

Os semivariogramas ajustados às variáveis na camada de 0-0,20 m, de acordo com Zimback (2001), revelaram forte dependência espacial (Tabela 2), exceto para o teor de Ca que apresentou dependência moderada. Na camada de 0,20-0,40 m, os teores de K e Mg apresentaram forte dependência espacial enquanto os teores de Ca e a relação Ca/Mg dependência moderada. O GD indica também se a malha de amostragem foi adequada ou se há necessidade de um adensamento dessa malha, ideal quando a dependência espacial é fraca, por exemplo.

As variáveis estudadas apresentaram diferentes valores de alcance, mas com pouca variação, exceto para o teor de Ca trocável e a relação Ca/Mg (Tabela 2), sendo estes superiores ao valor de espaçamento utilizado na malha de amostragem. Segundo Vieira (2000) isto indica que as amostras estão espacialmente relacionadas e assim, apresentam uma maior continuidade

Tabela 1. Estatística descritiva para as características químicas do solo em pomar de videira, Petrolina-PE.

Parâmetros estatísticos	P	K	Ca	Mg	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	(Ca+Mg)/K
0-0,20 m								
Mínimo	1,33	0,11	2,90	0,40	1,00	5,18	1,38	7,55
Máximo	1750,00	1,10	9,70	4,80	18,25	45,00	27,86	56,25
Média	689,42	0,28	5,11	1,92	2,93	21,24	7,85	29,09
Desvio padrão	309,00	0,13	1,14	0,67	1,46	8,34	3,78	10,88
Coefficiente de variação	45	47	22	35	50	39	48	37
Kolmogorov-Smirnov	0,07	0,14	0,12	0,17	0,18	0,06	0,14	0,09
0,20-0,40 m								
Mínimo	8,40	0,01	1,90	0,70	1,00	6,67	2,38	9,05
Máximo	1027,00	0,49	12,00	5,60	8,67	540,00	140,00	680,00
Média	451,40	0,22	5,17	1,70	3,25	28,87	9,16	38,03
Desvio padrão	194,35	0,08	1,81	0,65	1,28	41,57	11,00	51,97
Coefficiente de variação	43	38	35	38	39	144	120	137
Kolmogorov-Smirnov	0,07	0,12	0,10	0,11	0,17	0,31	0,31	0,31

Valores em negrito não se ajustam a distribuição normal pelo teste de K-S a 5% de probabilidade.

Tabela 2. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais de características químicas do solo em pomar irrigado de videira, em Petrolina, PE.

Variável	Modelo	Co ⁽¹⁾	Co+C ⁽²⁾	Ao ⁽³⁾	[C/(Co+C)] × 100 ⁽⁴⁾	R ²
0-0,20 m						
P	EPP ⁽⁵⁾					
K	Guassiano	0,002	0,02	3	88	0,46
Ca	Esférico	0,85	1,85	71	54	0,92
Mg	Guassiano	0,05	0,46	4	89	0,84
Ca/Mg	EPP ⁽⁵⁾					
Ca/K	Exponencial	5,90	69,76	3	92	0,59
Mg/K	Esférico	1,76	16,12	6	89	0,23
(Ca+Mg)/K	Exponencial	11,40	120,80	2	91	0,57
0,20-0,40 m						
P	EPP ⁽⁵⁾					
K	Esférico	0,0004	0,007	3	94	0,83
Ca	Exponencial	2,01	4,61	39	56	0,94
Mg	Gaussiano	0,05	0,44	3	88	0,62
Ca/Mg	Exponencial	0,67	2,51	25	73	0,97
Ca/K	EPP ⁽⁵⁾					
Mg/K	EPP ⁽⁵⁾					
(Ca+Mg)/K	EPP ⁽⁵⁾					

⁽¹⁾Efeito pepita, ⁽²⁾patamar, ⁽³⁾alcance, ⁽⁴⁾contribuição do efeito pepita, em percentagem, para a variância total dos dados, ⁽⁵⁾efeito pepita puro.

na distribuição espacial das propriedades do solo estudado, o que permite que se façam interpolações.

De um modo geral, os valores de alcance obtidos para os diferentes semivariogramas variaram de 2 a 71 metros, sendo o menor valor observado para a relação [(Ca+Mg)/K], e o maior para o teor de Ca, ambos na camada de 0-0,20 m. Esses valores de alcance correspondem aos raios das áreas consideradas homogêneas para cada variável estudada, por isso, ao se utilizar à estatística clássica, onde se faz necessária a total independência entre as amostras, essa deve ser a distância mínima utilizada para coleta entre estas. Além disso, segundo Carvalho, Vilas Boas e Fadigas (2010) o conhecimento do alcance tem efeito prático na intensidade de amostragem, pois variáveis com pequeno alcance e CV elevado

precisam de um número maior de amostras para representar adequadamente a média de uma área.

O teor de Ca do solo apresentou valor de alcance superior (71 m), na camada de 0-0,20 m, e muito próximo (39 m), na camada de 20-40 cm, das dimensões escolhidas para compor os lados do polígono onde foi realizada a amostragem sistemática (39 × 52 m). De acordo com Carvalho, Vilas Boas e Fadigas (2010), nesse caso, para otimização do resultado obtido seria necessário uma maior extensão espacial da amostragem, ou um redimensionamento da malha, para se estimar essa variável com maior confiabilidade.

Nos mapas de isolinhas (Figuras 1 e 2), as linhas fechadas e próximas caracterizam a área com maior variabilidade, enquanto a presença de linhas espaçadas é condição de uma menor variabilidade. O conhecimento dos valores de

alcance e as localizações das áreas onde estão concentrados os maiores e/ou menores valores de determinada variável química são importantes para o planejamento do manejo da fertilidade do solo, tanto na agricultura convencional como na agricultura de precisão, podendo-se assim definir zonas homogêneas de manejo.

A partir dos mapas de distribuição espacial dos teores de K no solo, em ambas as profundidades, observa-se que esse elemento variou entre baixo e muito elevado, sendo possível estabelecer quatro zonas de manejo ($<0,16$; $0,16-0,30$; $0,31-0,45$ e $>0,45$ $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$) que apresentam diferentes

recomendações de K_2O para a cultura da videira de acordo com Silva, Faria e Albuquerque (2010).

Os teores de Ca e Mg no solo, em toda a área do pomar, apresentam-se bem acima dos mínimos exigidos para a cultura da videira ($2,0$ e $0,8$ $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$, respectivamente) e normalmente encontrados em Neossolos Quartzarênicos, cuja CTC é baixa apresentando variações entre $0,8$ a $3,9$ $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ (CUNHA et al., 2010). Isso se deve, ao intenso manejo da área com aplicação de elevadas quantidades de matéria orgânica, fertilizantes químicos e o uso de gesso agrícola, prática comum na região, com intuito de aumentar a relação Ca/Mg do solo.

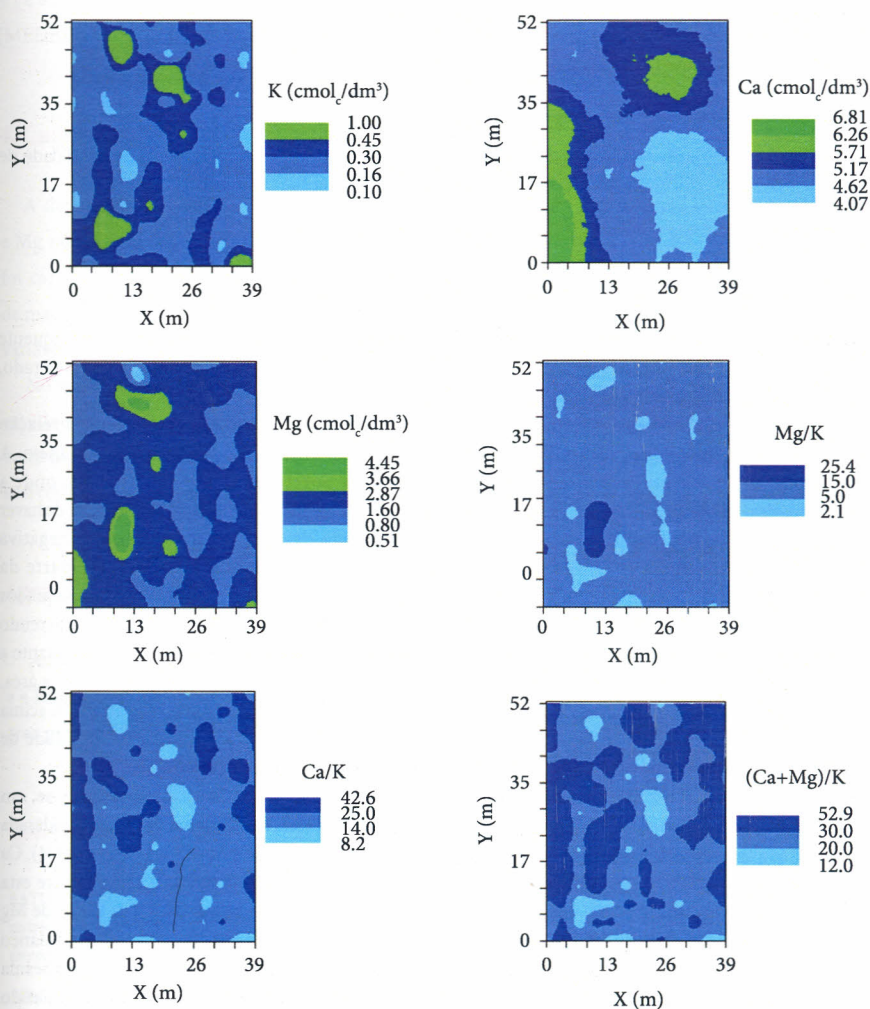


Figura 1. Mapas de distribuição espacial da fertilidade do solo em pomar de videira, na camada de 0-0,20 m do solo, Petrolina, PE.

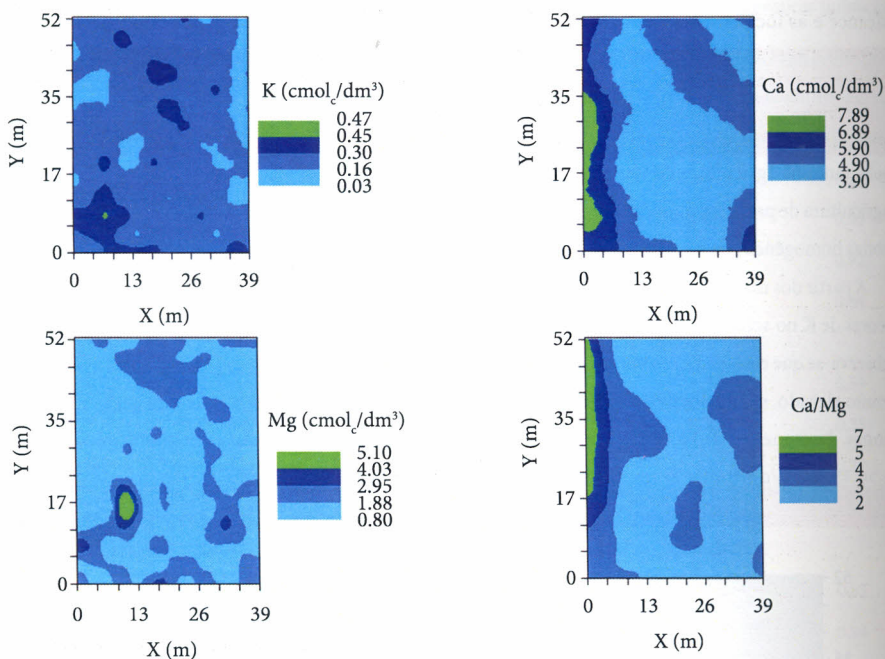


Figura 2. Mapas de distribuição espacial da fertilidade do solo em pomar de videira, na profundidade de 0,20-0,40 m do solo, Petrolina, PE.

Segundo Prado (2008), as interações que se estabelecem entre nutrientes são de natureza complexas e seus efeitos refletem na composição mineral das plantas, assim para o alcance da máxima produção das culturas o equilíbrio entre os nutrientes no sistema solo-planta passa a ser um dos fatores limitantes. Em consequência, a relação entre K, Ca e Mg, tem sido tomada como um parâmetro para analisar as respostas das culturas a adubação potássica (BÜLL; VILLAS BOAS; NAKAGAWA, 1998). A partir dos mapas de distribuição espacial, na camada de 0-20 cm, das relações Ca/K, Mg/K e (Ca+Mg)/K observa-se uma semelhança no padrão de distribuição do K e do Mg.

A relação Ca/K, na camada de 0-0,20 m de profundidade, variou de médio (7-14) a alto (> 25), sendo a faixa de 15-25 considerada adequada, segundo Souza e Lobato (2004). As áreas onde a relação Ca/K encontra-se acima da considerada adequada (> 25), coincide com as zonas de excesso de Ca ou baixos teores de K, mostrando o desbalanço entre esses cátions no solo do pomar. Nessas áreas poderá ocorrer deficiência de K, pois com o aumento gradativo na concentração do Ca, esse efeito diminui até o momento em que ocorre antagonismo entre esses

cátions a níveis mais altos de Ca e, consequente redução na absorção de K pelas plantas (Prado, 2008; Malavolta, 2006).

O mapa de distribuição espacial da relação Mg/K mostra três áreas distintas de manejo. A primeira apresenta pequena extensão, onde a relação varia de 2-5, e maior probabilidade de haver deficiência de Mg devido à interação negativa com K. A segunda abrange a maior parte da área e apresenta valores considerados adequados (5-15) (SOUZA; LOBATO, 2004), não ocorrendo interação negativa entre esses nutrientes quanto a absorção pelas plantas. Enquanto a terceira área, de menor extensão, apresenta relação Mg/K acima de 15 e apresentando grande probabilidade de ocorrência de deficiência de K.

Já a relação [(Ca+Mg)/K] apresenta-se, em grande parte da área, diferente da faixa considerada adequada (20-30) por Souza e Lobato (2004). Os coeficientes de correlação de Pearson entre esta relação no solo e os teores de K (-0,15*) e de Mg (-0,19*) foliar mostram que há um desbalanço entre estes nutrientes no solo. Para esta mesma área, Mendes, Bassoi e Silva (2011) avaliando o uso do método da krigagem indicatriz como ferramenta para mapear a probabilidade de resposta à adubação com macronutrientes pela

cultura da videira observaram que a área do pomar apresentou-se em grande parte com teores foliares deficientes de Ca, Mg e K.

A relação Ca/Mg, na camada de 0,20-0,40 m (Figura 2) apresenta-se a faixa considerada adequada por Souza & Lobato (2004) (1,5-7,0). Todavia, vale salientar que a relação ideal depende da cultura que se pretende conduzir. De acordo com Salvador, Carvalho & Lucchesi, (2011) desequilíbrios nos teores foliares de Ca, Mg, fósforo (P) e potássio (K) em soja, cultivada em Latossolo, foram provocadas por relações Ca:Mg acima de 3:1. Silva et al. (2012), também na cultura da soja, observaram que a relação Ca:Mg de 1:1 proporcionou a maior produção de matéria seca da parte aérea da soja. Por outro lado, a maioria dos trabalhos considera relações Ca:Mg entre 4:1 e 8:1 como as mais adequadas para as plantas (MEDEIROS et al., 2008).

4. Conclusão

A dependência espacial dos teores de K, Ca e Mg no solo nas duas profundidades avaliadas foi caracterizada, sendo possível a construção de mapas com zonas homogêneas quanto à essas variáveis.

No manejo da fertilidade do solo no pomar estudado deve ser considerado o desbalanço entre os teores de Ca, Mg e K no solo que podem acarretar prejuízos à produção.

Agradecimentos

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

Referências

BATISTA, I. F.; ZIMBACK, C. R. L. Análise espacial de nutrientes e produção de alface cultivada em ambiente protegido. *Irriga*, v. 15, p. 401-413, 2010.

BÜLL, L. T.; VILLAS BÔAS, R. L.; NAKAGAWA, J. Variações no balanço catiônico do solo induzidas pela adubação potássica e efeitos na cultura do alho vernalizado. *Scientia Agricola*, v. 55, n. 3, 1998.

CAON, D.; GENÚ, A. M. Mapeamento de atributos químicos em diferentes densidades amostrais e influência na adubação e calagem. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 17, n. 6, p. 629-639, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662013000600009>

CARVALHO, S. R. L.; VILAS BOAS, G. S.; FADIGAS, F. S. Variabilidade espacial de atributos físicos e químicos em solos originados nos sedimentos da Formação Barreiras. *Cadernos de Geociências*, v. 7, p. 63-79, 2010.

CLAESSEN, M. E. C. (Org.). *Manual de métodos de análise de solo*. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPQ, 1997. 212 p. (Documentos, 1).

CORÁ, J. E. *The potential for site-specific management of soil and yield variability induced by tillage*. 1997. 104 f. Tese (Doutorado)-Michigan State University, East Lansing, 1997.

CORÁ, J. E.; ARAUJO, A. V.; PEREIRA, G. T.; BERLALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 28, n. 6, p. 1013-1021, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832004000600010>

COSTA, W. P. L. B. *Alterações na fertilidade do solo e teores de metais pesados em solos cultivados com videira*. 2009. 72 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo)-Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2009.

CUNHA, T. J. F.; PETRERE, V. G.; SILVA, D. J.; MENDES, A. M. S.; MELO, R. F.; OLIVEIRA NETO, M. B.; SILVA, M. S. L.; ALVAREZ, I. A. Principais solos do semiárido tropical brasileiro: caracterização, potencialidades, limitações, fertilidade e manejo. In: SA, I. B.; SILVA, P. C. G. (Ed.). *Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação*. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. cap. 2, p. 50-87.

GUEDES FILHO, O. *Variabilidade espacial e temporal de mapas de colheita e atributos do solo em um sistema de semeadura direta*. 2009. 97 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Instituto Agronômico, Campinas, 2009.

LUCHIARI JUNIOR, A.; BORGHI, E.; AVANZI, J. C.; FREITAS, A. A. de; BORTOLON, L.; BORTOLON, E. S. O.; INAMASU, R. Y. Zonas de manejo: teoria e prática. In: INAMASU, R. Y.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; BERNARDI, A. C. (Ed.). *Agricultura de precisão: um novo olhar*. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2011. p. 60-64.

MALAVOLTA, E. *Manual de nutrição mineral de plantas*. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 631 p.

MEDEIROS, J. C.; ALBUQUERQUE, J. A.; MAFRA, A. L.; ROSA, J. D.; GATIBONI, L. C. Relação cálcio:magnésio do corretivo da acidez do solo na nutrição e no desenvolvimento inicial de plantas de milho em um Cambissolo Húmico Álico. *Semina*, v. 29, n. 4, p. 799-806, 2008.

MENDES, A. M. S.; BASSOI, L. H.; SILVA, D. J. Uso da krigagem indicatriz como ferramenta para manejo da adubação na viticultura irrigada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2011, Uberlândia. *Anais...* Uberlândia: SBCS: UFU: ICIAG, 2011. CD-ROM.

NAJAFIAN, A.; DAYANI, M.; MOTAGHIAN, H. R.; NADIAN, H. Geostatistical Assessment of the Spatial Distribution of Some Chemical Properties in Calcareous Soils. *Journal of Integrative Agriculture*, v. 11, n. 10, p. 1729-1737, 2012. [http://dx.doi.org/10.1016/S2095-3119\(12\)60177-4](http://dx.doi.org/10.1016/S2095-3119(12)60177-4)

- NASCIMENTO, P. S.; ROCHA, M. G.; SILVA, J. A.; COSTA, B. R. S.; RABELLO, L. M.; BASSOI, L. H. Zonas homogêneas de condutividade elétrica aparente em Neossolo Quartzarênico no Semiárido. 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. 290-293.
- NASCIMENTO, P. S.; SILVA, J. A.; COSTA, B. R. S.; BASSOI, L. H. Aplicação do conceito de zonas homogêneas para o manejo diferenciado da irrigação em pomar de videira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2012, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: SBEA: Funep, 2012. CD-ROM.
- PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**. São Paulo: Editora UNESP, 2008. 407 p.
- RAGAGNIN, V. A.; SENA JUNIOR, D. G.; SILVEIRA NETO, A. N. Recomendação de calagem a taxa variada sob diferentes intensidades de amostragem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 14, p. 600-607, 2010.
- ROBERTSON, G. P. **GS+**: geostatistics for environmental sciences: version 5.1 for windows. Gamma Design Software, 1998. 152 p.
- SALVADOR, J. T.; CARVALHO, T. C.; LUCCHESI, L. A. C. Relações cálcio e magnésio presentes no solo e teores foliares de macronutrientes. **Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 9, p. 27-32, 2011.
- SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; OLIVEIRA, J. B.; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. (Ed.). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.
- SILVA, D. J.; FARIA, C. M. B.; ALBUQUERQUE, T. C. S. Nutrição, calagem e adubação. In: LEÃO, P. C. S.; SOARES, J. M. **Cultivo da videira**. 2. ed. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. (Sistema de Produção, 1). Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Uva/CultivodaVideira_2ed/nutricao.html>. Acesso em: 27 jun. 2013.
- SILVA, G. R.; SENA, W. L.; MATOS, G. S. B.; FERNANDES, A. R.; GAMA, M. A. P. Crescimento e estado nutricional da soja influenciados pela relação Ca:Mg em solo do cerrado paraense. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 55, n. 1, p. 52-57, 2012.
- SILVA, V. R.; REICHERT, J. M.; STORCK, L.; FEIJÓ, S. Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 6, p. 1013-1020, 2003. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832003000600005>
- SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília: Embrapa Cerrados, 2004. 416 p.
- SOUZA, L. C. **Variabilidade espacial da salinidade de um solo aluvial no semi-árido paraibano**. 1999. 77 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 1999.
- UMALI, B. P.; OLIVER, D. P.; FORRESTER, S.; CHITTLEBOROUGH, D. J.; HUTSON, J. L.; KOOKANA, R. S.; OSTENDORF, B. The effect of terrain and management on the spatial variability of soil properties in an apple orchard. **Catena**, v. 93, p. 38-48, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2012.01.010>
- VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Ed.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira da Ciência do Solo, 2000. p. 1-54.
- 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.
- ZIMBACK, C. R. L. **Análise especial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade**. 2001. 114 f. Tese (Livro Docência)-Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.