

Variabilidade espacial dos teores foliares de nutrientes e produtividade da videira em ambiente semiárido

Alessandra Monteiro Salviano Mendes*¹, Davi José Silva*¹, Luis Henrique Bassoi*²

¹Dsc. em Solos e Nutrição de Plantas, Embrapa Semiárido

²Dsc. em Ciência, Embrapa Semiárido

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

Resumo: O conhecimento da variabilidade da nutrição de plantas e da produtividade em áreas cultivadas pode fornecer importantes subsídios na racionalização do uso de insumos e auxiliar no manejo da fertilidade do solo. O objetivo deste estudo foi caracterizar a variabilidade espacial dos teores foliares de nutrientes e da produtividade da videira de mesa cultivada sob irrigação em um Neossolo Quartzarênico, em Petrolina, PE. As amostras de folhas e os dados de produtividade foram coletados em 2006 em um grid de 3,5 × 4 m, totalizando 144 pontos de amostragem e uma área de 1820 m² (35 × 52 m). Os teores de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn foram determinados analisando-se a folha completa (folha + pecíolo) oposta ao cacho, em planta referente a um dos pontos de amostragem. A produtividade foi estimada pelo produto do número de cachos e o peso médio de cachos. Esse último parâmetro foi estimado em uma área de 14 m² no grid. 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. Houve dependência espacial para os teores foliares de P, K, Ca, Mg, S, Cu, Zn, Fe, Mn e B e para a produção de cachos por planta.

Palavras-chave: manejo sítio-específico, geoestatística, uva de mesa.

Spatial variability of leaf nutrient content and yield of vine in semi-arid region

Abstract: The knowledge of the plant nutrition and yield variability in cultivated areas may provide important insights for the rational use of supplies and assist in the soil fertility management. The objective of this study was to characterize the spatial variability of the foliar nutrient concentration and yield of the irrigated vine in a Typic Quartzipisamment in Petrolina, Pernambuco State, Brazil. In 2006, leaves in an opposite position to the cluster (leaf blades and petioles) were collected at full bloom, on grid 4 × 3.5 m, totaling 144 sampling points, in a 1820 m² (35 × 52 m), and nutrient concentrations (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn and Zn) were determined in laboratory. Yield was determined by the product of cluster number per plant and average cluster weight. This last parameter was measured in an area of 14 m² inside the grid. Data were analyzed by descriptive statistics in order to verify the parameters of central tendency and dispersion. The spatial variability was determined by calculating the semivariogram and construction of contour maps with values obtained through interpolation by ordinary kriging. There was spatial dependence for the leaf contents of P, K, Ca, Mg, S, Cu, Zn, Fe, Mn and B, and for the plant production.

Keywords: site-specific management, geostatistics, table grape.



1. Introdução

Uma das vantagens da agricultura de precisão (AP) é o uso mais eficiente dos insumos agrícolas com objetivo de alavancar a produção de alimentos, proporcionando ao produtor, vários benefícios econômicos e ambientais. Segundo Ragagnin et al. (2010), entre as expectativas a serem atendidas com o uso da AP podem-se citar a redução de gastos com possíveis superdosagens, que podem trazer danos à cultura e ao meio ambiente, redução de perdas por subdosagens, que limitam a produção a quantidades menores que o potencial da cultura, além da exploração mais intensa de porções do terreno com maior capacidade de produção.

Considerando os altos custos de produção nas áreas de produção de uvas no Vale do Submédio São Francisco e a crise financeira enfrentada pelos fruticultores em 2008 e 2009 (SILVA, 2009; VITAL et al., 2011), a racionalização dos insumos agrícolas, bem como a redução dos custos de produção são fatores que servem de estímulo ao uso da AP na região. No entanto, para que este objetivo seja alcançado, é necessário conhecer-se a variabilidade espacial do solo da propriedade, para que seja possível realizar um manejo mais eficiente da sua fertilidade.

Aliado a isso, a AP também é uma opção de manejo que pode ser utilizada para minimizar os efeitos da variabilidade espacial de atributos do solo e, conseqüentemente, do estado nutricional das plantas na produtividade das culturas.

Segundo Montezano, Corazza e Muraoka (2008) o conhecimento da variabilidade da nutrição de plantas e da produtividade em áreas cultivadas pode fornecer importantes subsídios na racionalização do uso de insumos e auxiliar no manejo da fertilidade do solo, tornando-se fundamental no diagnóstico de possíveis carências ou excessos de nutrientes na cultura, seja em locais específicos, seja em área total. De acordo com os mesmos autores, este tipo de diagnóstico permite uma avaliação da resposta da cultura às fertilizações realizadas e ao histórico de manejo da área avaliada, além de esclarecer possíveis problemas ocasionados por diferentes fatores que influenciam na produtividade.

Para isso, a utilização da geoestatística, ferramenta essencial na análise de dados espacial

e temporalmente correlacionados (SOUZA et al., 2007; CAVALCANTE et al., 2007; LEMOS FILHO, 2010), pode auxiliar na identificação de padrões espaciais de distribuição de nutrientes (MONTEZANO; CORAZZA; MURAOKA, 2008; VIEIRA et al., 2010) e fornecer informações importantes quanto ao planejamento e manejo das áreas cultivadas (SOUZA; VIEIRA; COGO, 1997; BERNARDI et al., 2002; RESENDE et al., 2005).

O objetivo deste estudo foi caracterizar a variabilidade espacial dos teores foliares de nutrientes e da produtividade da cultura da videira de mesa cultivada sob irrigação em um Neossolo Quartzarênico, 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 Sugraone, 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 (EMBRAPA, 2006). Nos meses de julho a outubro de 2006, foram observados pela estação agrometeorológica automática da Embrapa Semiárido, em Petrolina - PE (localizada a 30 km da fazenda), respectivamente, valores médios mensais de 18,4, 18,5, 20,0 e 22,2° C para temperatura mínima do ar; 23,4, 24,6, 26,3 e 27,8°C para temperatura média do ar; 29,4, 31,3, 33,1 e 34,4°C para temperatura máxima do ar; 41,1, 31,8, 28,9 e 30,8 % para umidade relativa mínima; 66,9, 59,4, 55,4 e 54,4 % para umidade relativa média, 91,2, 88,0, 84,3 e 79,9 % para umidade relativa máxima; e valores totais de 461,5, 582,4, 624,9 e 621,8 MJ para radiação global; 13,7, 11,4, 23,1 e 2,5 mm para precipitação pluvial; e 122,7, 160,9, 177,8 e 184,2 mm de evapotranspiração de referência.

Foram aplicados durante o ciclo de cultivo 135,9; 106,0; 268,0; 120; 50,8; 29,7; 0,5 e 4 kg/ha 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 (35 × 52 m), composta por 11 fileiras, cada uma com 14 plantas, cada planta foi considerada um ponto amostral perfazendo 144 amostras, coletadas em um grid regular de 3,5 × 4 m. No mês de agosto de 2006, época de florescimento da cultura, foram retiradas 12 folhas inteiras (limbo + pecíolo) opostas a inflorescência (Terra et al., 2003) para compor a amostra, sendo 4 folhas em cada um dos quadrantes da cobertura foliar (14 m²).

Após a coleta, as folhas foram levadas ao laboratório, lavadas e colocadas em estufa de circulação forçada para secagem a 65°C por 72 h e em seguida foram moídas. Para as determinações dos teores de macro e micronutrientes, a exceção do N e do B, o material vegetal foi submetido à digestão nítrico-perclórica. Nesse extrato, a concentração de P foi determinada por espectrofotometria do metavanadato + molibdato; a de K, por fotometria de emissão de chama, as de Cu, Zn, Fe, Mn, 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. O extrato vegetal para determinação da concentração de B foi obtido pela dissolução das cinzas provenientes da incineração do material seco, com posterior determinação pelo método espectrofotométrico da azometina-H. Todas as análises foram realizadas conforme metodologia descrita em Embrapa (1999).

A produtividade da área foi estimada pelo produto entre o número de cachos em cada planta pelo peso médio de cachos por planta. Esse último parâmetro foi obtido em 14 m², onde todos os cachos foram pesados e contados para a obtenção de um valor médio de cacho.

Os dados foram, inicialmente, analisados por meio da estatística descritiva, utilizando-se os parâmetros média, variância, coeficiente de variação (CV), assimetria e curtose, com objetivo de verificar a existência de tendência central. A hipótese de normalidade dos dados foi avaliada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov a 5 %, por meio do programa computacional STATISC 5.0. A dependência espacial dos teores foliares de nutrientes e da produtividade 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 equação 1:

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

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 .

O cálculo da equação 1 gera valores de $\gamma(h)$ correspondentes a distâncias h . Espera-se que medições realizadas em locais próximos sejam mais parecidas entre si do que aquelas separadas por grandes distâncias (VIEIRA, 2000). Dessa forma, a $\gamma(h)$ aumenta com a distância até um valor máximo, a partir do qual se estabiliza em um patamar correspondente à distância-limite de dependência espacial, que é o alcance. Os ajustes dos modelos experimentais ao semivariograma basearam-se no maior valor do coeficiente de determinação e no menor valor da raiz quadrada do erro médio.

Do ajuste de um modelo matemático aos dados, foram definidos os parâmetros do semivariograma:

- a) efeito pepita (C_0), que é o valor de γ quando $h = 0$;
- b) alcance da dependência espacial (a), que é a distância em que $\gamma(h)$ permanece aproximadamente constante, após aumentar com o aumento de h ;
- c) 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, para os teores foliares de nutrientes e produtividade, utilizando-se a krigagem ordinária como técnica de interpolação e o software SURFER 7.0 (GOLDEN..., 1999).

3. Resultados e Discussão

Os teores de N e B foram classificados como de baixa variabilidade e todos os demais nutrientes como de média variabilidade (Quadro 1), de acordo com o critério de classificação do coeficiente de variação (CV) proposto por Warrick e Nielsen (1980), que ordena como baixa ($CV < 12\%$), média ($12 < CV < 62\%$) e alta ($CV > 62\%$) variabilidade. A classificação do grau de variabilidade dos dados encontrados nesse trabalho foram semelhantes aos obtidos por Vieira et al. (2010), Bernardi et al. (2002) e Montezano, Corazza e Muraoka (2008); no entanto os valores de CV foram mais elevados quando comparados aos resultados encontrados pelos referidos pesquisadores. Segundo Vieira et al. (2010) isso indica que os teores nutrientes no tecido vegetal mantêm-se dentro de uma determinada faixa de variação para a mesma espécie.

A maioria das variáveis estudadas apresentou ajuste do tipo normal, de acordo com o teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S), exceto os teores de S e Mn e a produtividade. Todavia, os valores da média e mediana destes são próximos (Quadro 1), o que indica que os dados não apresentam assimetria acentuada. Segundo Folegatti (1996), para o ajuste de semivariogramas a normalidade dos dados não é necessária, apenas desejável, e de acordo com Vieira e Lombardi Neto (1995) os cálculos utilizados em geoestatística não requerem o conhecimento da distribuição de frequência da variável analisada. Além disso, Isaaks e Isrivastava (1989) afirmam que a krigagem ordinária pode ser considerada uma estimativa baseada em médias móveis ponderadas, com pesos calculados a partir de semivariogramas, caso a distribuição não seja normal, mas razoavelmente simétrica. Assim, podem-se admitir as hipóteses necessárias à construção do semivariograma.

Os teores médios ($n = 144$) dos micronutrientes encontram-se acima das faixas de referência,

tidos como adequados para o crescimento e desenvolvimento da cultura segundo Bataglia e Santos (2001). No caso do teor de Cu, isso se deve, principalmente, a um dos principais fungicidas utilizados na região para a cultura da videira, a calda bordalesa, aplicado, geralmente, várias vezes durante o ciclo de cultivo. Além da calda bordalesa, são aplicados também vários outros fungicidas cúpricos, além de adubos foliares que contém este micronutriente em sua composição. O excesso desse elemento no tecido foliar pode reduzir a produtividade, pois estudos comprovam a sua fitotoxidez na videira (BRUNETTO et al., 2007), mostrando como ele afeta a integridade das membranas celulares e subcelulares, e reduz a taxa fotossintética devido ao colapso dos cloroplastos (BRUNETTO et al., 2007; PANOU-FILOTHEOU; BOSABALIDIS; KARATAGLIS, 2001; SANTOS et al., 2004; URIBE; STARK, 1982).

A contaminação dos solos de vinhedos por micronutrientes, e especialmente por Cu, é extremamente preocupante (MIHALJEVIC et al., 2006), devido as maciças aplicações de defensivos agrícolas na busca do controle das doenças que afetam essa cultura. Estudos promovidos para averiguação do grau de contaminação por metais pesados dos solos de vinhedos do Vale do Submédio São Francisco, realizados por Costa (2009), verificaram que os teores de Cu e Zn, na maioria das áreas cultivadas, apresentaram aumento com os anos de cultivo, sendo o fato atribuído à influência antrópica.

Entre os macronutrientes, apenas o P apresentou-se em excesso com teor médio 2,5 vezes maior que o valor de referência proposto por Bataglia e Santos (2001). O excesso de P em tecido foliar de videira também foi observado por Faria, Silva e Pereira (2004) na maioria dos pomares avaliados em estudo realizado com objetivo de analisar o estado nutricional da videira cultivada no Vale do Submédio São Francisco. Isso se deve, provavelmente, a grande quantidade de fertilizantes químicos e orgânicos fontes deste nutriente que são utilizados tanto na adubação de plantio quanto via fertirrigação nos parreirais.

Costa (2009) estudando as alterações na fertilidade dos solos cultivados com videira no Vale do Submédio São Francisco observou que o manejo adotado na região quanto às fertilizações

fosfatadas provocou um aumento elevado na concentração de P disponível no solo, com valores até 178 vezes superiores aos teores observados nos solos das respectivas áreas de referência (sob Caatinga). O mesmo autor afirma que os teores de P encontrados possibilitam a ocorrência de desequilíbrios nutricionais e de contaminação de aquíferos com o elemento, devido aos elevados teores observados em camadas mais profundas do solo, demonstrando mobilidade desse nutriente no perfil.

Os teores médios de N, K e Ca apresentam-se dentro da faixa de referência, enquanto os de Mg e S apresentam-se abaixo da faixa de referência, sendo considerados, portanto, como insuficientes para o crescimento da cultura. Isso, provavelmente, se deve ao fato de não existirem doses recomendadas desses elementos definidas para a maioria das culturas.

No entanto, o fornecimento do S é realizado, normalmente, como elemento acompanhante nas adubações fosfatadas e nitrogenadas, além de estar presente em produtos para controle fitossanitário. Por isso não é comum a observação de problemas de deficiências nutricionais deste nutriente na cultura da videira no Vale do Submédio São Francisco. Quando esse fornecimento é reduzido, sua deficiência pode ocorrer devido à baixa fertilidade do solo associada à pequena quantidade de matéria orgânica, características comuns dos solos na região. Para a maioria dos solos, mais de 90% do S disponível, de acordo com Solomons et al. (2005), está na forma orgânica, sendo esta importante reserva deste nutriente no solo. Em áreas com produtividades elevadas, por causa da grande quantidade de nutrientes exportadas pelos frutos, essa deficiência pode tornar-se mais severa.

Normalmente o Mg é fornecido junto com o Ca na calagem, como $MgSO_4$ em aplicação no solo e também foliar, e ainda, em menor proporção, como MgO aplicado no solo. São comuns os sintomas de deficiência de Mg devido ao excesso de adubação com K, podendo ocorrer em casos mais extremos um desequilíbrio nutricional conhecido como dissecamento da ráquis (SILVA; LEÃO, 2005).

Somente o teor foliar de N não apresentou estrutura de dependência espacial, caracterizando o que se denomina “efeito pepita puro” (EPP)

ou variação aleatória. Vieira et al. (2010) e Oliveira et al. (2010) também não observaram dependência espacial para os teores foliares de N em soja e café, respectivamente.

Com exceção do Mn, todas as variáveis apresentaram estrutura de dependência espacial expressas por semivariogramas dos modelos esférico ou exponencial (Quadro 2). Outros pesquisadores estudando variabilidade espacial de teores foliares de nutrientes em citros (LEÃO et al., 2010; SOUZA; VIEIRA; COGO, 1997), soja (VIEIRA et al., 2010; BERNARDI et al., 2002) e café (OLIVEIRA et al. 2010) também observaram ajustes de semivariogramas a esses modelos, indicando que esses se adequam à explicação do comportamento espacial de atributos de plantas.

Vieira et al. (2010) avaliando a variabilidade espacial dos teores de foliares de nutrientes na cultura da soja destacaram que, nas condições estudadas, há indicativo que existe, para a maioria dos nutrientes, uma estrutura de variabilidade dependente da localização espacial mesmo para uma área cuja adubação é manejada da mesma forma, e utilizando-se as mesmas fontes de nutrientes. Os autores ressaltaram que isso indica que outros fatores estão interagindo, entre eles a variabilidade das características do solo, condicionando uma absorção diferenciada dentro da área experimental. Os resultados dessa pesquisa também permitem essa inferência. Nesse caso, segundo os mesmos pesquisadores, a utilização da média aritmética não representa adequadamente o estado nutricional da cultura. Assim, para o monitoramento do estado nutricional do pomar, a utilização dos procedimentos amostrais para coleta de tecido vegetal, baseados na estatística clássica, produziriam resultados que não o representariam adequadamente. Pois esta, utiliza os parâmetros média e desvio padrão para representar uma população e se baseia na hipótese principal de que as variações de um local para outro são aleatórias, ou seja, não leva em consideração a variabilidade espacial das características a serem estudadas.

A análise do grau de dependência espacial permitiu classificar os teores foliares da maioria dos nutrientes como apresentando GD forte ou moderado (Quadro 2). Resultados semelhantes foram observados para os teores foliares de nutrientes nas culturas da soja (VIEIRA et al., 2010),

citros (LEÃO et al., 2010) e café (OLIVEIRA et al., 2010).

O menor valor de alcance da dependência espacial foi de 2,63 m para o P e o maior de

61,71 m para o teor de Ca (Quadro 2). Esse é um parâmetro importante para a interpretação dos semivariogramas porque indica a distância limite na escolha do tipo de estatística a ser aplicada.

Quadro 1. Estatística descritiva do teor foliar de nutrientes e da produtividade da videira

Atributo	Média	Mediana	DP	CV	C _s	C _k	Valor D
N (g kg ⁻¹)	32,50	32,48	2,57	8,00	-0,02	-1,02	0,10
P (g kg ⁻¹)	7,21	6,99	1,21	17,00	-0,05	1,12	0,10
K (g kg ⁻¹)	15,67	15,00	6,77	43,00	0,15	-1,03	0,10
Ca (g kg ⁻¹)	14,17	13,77	3,11	22,00	0,95	1,24	0,12
Mg (g kg ⁻¹)	3,97	3,95	0,83	21,00	2,17	14,20	0,09
S (g kg ⁻¹)	1,48	1,29	0,63	42,00	1,47	2,04	0,18
B (mg kg ⁻¹)	66,61	65,62	8,34	12,00	-0,40	2,77	0,06
Cu (mg kg ⁻¹)	85,29	79,50	32,31	38,00	0,65	0,13	0,10
Fe (mg kg ⁻¹)	177	170	68,36	39,00	0,92	0,64	0,10
Mn (mg kg ⁻¹)	161,6	149,50	51	31,00	1,53	3,98	0,16
Zn (mg kg ⁻¹)	26,4	27,0	13,6	51,00	1,19	4,14	0,10
Produtividade (kg planta ⁻¹)	11,2	9,44	7,2	64,30	3,30	17,37	0,15

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.

Quadro 2. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais dos teores de nutrientes (g kg⁻¹) no tecido foliar na época do florescimento e da produtividade (kg ha⁻¹) da videira cv. Sugaone irrigada, em Petrolina, PE.

Variável	Modelo	Co	Co+C	Ao (m)	GD (%)	R ²
N (g kg ⁻¹)	EPP					
P (g kg ⁻¹)	Exponencial	0,052	1,37	2,63	96	0,78
K (g kg ⁻¹)	Esférico	0,30	51,48	15,29	99	0,97
Ca (g kg ⁻¹)	Esférico	4,91	12,70	61,71	61	0,97
Mg (g kg ⁻¹)	Esférico	0,001	0,65	6,14	100	0,85
S (g kg ⁻¹)	Exponencial	0,024	0,44	12,99	95	0,96
B (mg kg ⁻¹)	Exponencial	0,0245	0,243	4,77	90	0,81
Cu (mg kg ⁻¹)	Exponencial	38,00	980,00	3,10	96	0,91
Fe (mg kg ⁻¹)	Esférico	0,0001	0,2382	7,36	100	0,94
Mn (mg kg ⁻¹)	Gaussiano	1040	5190	60,00	80	0,95
Zn (mg kg ⁻¹)	Esférico	65	211,7	23,58	69	0,93
Produtividade (kg planta ⁻¹)	Esférico	0,022	0,394	1,53	94	0,49

C₀: efeito pepita; C₀ + C₁: patamar, A₀: alcance; GD: grau de dependência espacial; EPP: efeito pepita puro.

Para as distâncias menores que o alcance, as variáveis são dependentes espacialmente podendo utilizar-se técnicas geoestatísticas para tratamento dos dados. Já a distâncias maiores que o alcance, há independência entre as variáveis, podendo ser aplicada a estatística clássica (SILVA, 1988). O alcance também é utilizado para definir o raio de ação (“range”) máximo de interpolação por krigagem, onde os pesos utilizados na ponderação podem afetar os valores estimados (SOUZA, 1992). Assim, no período de coleta de amostras de tecido foliar para monitoramento do estado nutricional das plantas, as mesmas devem ser coletadas com, no mínimo 62 m de distância entre elas para que a média aritmética represente a população. Os valores de alcance maiores que 2,63 m (Quadro 2) encontrados mostram que o grid de amostragem utilizado foi suficiente para expressar a variabilidade espacial de teores foliares de nutrientes e da produtividade da videira.

O mesmo padrão de dependência espacial foi observado com o modelo exponencial, com valores de alcance próximos para P (2,63 m), Cu (3,10 m) e B (4,77 m) indicando uma associação espacial entre eles. Resultados semelhantes foram observados por Oliveira et al. (2010) para os teores de K e B.

Nas Figuras 1, 2 e 3 são apresentados os mapas interpolados por krigagem referentes ao teor de nutrientes e produtividade do pomar de videira. No mapa para o teor foliar de P pode-se observar que toda a área do pomar apresentou valores considerados excessivos para a cultura (BATAGLIA; SANTOS, 2001). Mesmo assim é possível identificar duas manchas distintas, uma com valores entre 3 e 5 g kg⁻¹ e a outra, de maior extensão, com valores que variam de 5 a 10 g kg⁻¹. Isso se deve ao manejo da adubação no pomar, cuja aplicação de nutrientes é realizada de forma localizada, por meio da fertirrigação. Além disso, indica a disponibilidade diferencial do P no solo, sendo este, um dos elementos do solo que apresenta maior variabilidade espacial (CAVALCANTE et al., 2007; MARQUES JUNIOR et al., 2008), devido a baixa solubilidade de seus compostos e, conseqüentemente, sua baixa mobilidade no solo. Fica evidente também a aplicação excessiva deste nutriente no pomar. Essa prática é comum na região e também foi observada

por Costa (2009) e Faria, Silva e Pereira (2004) e Faria, Silva e Silva (2007).

Para os teores foliares de K também se observa manchas distintas que dividem a área do pomar em faixas que apresentam deficiência, valores excessivos e valores suficientes para o desenvolvimento da cultura (BATAGLIA; SANTOS, 2001). Todavia, a área que apresenta problema nutricional, seja por excesso ou por deficiência, é predominante no pomar.

Os teores foliares de Ca apresentaram distribuição espacial irregular, porém com predomínio de valores de 13 a 18 g kg⁻¹ considerados adequados para a cultura (BATAGLIA; SANTOS, 2001). No caso dos teores de Mg e S, a distribuição espacial foi mais regular e, em praticamente toda a área do pomar, as plantas apresentaram teores foliares insuficientes para o desenvolvimento da cultura (BATAGLIA; SANTOS, 2001).

Para os micronutrientes, os mapas de distribuição espacial permitiram observar que a maioria deles apresentou teores excessivos em toda ou em grande parte da área do pomar. Isso é reflexo da filosofia de prevenção utilizada na região para prescrição destes elementos na cultura. Geralmente, não se leva em consideração os resultados de análises foliares e de solo. Além disso, não há níveis críticos no solo definidos para esses elementos na região, e, muitas vezes, são utilizadas tabelas de recomendação produzidas em outras condições edafoclimáticas, o que dificulta o manejo da adubação. Não são levadas em consideração também as quantidades de micronutrientes adicionadas ao solo por meio dos fertilizantes orgânicos e minerais, principalmente nos adubos fosfatados e das aplicações de produtos fitossanitários e corretivos, como o calcário e o gesso agrícola.

Da mesma forma, grande parte da área do pomar apresentou teores excessivos de Zn. O uso de insumos e agroquímicos, que além do Cu possuem o Zn em sua composição, pode levar a contaminação do solo pelos dois elementos (PAOLETTI et al., 1998; RAMOS; LOPEZ-ACEVEDO, 2004; GAW et al., 2006; RAMOS, 2006) e, conseqüentemente, sua transferência para as plantas, principalmente em solos arenosos e com baixo teor de matéria orgânica, características comumente encontradas nos solos dessa região do Semiárido Brasileiro.

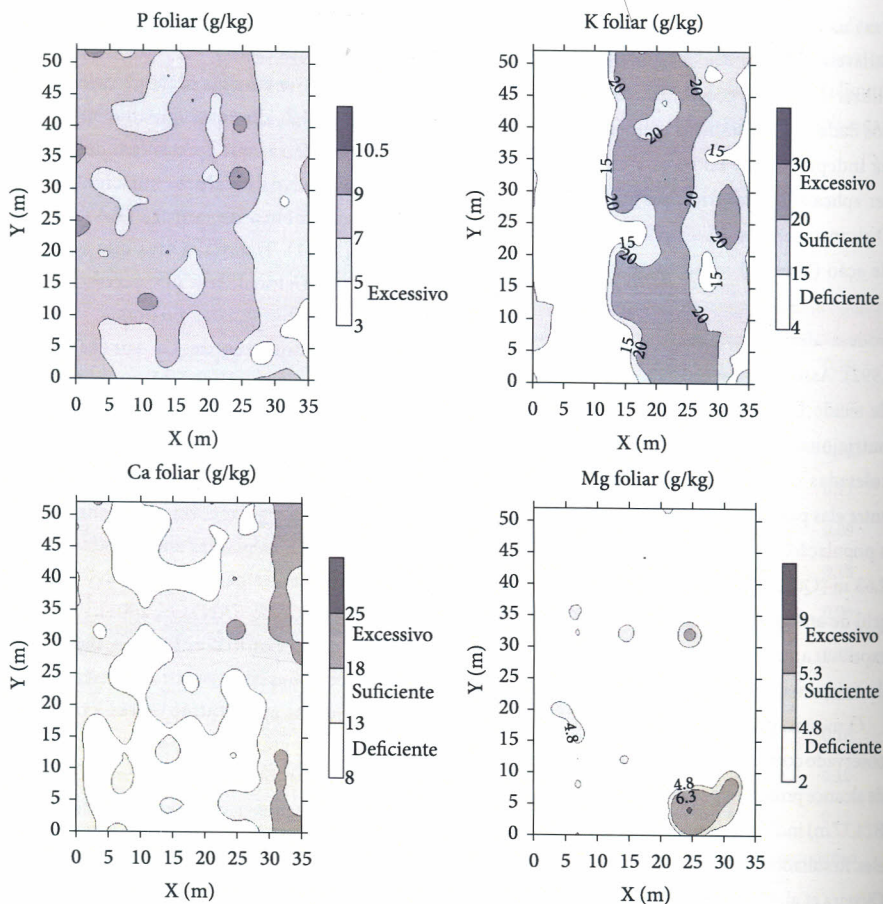


Figura 1. Mapas de distribuição espacial dos teores foliares de P, K, Ca e Mg em pomar de videira cv. Sugaone irrigada, em Petrolina, PE.

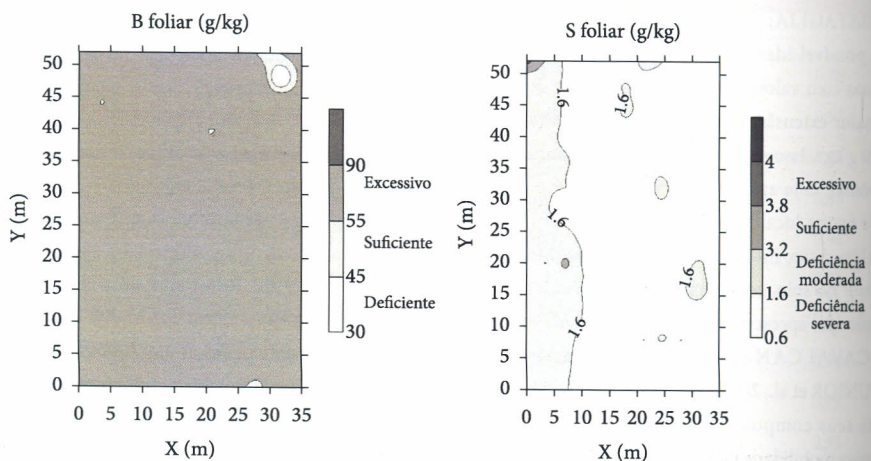


Figura 2. Mapas de variabilidade espacial dos teores foliares de B e S e da produtividade em pomar de videira cv. Sugaone irrigada, em Petrolina, PE.

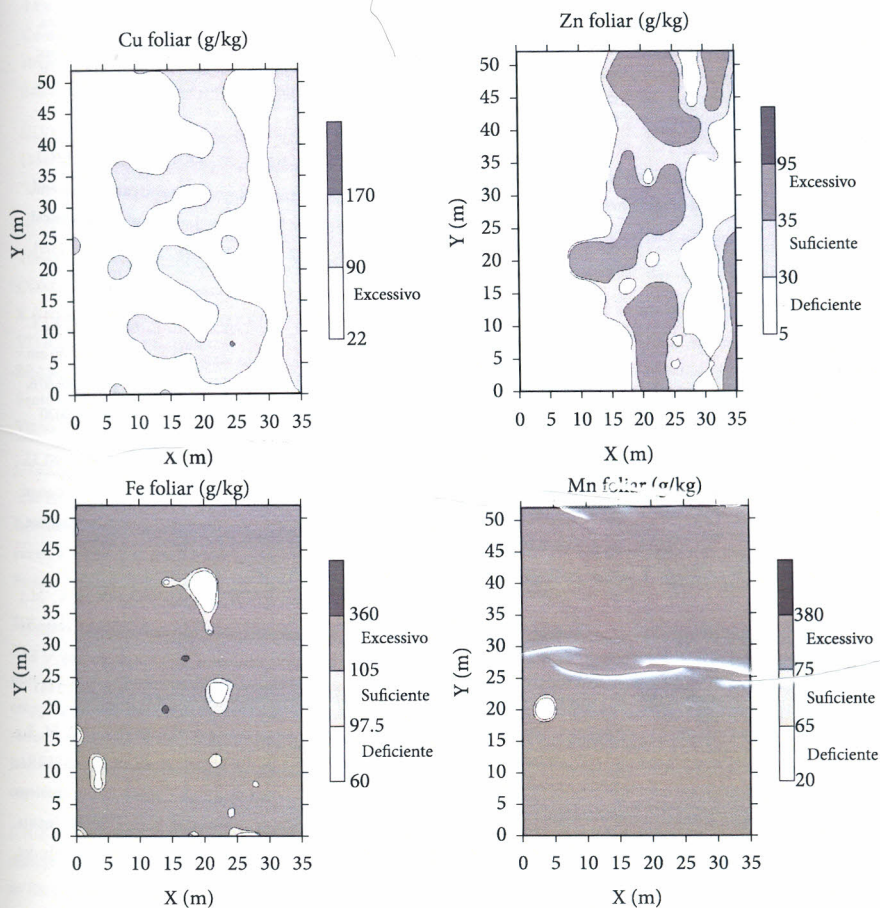


Figura 3. Mapas de distribuição espacial dos teores foliares de Cu, Zn, Fe e Mn em pomar de videira cv. Sugarone irrigada, em Petrolina, PE.

4. Conclusão

A dependência espacial dos teores foliares de P, K, Ca, Mg, S, Cu, Zn, Fe, Mn e B e da produtividade em videira de mesa foi identificada, sendo possível a construção de mapas com zonas homogêneas quanto à essas variáveis..

Agradecimentos

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

Referências

- BATAGLIA, O. C.; SANTOS, W. R. Estado nutricional de plantas perenes: avaliação e monitoramento. *Informações Agronômicas*, v. 96, p. 3-8, 2001.
- BERNARDI, A. C. C.; CARMO, C. A. F. S.; MACHADO, P. L. O.; SILVA, C. A.; VALENCIA, L. I. O.; MEIRELLES, M. S. Variabilidade espacial de teores de nutrientes em folhas de soja como ferramenta para agricultura de precisão. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. 5 p. (Comunicado Técnico, 17).
- BRUNETTO, G.; MELO, G. W. B.; SCHÄFER JUNIOR, A.; KAMINSKI, J. C.; CERETTA, A. Taxa fotossintética e acúmulo de matéria seca e nutrientes em videiras jovens na Serra Gaúcha cultivadas em solos com excesso de cobre. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2007. 8 p. (Comunicado Técnico, 80).

- CAVALCANTE, E. G. S.; ALVES, M. C.; SOUZA, Z. M.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1329-1339, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832007000600012>
- COSTA, W. P. L. B. **Alterações na fertilidade do solo e teores de metais pesados em solos cultivados com videira**. 2009. 80 f. Tese (Mestrado)-Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2009.
- EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Solos, Embrapa Informática Agropecuária, Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370 p.
- EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.
- FARIA, C. M. B.; SILVA, D. J.; PEREIRA, J. R. **Avaliação nutricional da videira no Submédio São Francisco**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2004. 20 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 61).
- FARIA, C. M. B.; SILVA, M. S. L.; SILVA, D. J. **Alterações em características de solos do Submédio São Francisco sob diferentes sistemas de cultivo**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2007. 33 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 74).
- FOLEGATTI, M. V. **Estabilidade temporal e variabilidade espacial da umidade e do armazenamento de água em solo siltoso**. 1996. 84 f. Tese (Livre Docência)-Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996.
- GAW, S. K.; WILKINS, A. L.; KIM, N. D.; PALMER, G. T.; ROBINSON, P. Trace element and DDT concentrations in horticultural soils from the Tasman, Waikato and Auckland regions of New Zealand. **Science of the Total Environment**, v. 355, n. 1-3, p. 31-47, 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.02.020>
- GOLDEN SOFTWARE. **SURFER for Windows**. Release 7. 0. Contouring and 3D surface mapping for scientist's engineers. User's guide. New York: Golden Software, 1999. 619 p.
- ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University Press, 1989. 561 p.
- LEÃO, M. G. A.; MARQUES JÚNIOR, J.; SOUZA, Z. M.; SIQUEIRA, D. S.; PEREIRA, G. T. O relevo na interpretação da variabilidade espacial dos teores de nutrientes em folha de citros. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p. 1152-1159, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662010001100004>
- LEMO FILHO, L. C. A. **Estabilidade temporal e análise espacial do armazenamento de água em solo arenoso da região de Petrolina-PE**. 2010. 151 f. Tese (Doutorado)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.
- MARQUES JÚNIOR, J.; SOUZA, Z. M.; PEREIRA, G. T.; BARBIERI, D. M. Variabilidade espacial de matéria orgânica, P, K e CTC de um Latossolo cultivado com cana-de-açúcar por longo período. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 8, p. 143-152, 2008.
- MIHALJEVIC, M.; ETTLER, V.; SEBEK, O.; STRAND, L.; CHRASTNY, L. Lead isotopic signatures of wine and vineyard soils-tracers of lead origin. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 88, p. 130-133, 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gexplo.2005.08.025>
- MONTEZANO, Z. F.; CORAZZA, E. J.; MURAOKA, T. Variabilidade de nutrientes em plantas de milho cultivado em talhão manejado homogeneamente. **Bragantia**, v. 67, p. 969-976, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052008000400020>
- OLIVEIRA, R. B.; LIMA, J. S. S.; SILVA, S. A.; ANTUNIASI, U. R.; SILVA, A. F. Spatial variability of the nutritional condition of canephora coffee aiming specific management. **Coffee Science**, v. 5, p. 190-196, 2010.
- PANOUELOU-FILOTHEOU, H.; BOSABALIDIS, A. M.; KARATAGLIS, S. Effects of copper toxicity on leaves of oregano (*Origanum vulgare* subsp. *hirtum*). **Annals of Botany**, v. 88, p. 207-214, 2001. <http://dx.doi.org/10.1006/anbo.2001.1441>
- PAOLETTI, M. G.; SOMMAGGIO, D.; FAVRETTO, M. R.; PETRUZZELLI, G.; PEZZAROSSA, B.; BARBAFIERI, M. Earthworms as useful bioindicators of agroecosystem sustainability in orchards and viyards with different inputs. **Applied Soil Ecology**, v. 10, p. 137-150, 1998. [http://dx.doi.org/10.1016/S0929-1393\(98\)00036-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0929-1393(98)00036-5)
- 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 Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p. 600-607, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662010000600006>
- RAMOS, M. C.; LOPEZ-ACEVEDO, M. Zinc levels in vineyard soils from the Alt Penedes-Anoia region (NE Spain) after compost application. **Advances in Environmental Research**, v. 8, n. 3-4, p. 687-696, 2004. [http://dx.doi.org/10.1016/S1093-0191\(03\)00041-8](http://dx.doi.org/10.1016/S1093-0191(03)00041-8)
- RAMOS, M. C. Metals in vineyard soils of the Penedes area (NE Spain) after compost application. **Journal of Environmental Management**, v. 78, p. 209-215, 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2005.04.017>
- RESENDE, A. V.; KRAHL, L. L.; SHIRATSUCHI, L. S.; GOEDERT, W. J.; DOWICH, I. **Diagnóstico nutricional de uma lavoura de soja a partir de informações georreferenciadas**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2005. 30 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 145).
- ROBERTSON, G. P. **GS+**: geostatistics for environmental sciences: version 5. 1 for windows. Gamma Design Software, 1998. 152 p.

- SANTOS, H. P.; MELO, G. W.; LUZ, N. B.; TOMASI, R. J. **Comportamento fisiológico de plantas de aveia (*Avena strigosa*) em solos com excesso de cobre.** Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2004. 10 p. (Comunicado Técnico, 49).
- SILVA, A. P. **Variabilidade espacial de atributos físicos do solo.** 1988. 105 f. Tese (Doutorado)-Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1988.
- SILVA, D. J.; LEÃO, P. C. S. Dessecamento da raiquia em uva Thompson Seedless cultivada no Submédio São Francisco. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE VITICULTURA E ENOLOGIA, 10.; CONGRESSO BRASILEIRO DE VITICULTURA E ENOLOGIA, 11.; SEMINÁRIO FRANCO-BRASILEIRO DE VITICULTURA E ENOLOGIA, 2., 2005, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2005. p. 259. (Documentos, 55). Resumo.
- SILVA, P. C. G. Dinâmica e crise da fruticultura irrigada no Vale do São Francisco. In: SILVA, A. G.; CAVALCANTI, J. S. B.; WANDERLEY, M. N. B. (Ed.). **Diversificação dos espaços rurais e dinâmicas territoriais no Nordeste do Brasil.** João Pessoa: Zarinha Centro de Cultura, 2009. p. 69-96.
- SOLOMON, D.; LEHMANN, J.; LOBE, I.; MARTINEZ, C. E.; TVEITNES, S.; DU PREEZ, C. C.; AMELUNG, W. Sulphur speciation and biogeochemical cycling in long-term arable cropping of subtropical soils: evidence from wet-chemical reduction and SK-edge XANES spectroscopy. **European Journal of Soil Science**, v. 56, p. 621-634, 2005. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2389.2005.00702.x>
- SOUZA, L. S. **Variabilidade espacial do solo em sistemas de manejo.** 1992. 162 f. Tese (Doutorado)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1992.
- SOUZA, L. S.; VIEIRA, S. R.; COGO, N. P. Variabilidade dos teores de nutrientes na folha, entre plantas, em um pomar cítrico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p. 373-377, 1997.
- SOUZA, Z. M.; BARBIERI, D. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; CAMPOS, M. C. C. Influência da variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo na aplicação de insumos para cultura da cana de açúcar. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, p. 371-377, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542007000200016>
- URIBE, E. G.; STARK, B. Inhibition of photosynthetic energy conversion by cupric ion. **Plant Physiology**, v. 69, p. 1040-1045, 1982. <http://dx.doi.org/10.1104/pp.69.5.1040>
- VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V, V. H.; SCHAEFER, G. R. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo.** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p. 1-54. v. 1.
- VIEIRA, S. R.; LOMBARDI NETO, F. Variabilidade espacial do potencial de erosão das chuvas do Estado de São Paulo. **Bragantia**, v. 54, p. 405-412, 1995. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87051995000200019>
- VIEIRA, S. R.; GUEDES FILHO, O.; CHIBA, M. K.; MELLIS, E. V.; DECHEN, S. C. F.; DE MARIA, I. C. Variabilidade espacial dos teores foliares de nutrientes e da produtividade da soja em dois anos de cultivo em um Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1503-1514, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000500003>
- VITAL, T. W.; MOLLER, H. D.; FAVERO, L. A.; SAMPAIO, Y. S. B.; SILVA, E. A fruticultura de exportação do Vale do São Francisco e a crise econômica: efeitos sobre a convenção coletiva de trabalho 2009-2010. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 4, p. 365-390, 2011.
- 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 (Livre Docência)-Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.