

## **Delimitação de zonas de manejo baseadas em atributos físicos do solo em uma área de goiabeira irrigada no Semiárido nordestino.**

**Marcos Sales Rodrigues<sup>(1)</sup>; Matheus Cerqueira Santana<sup>(2)</sup>; Amélia Luiza Pereira Uchôa<sup>(3)</sup>; Alex Xavier da Silva Mororo de Menezes<sup>(4)</sup>; Ítalo Herbert Lucena Cavalcante<sup>(5)</sup>; Augusto Miguel Nascimento Lima<sup>(6)</sup>**

<sup>(1)</sup> Professor; Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF); Petrolina, Pernambuco, marcos.rodrigues@univasf.edu.br; <sup>(2)</sup> Graduando em Eng. Agrônômica; UNIVASF; matheuscsantana@hotmail.com; <sup>(3)</sup> Graduando em Eng. Agrônômica; UNIVASF; amelynha\_bahia@hotmail.com; <sup>(4)</sup> Graduando em Eng. Agrônômica; UNIVASF; alex-xsmm@hotmail.com; <sup>(5)</sup> Professor; UNIVASF; italo.cavalcante@univasf.edu.br; <sup>(6)</sup> Professor; UNIVASF; augusto.lima@univasf.edu.br;

**RESUMO:** Delimitar zonas de manejo baseadas em atributos físicos do solo pode ser uma importante técnica para otimizar o uso da água para irrigação e fertilizantes em áreas de agricultura irrigada no semiárido. Portanto, os objetivos deste estudo foram: 1) determinar a dependência espacial de alguns atributos físicos do solo e; 2) identificar zonas de manejo utilizando algoritmo de agrupamento "fuzzy c-means" em uma área de cultivo de goiabeira na região semiárida nordestina. O experimento foi estruturado em uma malha com 99 pontos referenciados, espaçados de 4 m, que correspondeu ao número de plantas de goiabeira em uma área irrigada na região semiárida. Foram coletadas amostras deformadas e indeformadas em cada ponto amostral na camada de 0-0,2 m de profundidade. Foram determinados a porosidade total do solo (PT), densidade do solo (DS) e textura do solo. Adicionalmente, a resistência do solo a penetração foi medida utilizando um penetrometro de impacto. Foram realizadas análises descritivas e geoestatística. O software 'Management Zone Analyst' (MZA) foi utilizado para definir as zonas de manejo com o algoritmo de agrupamento "fuzzy c-means". Foi confirmado a dependência espacial da textura do solo e da DS. Foi possível delimitar zonas de manejo baseadas em atributos físicos para o manejo específico da irrigação e adubação. A argila e a DS foram os melhores atributos para delimitar as zonas de manejo na área de estudo.

**Termos de indexação:** agricultura de precisão, fruticultura, lógica fuzzy, *Psidium guajava* L.

### **INTRODUÇÃO**

O cultivo de frutíferas no Trópico Semiárido do Nordeste tem crescido e se mostrado uma atividade comercial atraente. Isto devido, principalmente, aos polos de agricultura irrigada que favorecem, com sucesso, a exploração de diversas espécies frutíferas. Dentre as diversas culturas produzidas, destaque-se o cultivo de goiabeira, sendo o polo irrigado de Juazeiro/Petrolina responsável por 22,6% da produção nacional de goiaba (IBGE, 2010).

A despeito do potencial produtivo comprovado destes polos irrigados da região semiárida do Nordeste brasileiro, as características desta região tais como: distribuição irregular da precipitação, altas taxas de evaporação, solos rasos e geralmente arenosos fazem com que tais características climáticas, pedológicas e hidrológicas aumentam o risco de compactação do solo e acúmulo de sais (Santos et al., 2012). Exigindo, portanto, cuidados especiais no manejo do solo de áreas irrigadas do semiárido, principalmente, no que se refere aos atributos físico-hídricos do solo.

Sabendo-se que o solo possui dependência espacial e sua variação pode ser sistemática e não aleatória, o manejo específico de áreas baseadas nos atributos físicos pode ser uma abordagem atrativa para aumentar a eficiência do uso de fertilizantes e água em sistemas agrícolas (Peralta et al., 2015). Dentro deste contexto, pode ser introduzido o conceito de zonas de manejo, as quais são sub-regiões em uma área agrícola que podem diferir em fatores tais como tipo de solo, topografia, disponibilidade de água e nutrientes, etc. (Bullock et al., 2009).

Apesar de existir grande número de técnicas para delimitar zonas de manejo, tais como uso de interpoladores determinísticos (ex: inverso do quadrado da distância), interpoladores estocásticos que fazem uso da geoestatística (krigagem) entre outros, há uma grande dificuldade em definir o número ideal de zonas que o campo deve ser dividido. Uma alternativa para superar este problema é o uso de algoritmos de agrupamento "fuzzy c-means" que permite agrupar diversas variáveis no mesmo mapa. Além disso, por meio de dois índices, os quais são: índice de performance fuzzy (sigla em inglês: FPI - 'fuzziness performance index') e a classificação de entropia normalizada (sigla em inglês: NCE - 'normalized classification entropy') é possível sugerir o número ideal de zonas de manejo que o campo deve ser dividido (Fridgen et al., 2004).

Portanto, os objetivos deste estudo foram: 1) determinar a dependência espacial de alguns atributos físicos do solo; 2) identificar zonas de

manejo utilizando algoritmo de agrupamento 'fuzzy c-means' em um área de cultivo de goiabeira na região semiárida nordestina.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na fazenda experimental do Campus Ciências Agrárias da Universidade Federal do Vale do São Francisco, perímetro irrigado Nilo Coelho, Petrolina-PE (latitude 9°19'10.47"S, longitude 40°33'48.91"W, elev. 400 m). O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Bsh', muito quente e semiárido, com a estação chuvosa no verão e elevada evaporação. A temperatura média anual fica em torno de 26 °C, e a precipitação pluviométrica, próxima de 400 mm anuais, é irregularmente distribuída, caracterizando uma semiaridez bem acentuada. O solo da área experimental é classificado como Argissolo Amarelo.

As goiabeiras da variedade Paluma foram plantadas em espaçamento de 4 x 4 m em covas de 80 x 80 x 80 cm. A adubação de plantio foi de 36 L de esterco bovino curtido mais 400 g de superfosfato simples na cova. O pomar está em processo de formação.

Todos os dados foram coletados seguindo uma grade amostral contendo 99 pontos que corresponde ao número de plantas de goiaba, portanto, o espaçamento entre as amostras correspondeu ao espaçamento de plantio das goiabeiras (4 x 4 m). Amostras deformadas e indeformadas foram coletadas na camadas de 0-0,2 m de profundidade em cada ponto amostral. Foram determinados textura do solo pelo método da pipeta, porosidade total (PT) e a densidade do solo (Ds), utilizando-se os métodos propostos pela Embrapa (1997). A resistência a penetração foi medida com um penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar-Stolf na mesma profundidade das demais amostras.

Para estimar a dependência espacial entre as amostras, bem como identificar se as variações foram sistemáticas ou aleatórias, foi utilizado modelos de semivariogramas (Isaaks & Srivastava, 1989).

Krigagem foi utilizada para interpolar as variáveis que apresentaram dependência espacial (método estocástico) e inverso do quadrado da distância para dados que não apresentaram dependência espacial (método determinístico). Os mapas interpolados foram produzidos em formato matricial ('raster') com pixel de 0,5 m, posteriormente foram convertidos em arquivos de texto separados por vírgula para serem

processados no software 'Management Zone Analyst' (MZA) onde as zonas de manejo foram delimitadas usando algoritmo 'fuzzy c-means'. O melhor número de zonas de manejo (número de 'clusters') foi baseado nos índices FPI ('Fuzziness performance index') e NCE ('Fuzziness performance index') fornecido pelo programa MZA, cujo os menores valores para os dois índices indicam o melhor número de zonas de manejo (Fridgen et al., 2004).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi observado dependência espacial da textura do solo e o modelo exponencial foi ajustado aos dados das três frações (argila, silte e areia). O alcance das frações da textura do solo variaram de 10 a 15 m (Tabela 1), sendo maiores do que a distância do espaçamento da malha amostral. Isto indica que o espaçamento da malha foi suficiente para modelar a dependência espacial das frações granulométricas na área de estudo.

A densidade do solo (DS) apresentou dependência espacial e o modelo exponencial foi ajustado aos dados. O valor do alcance (13,2 m) foi similar aos encontrados para a textura do solo, indicando que possa haver correlação entre estas variáveis (Tabela 1). Já para as variáveis porosidade total (PT) e resistência a penetração (RP) foi observado o chamado efeito pepita puro, ou seja, não houve dependência espacial para estas variáveis na área de estudo (Tabela 1). Portanto, para PT e RP, o espaçamento da malha amostral não foi suficiente para modelar a dependência espacial. A variabilidade da PT e RP não estão relacionados apenas com os processos de formação do solo, como é o caso da textura do solo, mas também com o manejo do solo, fazendo com que haja um aumento da variabilidade (Santos, et al. 2012).

Como as frações da textura do solo e a BD apresentaram dependência espacial, os mapas destas variáveis foram interpolados utilizando a krigagem ordinária. Para as variáveis PT e RP os mapas foram gerados utilizando o inverso do quadrado da distância (Tabela 1).

Para os produtores adotarem o manejo específico de áreas, o desenvolvimento das zonas de manejo devem ser simples, funcional e economicamente viável (Li et al., 2007), portanto, foi selecionado as variáveis consideradas mais úteis e de mais fácil determinação para o manejo da irrigação e adubação. Primeiramente, o teor de argila foi selecionado pois é a fração mais importante da textura do solo, já que esta relacionada com vários

atributos químicos e físicos do solo. Posteriormente, como sugerido por Bazzi et al. (2013) foi realizado a matriz de correlação com os dados dos mapas interpolados (pixel por pixel) e a melhor correlação foi encontrada entre DS e os teores de argila ( $r = 0,354$ ). Por último, foi selecionado as variáveis que apresentaram dependência espacial. Por esta razão não foi realizado zonas de manejo com as variáveis PT e RP. Desta forma, as os mapas de zonas de manejo para a área de estudo foram confeccionados utilizando o teor de argila, DS e com ambos em um mesmo mapa (teor de argila + densidade) (Figura 1 a, b e c).

Por meio dos índices FPI e NCE, foi verificado que o número ótimo de zonas de manejo para a área de estudo foram três para as zonas de argila, quatro para a DS e quatro para as zonas com DS + teor de argila (Figure 2 a, b e c). Resultados similares foram encontrados por Jiang et al. (2011) em um campo de sequeiro de 1 ha na região semiárida da China, onde a área de estudo foi dividida em duas zonas de manejo utilizando o software MZA. Estes autores verificaram que houve alta uniformidade para os atributos físicos dentro da zona e significante diferença entre zonas. Concordando com Li et al. (2007), a análise de agrupamento baseia-se na suposição que o agrupamento de dados dentro de zonas pode reduzir a variabilidade dentro da zona de manejo. Desta forma, permite a definição de sub-regiões no campo agrícola podendo potencializar a aplicação de manejo específico maximizando a produtividade na a área total.

Com a obtenção dos três mapas zonas definidas (Figura 2), algumas sugestões de aplicação para a área de estudo podem ser feitas: 1) o manejo específico de nutrientes poderia ser realizado utilizando-se o mapa de zonas de manejo da argila, o que poderia otimizar o uso de fertilizantes como afirmado por Bazzi et al. (2013). 2) O manejo da irrigação poderia ser realizado utilizando-se o mapa de zonas de manejo teor de argila + DS. Por exemplo, para determinar a irrigação em um campo agrícola, é necessário a determinação da curva característica de retenção de água (CRA), analise esta que é cara e demorada. Além disso, a CRA deve ser determinada com amostras representativas da área onde o sistema de irrigação será implementado. Já que teor de argila e DS são dois atributos que mais se correlacionam com a CRA, as amostras para realização da CRA poderiam ser realizadas dentro de cada zona de manejo estabelecidas no mapa de teor de argila + DS.

Conforme afirmado por Li et al. (2007), avaliações e manipulações complexas de dados pode não ser

justificável em termos de tempo e economia. Portanto, os resultados do presente estudo mostraram que o software MZA pode ser uma importante ferramenta para o delineamento de zonas de manejo e seu uso dispensa o complexo conhecimento teórico do funcionamento matemático das análises de agrupamento "fuzzy c-means". Adicionalmente, este método pode ser considerado fortemente científico, com alta precisão e velocidade e fornece uma simples e rápida maneira de delinear zonas de manejo para irrigação e fertilizantes como argumenta Jiang et al. (2011).

## CONCLUSÕES

Foi confirmada a dependência espacial da textura do solo e densidade do solo. Porém, porosidade total e resistência a penetração não apresentaram dependência espacial no presente estudo.

Foi possível delinear zonas de manejo baseadas em atributos físicos do solo para o manejo específico da irrigação e fertilizantes em uma área de goiaba irrigada na região semiárida.

O teor de argila e a densidade do solo foram as melhores variáveis para delinear zonas de manejo na presente área de estudo.

## REFERÊNCIAS

- BAZZI, C. L.; SOUZA, E. G.; URIBE-OPAZO, M. A.; NÓBREGA, L. H. P. & ROCHA, D. M. Management zones definition using soil chemical and physical attributes in a soybean area. *Engenharia Agrícola*, 34: 952-964, 2013.
- BULLOCK, D. S.; RUFFO, M.L.; BULLOCK, D. G. & BOLLERO, G. A. The Value of Variable Rate Technology: An Information-Theoretic Approach. *American Journal of Agricultural Economics*, 91: 209-223, 2009.
- EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.
- FRIDGEN, J. J.; KITCHEN, N. R.; SUDDUTH, K. A.; DRUMMOND, S. T.; WIEBOLD, W. J. & FRAISSE, C. W. Management Zone Analyst (MZA): Software for subfield management zone delineation. *Agronomy Journal*, 96: 100-108, 2004.
- IBGE. Produção Agrícola Municipal: Culturas Temporárias e Permanentes. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 2010. 89p.
- ISAAKS, E. H. & SRIVASTAVA, R. M. An introduction to applied geostatistics. New York: Oxford University Press, 1989. 561p.
- JIANG, Q.; FU, Q. & WANG, Z. Study on Delineation of Irrigation Management Zones Based on Management Zone Analyst Software. In: D. LI, Y. LIU & Y. CHEN, ed.

Computer and Computing Technologies in Agriculture IV. ed. Nanchang: Springer Boston, 2011. p. 419-427.

LI, Y.; SHI, Z.; LI, F. & LI, H-Y. Delineation of site-specific management zones using fuzzy clustering analysis in a coastal saline land. Computers and Electronics in Agriculture, 56: 174-186, 2007.

PERALTA, N. R.; COSTA, J. L.; BALZARINI, M.; CASTRO FRANCO, M.; CÓRDOBA, M. & BULLOCK, D. Delineation of management zones to improve nitrogen management

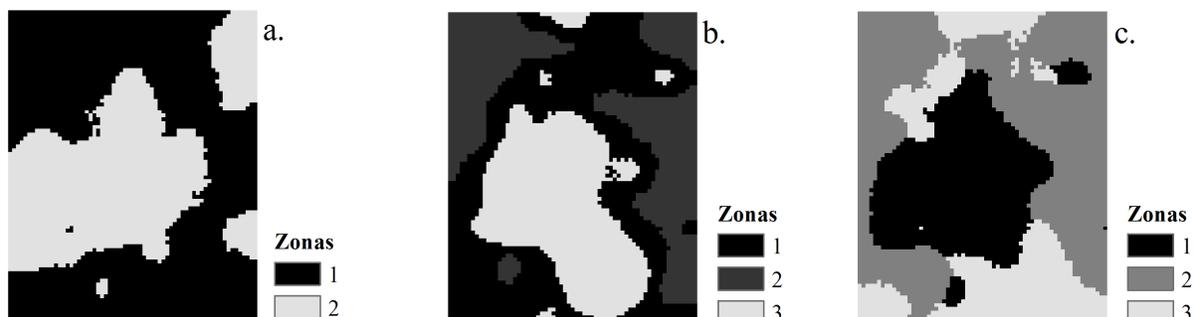
of wheat. Computers and Electronics in Agriculture, 110:103-113, 2015.

SANTOS, K. S.; MONTENEGRO, A. A.; ALMEIDA, B.; MONTENEGRO, S.; ANDRADE, T. D. S. & FONTES JÚNIOR, R. Variabilidade espacial de atributos físicos em solos de vale aluvial no semiárido de Pernambuco. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 16:828-835, 2012.

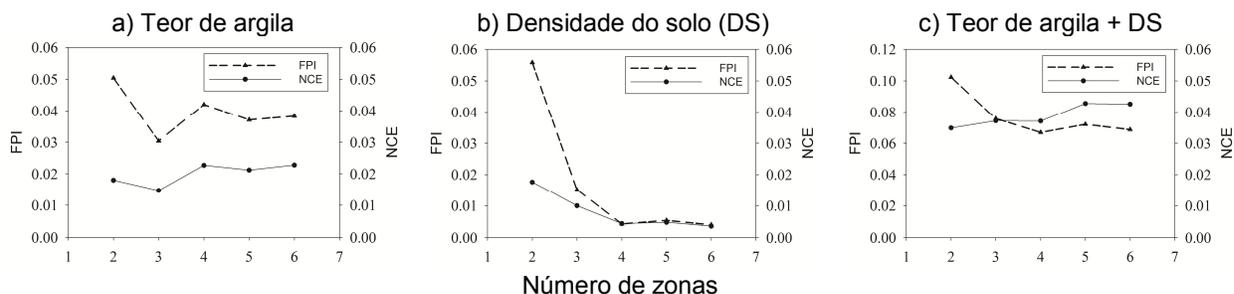
**Tabela 1 –** Parâmetros dos semivariogramas e o método de interpolação dos atributos físicos do solo na camada de 0-0,2 m em um campo de goiaba irrigada na região Semiárida.

Variável	Modelo	Efeito pepita	Patamar	Alcance (m)	R <sup>2</sup>	SQR	Método de interpolação
Argila (g kg <sup>-1</sup> )	Exp.	4,146	7,261	15,4	0,74	0,35	Krigagem
Areia (g kg <sup>-1</sup> )	Exp.	3,780	7,561	12,7	0,59	0,459	Krigagem
Silte (g kg <sup>-1</sup> )	Exp.	4,550	9,251	10,5	0,66	0,401	Krigagem
DS (g cm <sup>-3</sup> )	Exp.	0,007	0,013	13,2	0,65	1,3E-06	Krigagem
PT (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	EPP	7,260	7,260				IQD
RP (Mpa)	EPP	0,005	0,005				IQD

DS = densidade do solo; PT = porosidade total; RP = resistência a penetração; Exp.= modelo exponencial; EPP= Efeito Pepita Puro; SQR = Soma de quadrados do resíduo; IQD: Inverso do quadrado da distância.



**Figura 1 –** Mapas de zonas de manejo geradas com o algoritmo de agrupamento 'fuzzy c-means' usando os dados de argila (a), densidade do solo (b) e argila + densidade do solo (c) em um campo de goiaba irrigada na região Semiárida.



**Figura 2 –** Índice de performance fuzzy (FPI) e índice de classificação de entropia normalizada (NCE) dos mapas de zonas de manejo geradas com o algoritmo de agrupamento 'fuzzy c-means' usando os dados de argila (a), densidade do solo (b) e argila + densidade do solo (c) em um campo de goiaba irrigada na região Semiárida.

O menor valor indica o número ideal de zonas que o campo deve ser subdividido.