

Gilson Araújo de Freitas^{1*}

Jaiza Francisca Ribeiro Chagas²

Marllos Peres de Melo³

Rubens Ribeiro da Silva⁴

Antonio Clementino dos Santos⁵

*Autor para correspondência

Recebido para publicação em 05/01/2015. Aprovado em 06/04/2015.

¹Doutorando em Produção Vegetal pela UFT, araujoagro@hotmail.com.

² Doutoranda em produção vegetal pela Universidade Federal do Tocantins, jafra@uft.edu.br.

³ Doutorando em Produção Vegetal, pela Universidade Federal do Tocantins - UFT (2013-2016), marllosperes@bol.com.br.

⁴ Professor pesquisador da Universidade Federal do Tocantins nos cursos de Agronomia e Mestrado em Produção Vegetal em Engenharia Florestal e Doutorado em Produção Vegetal, rrs2002@uft.edu.br..

⁵ Professor Associado I da Universidade Federal do Tocantins. Atual Diretor do Núcleo Regional da Amazônia Oriental (TO, PA, AP, MA) da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, clementino@uft.edu.br.

ACSA



AGROPECUÁRIA CIENTÍFICA NO SEMIÁRIDO –
ISSN 1808-6845

Artigo Científico

Variabilidade espacial de salinidade por sódio em área irrigada com resíduo líquido de frigorífico

RESUMO

O objetivo deste estudo foi quantificar variabilidade espacial de salinidade por sódio em área irrigada com resíduo líquido de frigorífico em pastagens de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu cultivadas em plintossolo. As coletas do solo foram realizadas em malha de amostragem regular com distâncias de 32 x 32 m numa área de 7,63 ha. Para a realização da amostragem, utilizou-se uma rede de 63 pontos georreferenciados, sendo a amostragem de cada ponto composto por quatro subamostras de solo, coletadas na camada de 0 - 20 cm de profundidade, num raio de aproximadamente cinco metros ao redor do ponto principal. Os semivariogramas da salinidade do solo por sódio, se ajustaram ao modelo exponencial, com grau de dependência espacial (GDE), classe forte (99,9%). Os mapas confeccionados permitem identificar unidades de aplicação diferentes quanto à presença do sódio de acordo com as áreas de irrigação com resíduo líquido bovino. Essa regionalização surge como ferramenta auxiliar para o monitoramento da área da pastagem permitindo assim o manejo adequado da irrigação com resíduo líquido bovino.

Palavras - chave: Água residuária; grade; irrigação de pastagem.

Spatial variability of salinity in irrigated with sodium in liquid residue from fridge

ABSTRACT

The aim of this study was to quantify the spatial variability of salinity in irrigated with sodium in liquid residue from fridge in *Brachiaria brizantha*. Marandu grown in Plinthosol. The soil samples were taken at regular grid with distances of 32 x 32 m in an area of 7.63 ha. To perform the sampling, we used a network of 63 georeferenced points, with each point sample consisting of four samples of soil collected in the layer 0-20 cm depth, within about five meters around the main point. The semivariograms of soil salinity by sodium, adjusted to the exponential model with spatial dependence degree (GDE), strong class (99.9%). The maps prepared identifying the application units different in presence of sodium in accordance with the areas of irrigation liquid bovine residue. This regionalization emerges as a valuable tool for monitoring the area of grassland allowing proper management of irrigation with waste liquid beef.

Keywords: wastewater; grid; pasture irrigation.

INTRODUÇÃO

A disposição de águas residuárias agroindustriais no solo é uma técnica interessante, principalmente em condições de clima tropical e com disponibilidade de áreas, como é o caso do Brasil. Esta técnica se baseia na capacidade depuradora do sistema solo-planta, que utiliza mecanismos físicos, químicos e biológicos de remoção dos poluentes contidos nas águas residuária (ERTHAL et al., 2010).

Estudos realizados em diversos países demonstraram que a produtividade agrícola aumenta significativamente em áreas fertirrigadas com águas residuárias, desde que estas sejam adequadamente manejadas. A maioria dos estudos está relacionada com a utilização de águas residuárias de origem doméstica e seus efeitos sobre o rendimento de massa seca e/ou proteína bruta em espécies forrageiras (MOHAMMAD & AYADI, 2004; GRATTAN et al., 2004).

No Brasil avaliou-se através de alguns trabalhos (FONSECA et al., 2007; MATOS et al., 2003) a aplicação de águas residuárias em sistemas cultivados com gramíneas forrageiras e se constatou que essas águas podem substituir eficientemente a água limpa, proporcionando benefícios econômicos, com aumento da qualidade e rendimento da forragem, além de ser uma opção interessante do ponto de vista ambiental.

Segundo Matos (2008), as águas residuárias são ricas em macro e micronutrientes e grande parte desses nutrientes é disponibilizada apenas com a mineralização do material orgânico, exceção feita ao potássio e sódio, pois se considera que não estejam associados ao material orgânico e, portanto, não dependem da mineralização para serem disponibilizados no meio.

Dentre os nutrientes presentes nas águas residuária, alguns podem ter efeitos negativos, sobretudo aqueles causados pela alta concentração de sais existentes nessas águas, como é caso do sódio. O aumento da concentração desses sais no solo faz com que as plantas necessitem de ajustamento osmótico a fim de manter o fluxo de água no sentido solo-folha. O efeito da redução do componente osmótico do potencial da água no solo é similar ao de um déficit hídrico, consequente da depleção de água no solo para a maioria das plantas (TAIZ & ZEIGER, 2004). Ayers & Westcot (1999) afirmam que a limitação principal do sódio pode ser devido a concentração elevada em relação ao cálcio e magnésio, além da baixa tolerância das culturas. Além disso, restringem a absorção de nutrientes pelas plantas, interferindo no desenvolvimento das mesmas podendo, assim, reduzir a produção agrícola a níveis antieconômicos (FREIRE et al., 2003).

O conhecimento da distribuição espacial do sódio no solo e de suas relações com a pastagem pode auxiliar no seu manejo (DIAS-FILHO, 2011). Segundo Vidal-Vázquez et al. (2012) atributos de solo normalmente apresentam forte dependência espacial, uma vez que variam conforme local na paisagem.

Com o desenvolvimento da agricultura de precisão, o conhecimento da distribuição espacial de variáveis de solo

e planta tornou-se indispensável para o planejamento e otimização da agricultura de uma forma geral. Assim sendo, a determinação da variabilidade espacial destas propriedades, inclusive em diferentes profundidades, é fundamental, principalmente na tomada de decisão sobre o manejo e recuperação de áreas com problemas de sais.

Neste contexto a geoestatística, por levar em consideração as distribuições espaciais das amostras, se apresenta como uma ferramenta adicional de análise permitindo definir o raio de correlação espacial entre elas. Essa dependência ou correlação espacial entre amostras pode ser verificada através das semivariâncias (CARVALHO et al., 2003) e através dos resultados dos parâmetros dos semivariogramas (efeito pepita, patamar e alcance), sendo possível, através da krigagem, o mapeamento da propriedade de interesse considerando-se a correlação existente (GONÇALVES et al., 2001).

Essa técnica tem sido objeto de estudo desde que os pesquisadores passaram a observar a pouca eficácia das ferramentas clássicas da estatística em estudos de solos, e é justamente nestes casos que a geoestatística tem suas principais aplicações (VITÓRIA et al., 2012). Enquanto a estatística clássica pressupõe não haver relação entre a variação e a distância entre pontos de amostragem, a geoestatística considera que os valores da variável estão relacionados à sua disposição espacial e, portanto, as observações tomadas a curta distância se assemelham mais do que aquelas tomadas a distâncias maiores (LANDIM, 2003).

Diante disso, o objetivo deste estudo foi quantificar variabilidade espacial de salinidade por sódio em área irrigada com resíduo líquido de frigorífico em Gurupi - TO.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área de disposição/irrigação de água residuária de bovinocultura do frigorífico COOPERFRIGU (Cooperativa dos produtores de carne e derivados de Gurupi-TO) em maio de 2013, nas coordenadas 11°39'70" S de latitude, 49°20'26" W de longitude e 305 m de altitude, município de Gurupi, Tocantins. Segundo metodologia proposta por Köppen (1948), o clima regional é do tipo B1wA'a' úmido com moderada deficiência hídrica, com precipitação média anual de 1500 mm e temperatura média anual de 27°C. O solo onde foi implantado o experimento é o Plintossolo (EMBRAPA, 2006).

A área experimental corresponde a 7,63 hectares. Na área é realizada periodicamente aplicação do resíduo líquido bovino (RLB), proveniente do processo final do tratamento do resíduo em lagoas aeróbicas. As características físicas e químicas do resíduo líquido bovino utilizado no experimento foram: Na - 7,0 mg/L; ph -7,8 NA; turbidez -50,2 NTU; cor - 1115 mg PT-co/L; alcalinidade total - 900; demanda bioquímica de oxigênio - 80 mg/L; demanda química de oxigênio - 112,1 mg/L; fósforo total - 0,628 mg/L; nitrito - 3,45 mg/L; nitrato - 21,2 mg/L; nitrogênio total - 222,6 mg/L; sólidos totais -

839 mg/L. No momento da amostragem a temperatura ambiente no local de coleta foi de 33,7°C e a temperatura da água de 25,6 °C.

A área em estudo é cultivada com a pastagem de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, que é uma gramínea forrageira perene de hábito de crescimento cespitoso, formando touceiras de até 1,0 m de diâmetro e perfilhos com altura de até 1,5 m. Apresentam rizomas horizontais curtos, duros, curvos, cobertos por escamas glabras de cor amarela a púrpura. Suas raízes são profundas, o que favorece sua sobrevivência durante períodos de seca prolongadas. Originário da África tropical, encontra-se amplamente distribuído na maioria dos cerrados tropicais e em áreas anteriormente sob vegetação de florestas da região amazônica.

Para a realização da amostragem, utilizou-se uma rede de 63 pontos georreferenciados, sendo a amostragem regular de cada ponto, composto por quatro subamostras de solo, coletadas em um raio de aproximadamente cinco metros ao redor do ponto principal. Foram distanciados entre si em aproximadamente 32 x 32 m, que mostraram regularidade de espaçamento, em razão do erro de medição das coordenadas pelo aparelho GPS Garmin. A área é representativa de pastagens sem aplicação de práticas de manejo, na região sul do Estado do Tocantins.

As amostras de solo para análise do sódio foram coletadas na camada de 0 - 20 cm de profundidade, as quais foram misturadas e guardadas em sacos plásticos, devidamente identificados e posteriormente transportadas para o Laboratório de Solos da Universidade Federal do Tocantins, localizado no município de Gurupi, TO. As amostras de solo após as coletas foram secas ao ar e peneiradas em peneira de malha de 2,0mm e então obtidas amostras de terra fina seca ao ar (TFSA), para posteriores análises. Nas amostras de solo, foi determinado o teor de sódio conforme metodologia descrita por Malavolta et al. (1997).

Os dados foram inicialmente avaliados por meio da estatística descritiva, tomando por base as seguintes medidas: média aritmética, mediana, moda, coeficiente de variação, desvio-padrão, variância, coeficientes de assimetria e de curtose. O teste W de Shapiro-Wilk foi utilizado para verificar se os dados apresentavam distribuição normal. Nas avaliações, utilizou-se o pacote estatístico SAS (1985).

Inicialmente foi realizado o ajuste visual do modelo selecionado à nuvem de pontos do semivariograma experimental, verificando assim se ocorria ou não continuidade espacial dos teores de sódio. Nesse estudo foram testados os modelos de semivariogramas: 1) esférico, $\gamma^*(h) = C_0 + C_1[1,5 (h/a) - 0,5 (h/a)^3]$ para $(0 < h < a)$ e $\gamma^*(h) = C_0 + C_1$ para $h \geq a$; 2) exponencial, $\gamma^*(h) = C_0 + C_1[1 - \exp(-3h/a)]$ para $(0 < h < d)$; e 3) gaussiano, $\gamma^*(h) = C_0 + C_1[1 - \exp(-3h^2/a^2)]$ para $(0 < h < d)$ em que d é a distância máxima na qual o semivariograma é definido. O ajuste dos semivariogramas possibilitou definir os valores do efeito pepita (C_0), do alcance (A) e do patamar ($C + C_0$) (Vieira, 2000). O efeito pepita é o valor da semivariância para a distância zero e representa o componente da variação ao acaso, o alcance é a distância

máxima até onde ocorre dependência espacial e o patamar é o valor da semivariância onde a curva se estabiliza sobre um valor constante. Os valores da semivariância experimental foram determinados pelo programa GS+ (ROBERTSON, 2008).

Posteriormente, a escolha do modelo ajustado dos semivariogramas foi realizada com base na menor soma do quadrado dos resíduos (SQR), no maior coeficiente de determinação (R^2) e maior grau de dependência espacial (GDE) onde a proporção dada pela equação:

$$GDE = \left[\frac{C}{C + C_0} \right] 100 \quad (2)$$

permite classificar o GDE em: dependência espacial fraca em $GDE \leq 25\%$, dependência espacial moderada quando $25\% < GDE \leq 75\%$ e dependência espacial forte em $GDE > 75\%$ (ROBERTSON, 2008).

Finalmente, a interpolação dos valores foi realizada por meio de krigagem ordinária, de modo a definir o padrão espacial do teor de sódio, o que permitiu a elaboração dos mapas de contorno, utilizando-se o software Surfer 8.0 (Golden Software, 2002) com o auxílio da equação:

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(x_i) \quad (3)$$

em que $Z^*(x_0)$ é o teor de sódio, λ_i é o peso da i -ésima localidade vizinha; $Z(x_i)$ é o valor da variável para a i -ésima localidade; e N é o número de localidades vizinhas empregadas para interpolação do ponto (Vieira, 2000). A criação dos mapas de contorno é importante para compreender a variabilidade espacial do teor de sódio, permitindo assim, aplicar práticas de manejo da pastagem que possam melhorar a distribuição da irrigação com água residual.

Os resultados obtidos foram submetidos à análise Geoestatística, com o objetivo de definir o modelo de variabilidade espacial do atributo do solo envolvidos nesse estudo, obtendo-se assim os semivariogramas e posteriormente mapeamento do atributo estudado. A análise da dependência espacial foi feita pela Geoestatística, com auxílio do software GS+ Versão 7 (ROBERTSON, 1998), que foi utilizado para obtenção dos semivariogramas e dos mapas de isolinhas do atributo estudado. Os dados foram interpolados por meio da técnica da krigagem, a qual utiliza os parâmetros do semivariograma.

Para o ajuste dos modelos matemáticos aos semivariogramas foi utilizado o método de validação "Jack-knifing", no qual serão analisados os valores de média e variância dos erros reduzidos, os quais foram considerados os modelos: esférico, exponencial, linear e gaussiano. Foi calculada a razão de dependência espacial (RD), que é a proporção em percentagem do efeito pepita (C_0) em relação ao patamar ($C_0 + C$), dada pela equação $RD = (C_0 / (C_0 + C)) 100$ que, de acordo com Cambardella et al. (1994), apresenta a seguinte proporção: (a)

dependência forte < 25 %; (b) dependência moderada de 25% a 75% e (c) dependência fraca > 75%.

Os semivariogramas foram ajustados ao modelo matemático de melhor correspondência. Após ajuste destes, pôde-se estimar valores para os locais não amostrados, com condições de não tendenciosidade e variância mínima, por meio da krigagem ordinária. Os programas computacionais, os procedimentos para construção e ajuste do modelo do semivariograma e a krigagem foram baseados em Vieira et al. (2002). Os mapas foram gerados no programa Surfer 8.0 (Golden Software, 2002).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve variabilidade espacial de salinidade por sódio na área irrigada com resíduo líquido de frigorífico, sob

pastagem de capim marandu. A análise variográfica indica que a variável sódio, causado pela salinidade do resíduo líquido, apresentam dependência espacial, com modelo matemático do semivariograma omnidirecionais ajustado ao modelo exponencial (Figura 2). Na figura C_0 representa o efeito pepita, $C_0 + C_1$ o patamar e A_0 o alcance do modelo. A salinidade por sódio representa uma estrutura de dependência espacial na área estudada com alcance de 19 m. O alcance indica a linha divisória entre a aplicação da Estatística Clássica (pode ser usada sem restrições para distâncias maiores que o alcance) ou da Geoestatística (para distâncias menores que o alcance das amostras são correlacionadas e podem ser utilizadas para interpolação dos locais não amostrados (VIEIRA, 2000). Assim, o valor do alcance deveria ser considerado em planos de amostragem (ZANÃO et al., 2010).

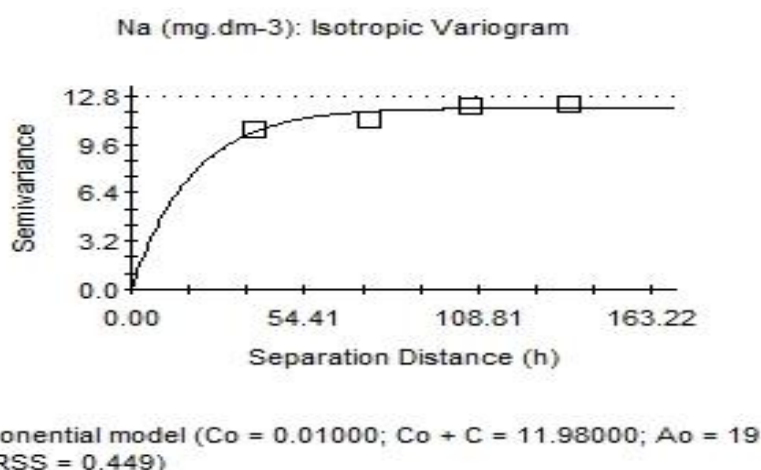


Figura 2- Semivariogramas isotrópicos experimentais e teóricos do teor de sódio no solo em pastagens de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, irrigadas com resíduo líquido bovino

Os semivariogramas do sódio se ajustaram ao modelo exponencial, sendo observado por vários autores, como modelo teórico comum aos atributos do solo e de plantas (CORRÊA et al., 2009; CHIBA et al., 2010). Nesse sentido, o grau de dependência espacial (GDE) apresentou classe forte, com 99,9% (Tabela 1). Maiores GDE indicam que se tem melhor estrutura espacial e que maior precisão pode ser obtida no mapeamento das propriedades estudadas usando-se técnicas de geoestatística como a krigagem ordinária (KRAVCHENKO et al., 2006) ou seja

os semivariogramas explicam a maior parte da variância dos dados experimentais.

Castrignano et al. (2000) sugerem que a forte dependência espacial das características do solo são atribuídas aos fatores intrínsecos tais como material de origem, clima, relevo, processos físicos, químicos e atividade biológica (componentes de formação do solo) e a dependência espacial moderada aos fatores extrínsecos como o manejo exercido pelas práticas agrícolas.

Tabela 1- Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas ajustados aos valores sódio do solo em pastagens de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, irrigadas com resíduo líquido bovino

Atributo	Modelo	Parâmetro						
		C_0 ¹	$C_0 + C$ ²	GDE ³ (%)	Classe	A ⁴ (m)	R^2 [*]	SQR ⁵
Na**	Exponencial	0,01	11,98	99,9	Alta	57,3	0,767	0,449

⁽¹⁾ C_0 : efeito pepita; ⁽²⁾ C_0+C : patamar; ⁽³⁾GDE: grau de dependência espacial; ⁽⁴⁾A: alcance; ⁽⁵⁾SQR: soma dos quadrados dos resíduos; ^(*) R^2 : coeficiente de determinação espacial; **Na (mg.dm⁻³).

O alcance de um atributo garante que todos os pontos dentro de um círculo com raio de igual valor são tão similares que podem ser usados para estimar valores para qualquer ponto entre eles (MACHADO et al., 2007). Além disso, os valores do alcance relativos aos semivariogramas têm importância considerável na determinação do limite da dependência espacial, podendo ser também indicativo do intervalo entre unidades de mapeamento (GREGO & VIEIRA, 2005).

Segundo Sandri et al (2009) o sódio foi o parâmetro químico que apresentou maior elevação de seu teor no solo e é um dos parâmetros que mais interfere no teor de sais no solo, como observado por Cerqueira et al. (2008), quando do uso de uso de águas residuárias tratadas na irrigação por gotejamento de *Heliconia psittacorum* e *Gladiolus hortulanus*, principalmente na camada superficial do solo.

Na Figura 3, pode ser observado o mapa das variáveis com valores estimados por krigagem agrupados, após a análise de dependência espacial verificada nos semivariogramas. O produto final da krigagem é a superfície interpolada de cada variável, que mostra sua

distribuição espacial. A partir dela é possível identificar a localização e a abrangência dos valores extremos (valores menores e maiores) em seu entorno, o grau de homogeneidade da área e as direções de maior gradiente.

A partir do modelo obtido, para os semivariogramas ajustados para variável em estudo, estimaram-se os valores das variáveis para locais não amostrados por meio do método de interpolação de krigagem Ordinária. Assim, com os valores estimados foi possível construir mapas de isolinhas que expressam a variabilidade das características avaliadas em função da área com irrigação com resíduo líquido bovino. As superfícies de krigagem ilustram os padrões gerais dos semivariogramas discutidos permitindo visualizar os arranjos da distribuição espacial do sódio investigado no presente estudo.

Os ajustes dos semivariogramas na área apresentou médio coeficiente de determinação (R^2). O que indica que há média correlação espacial entre os pontos amostrados. Dessa forma, pontos de amostragem menores que 32 m podem melhorar o ajuste e a confiabilidade dos semivariogramas na área da pastagem de capim-Marandu irrigadas com resíduo líquido bovino (Figura 3).

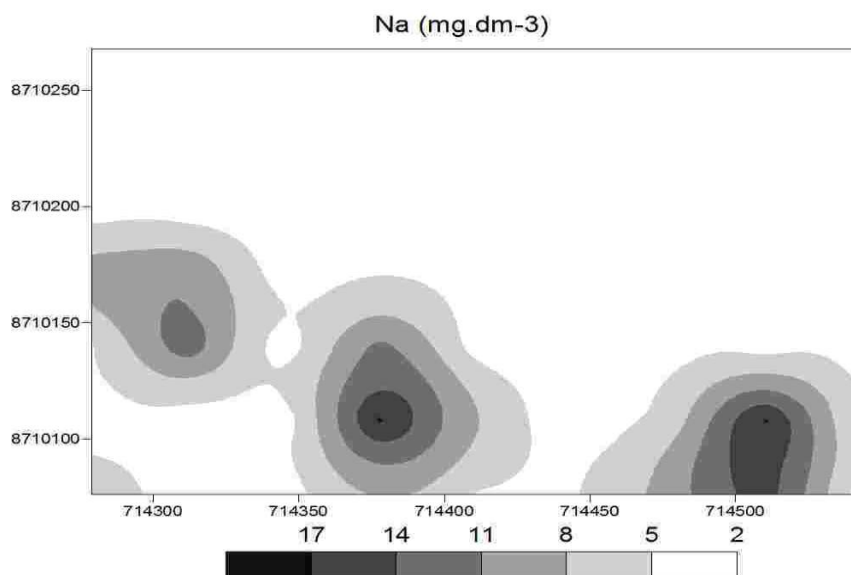


Figura 3- Mapas de contorno da distribuição espacial do sódio no solo em pastagens de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, irrigadas com resíduo líquido bovino.

Vale ressaltar que de acordo com Feng et al. (2004) a geoestatística permite caracterizar e quantificar a variabilidade espacial, desenvolver interpolação racional e estimar a variância dos valores interpolados. No entanto, a eficiência dos estudos em agricultura de precisão depende do mapeamento preciso das propriedades observadas (KRAVCHENKO, 2003).

Os mapas confeccionados permitem identificar unidades de aplicação diferentes quanto à presença do sódio de acordo com as áreas de irrigação. Essa regionalização surge como ferramenta auxiliar para definir zonas homogêneas de aplicação o que facilita o monitoramento de diferentes áreas em função da real situação da pastagem permitindo assim o manejo

adequado da irrigação com resíduo líquido bovino na pastagem (SALTON & CARVALHO, 2007).

Diante disso, práticas de manejo tais como definição correta das datas e das lâminas de água a serem aplicadas, definição das metas de eficiência de aplicação da água para o sistema, e ajuste do funcionamento deste para atingir esses limites, manutenção preventiva e corretiva dos equipamentos e sistemas, para que tenham condições adequadas de funcionamento, devem ser adotadas na área de aplicação do resíduo. A uniformidade de distribuição e o controle da aplicação da água são os dois maiores pré-requisitos técnicos para uma boa irrigação. Observa-se, de forma geral, que a falta de controle adequado dos sistemas de irrigação implica em distribuições de água com baixa uniformidade, abaixo do potencial do sistema, indicando

que o desempenho do sistema não depende somente da qualidade do projeto e dos materiais, mas também da ocorrência de entupimentos, da operação e da manutenção (RIBEIRO et al., 2003;).

Essas medidas além de elevar a produção da gramínea também minimizam a variabilidade espacial da produtividade da pastagem e do teor de sódio o que evita a formação de locais onde as plantas apresentam maior vigor de rebrota o que ocasiona a formação de manchas que serão preferencialmente selecionadas pelos animais. Resultando assim, em superpastejo que têm como consequência a menor oferta de forragem e menor cobertura do solo o que causa perda gradual da sustentabilidade do sistema.

CONCLUSÃO

A análise espacial do sódio no solo permite identificar áreas onde há maiores deposições de salinidade, sendo necessárias mudanças no manejo da irrigação de forma a utilizar toda a área.

Em áreas de pastagens de capim-Marandu a grade de 32 x 32m é relativamente eficiente para quantificar, descrever e mapear a variabilidade espacial da variável sódio tendo em vista, valor médio de coeficientes de determinação (R^2).

O teor de sódio da pastagem apresentou variabilidade espacial definida permitindo assim seu mapeamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. A qualidade da água na agricultura. Campina Grande: UFPb, 1999. 153p.
- BONFIM, E.R.P.; PINTO, J.C.; SALVADOR, N.; MORAIS, A.R. DE; ANDRADE, I.F. DE; ALMEIDA, O.C. DE. Efeito do tratamento físico associado à adubação em pastagem degradada de braquiária, nos teores de proteína bruta, fibra em detergente neutro e fibra em detergente ácido. *Ciência e Agrotecnologia*, v.27, p.912-920, 2003.
- CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa Soils. *Soil Science Society of American Journal*, Madison, v.58, n.5, p.1501-11, 1994.
- CARVALHO, M. P.; TAKEDA, E. Y.; FREDDI, O. S. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em Vitória Brasil (SP). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, n.4, p.695-703, 2003.
- CARVALHO, O.S. Variabilidad espacial y temporal de la matéria orgânica em um typic xerofluent sometido a distintos sucessionen de cultivo. Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agronomia da Universidade Politécnica de Madrid, 1996.140p. (Tese de Doutorado).
- Castrignanò, A.; Giugliarini, L.; Risaliti, R.; Martinelli, N. chemical properties of a field in central Italy using multivariate geostatistics. *Geoderma*, v. 97, n. 2, p. 39-60, 2000.
- CHIBA, M. K.; GUEDES FILHO, O.; VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial e temporal de plantas daninhas em Latossolo Vermelho argiloso sob semeadura direta. *Acta Scientiarum. Agronomy*, Maringa, v. 32, n. 4, 735-742. 2010.
- CORRÊA, A. N.; TAVARES, M. H. F.; URIBE-OPAZO, M. A. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo e seus efeitos sobre a produtividade do trigo. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 30, n. 1, p. 81-94, 2009.
- DIAS-FILHO, M. B. Sistemas silvipastoris na recuperação de pastagens degradadas. *Embrapa Amazônia Oriental*, 2006. 31p.
- DIAS FILHO, M.B. degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação. 4.ed. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2011. 215p.
- EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, DF: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 412 p., 2006.
- ERTHAL, V.J.T.; FERREIRA, P.A.; PEREIRA, O.G.; MATOS, A.T. Características fisiológicas, nutricionais e rendimento de forrageiras fertigadas com água residuária de bovinocultura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* v.14, n.5, p.458-466, 2010.
- FENG, Q.; LIU, Y.; Mikami, M. Geostatistical analysis of soil moisture variability in grassland. *Journal of Arid Environments*, v. 58, n. 3, p. 357-372, 2004.
- FONSECA, A. F.; MELFI, A. J.; MONTEIRO, F. A.; MONTES, C. R.; ALMEIDA, V. V.; HERPIN, U. Treated sewage effluent as a source of water and nitrogen for Tifton 85 bermudagrass. *Agricultural Water Management*, v.87, p.328-336, 2007.
- FREIRE, M. B. G. S.; RUIZ, H. A.; RIBEIRO, M. R.; FERREIRA, P. A.; ALVAREZ, V. H.; FREIRE, F. J. Condutividade hidráulica de solos de Pernambuco em resposta à condutividade elétrica e RAS da água de irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7, n.1, p.45-52, 2003.
- GOLDEN SOFTWARE. Surfer for Windows version 8.0. Colorado: Golden, 2002.
- GONÇALVES, A.C.A. FOLEGATTI, M.V., MATA, J. D.V., Análises exploratória e geoestatística da variabilidade de propriedades físicas de um Argissolo Vermelho. *Acta Scientiarum*. Maringá, v. 23, n. 5, p. 1149-1157, 2001.

- GRATTAN, S. R.; GRIEVE, C. M.; POSS, J. A.; ROBINSON, P. H.; SUAREZ, D. L.; BENES, S. E. Evaluation of salt-tolerant forages for sequential water reuse systems. I. Biomass production. *Agri-cultural Water Management*, v.70, p.109-120, 2004.
- GREGO, C. R.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 29, n. 2, p. 169-177, 2005.
- KÖPPEN, W. M. *Climatologia: con un studio de los climas de la tierra*. México: Fondo de Cultura Económica, 1948. 478 p.
- KRAVCHENKO, A. N.; ROBERTSON, G. P.; SNAP, S. S.; SMUCKER, A.J.M. Using information about spatial variability to improve estimates of total soil carbon. *Agronomy Journal*, v. 98, n. 3, p. 823-829, 2006.
- KRAVCHENKO, A. N. Influence of spatial structure on accuracy of interpolation methods. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 67, n. 5, p. 1564-1571, 2003.
- MACHADO, L. O.; LANA, A. M. Q.; LANA, R. M. Q.; GUIMARÃES, E. C.; FERREIRA, C. V. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em áreas sob sistema plantio convencional. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 591-599, 2007.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 201p.
- MATOS, A. T. Tratamento de resíduos na pós-colheita do café. In: Borém, F. M. (Org.). Pós-colheita do café. 1.ed. Lavras-MG: UFLA, 2008. Cap. 6, p.159-201.
- MATOS, A. T.; PINTO, A. B.; PEREIRA, O. G.; SOARES, A. A.; LO MO-NACO, P.A. Produtividade de forrageiras utilizadas em rampas de tratamento de águas residuárias da lavagem e despolpa dos frutos do cafeeiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7, n.1, p.154-158, 2003.
- MOHAMMAD, M. J.; AYADI, M. Forage yield and nutrient uptake as influenced by secondary treated wastewater. *Journal of Plant Nutrition*, v.27, p.351-364, 2004.
- RIBEIRO, M.R.; FREIRE, F.J.; MONTENEGRO, A.A.A. Solos holomórficos no Brasil: ocorrência, gênese, classificação, uso e manejo sustentável. In: URI, N.; MARQUES, (Ed.). *Tópicos em Ciência do Solo*. Viçosa – MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v. 3, cap.4, p.165-208.
- ROBERTSON, G. P. *GS+: geostatistics for the environmental sciences – GS+ User’s guide*. Plainwell: Gamma Design Software, 2008. 152 p.
- SANDRI, D.; MATSURA, E. E.; TESTEZLAF, R. Alteração química do solo irrigado por aspersão e gotejamento subterrâneo e superficial com água residuária. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* v.13, n.6, p.755–764, 2009.
- SALTON, J. C.; CARVALHO, P. C. F. Heterogeneidade da pastagem – causas e consequências. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste. Doc. 91. 2007. 41p.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal*. 3ª ed. Porto Alegre: Artmed. 2004. 719p.
- VIDAL-VÁZQUEZ, E.; PAZ-FERREIRO, J.; VIEIRA, S.R.; TOPP, G.C.; MIRANDA, J.G.V.; PAZ GONZALEZ, A. Fractal description of the spatial and temporal variability of soil water content across an agricultural field. *Soil Science*, v.177, p.131-138, 2012.
- VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: UFV - Universidade Federal de Viçosa. *Tópicos em Ciências do Solo*. Viçosa: SBCS, 2000.
- VIEIRA, S.R.; MILLETE, J.A.; TOPP, G.C.; REYNOLDS, W.D. Handbook for geostatistical analysis of variability in soil and meteorological parameters. In: ALVAREZ V.V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; Barros, N.F. de; Mello, J.W.V. de; Costa, L.M. da. (Ed.). *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v.2, p.145.
- VITÓRIA, E.L.; FERNANDES, H.C.; TEIXEIRA, M.M.; CECON, P.R.; LACERDA, E.G. Correlação linear e espacial entre produtividade de brachiaria brizantha, densidade do solo e porosidade total em função do sistema de manejo do solo. *Eng. Agríc., Jaboticabal*, v.32, n.5, p.909-919, 2012.
- ZANÃO JÚNIOR, L.A.; LANA, R.M.Q.; GUIMARÃES, E.C.; PEREIRA, J.M.A. Variabilidade espacial dos teores de macronutrientes em latossolos sob sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, n.2, p.389-400, 2010.