

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO – UFRPE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA – PPGEA

RENATO AUGUSTO SOARES RODRIGUES

**GEOESTATÍSTICA DE ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO
CULTIVADO COM MILHO IRRIGADO POR GOTEJAMENTO NO
SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO**

RECIFE - PE
FEVEREIRO/2016



RENATO AUGUSTO SOARES RODRIGUES



**GEOESTATÍSTICA DE ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DE UM
NEOSSOLO FLÚVICO CULTIVADO COM MILHO IRRIGADO POR
GOTEJAMENTO NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Orientador: Prof. Dr. Abelardo Antônio de Assunção Montenegro

RECIFE - PE
FEVEREIRO/2016

Ficha catalográfica

R696g Rodrigues, Renato Augusto Soares
Geoestatística de atributos físicos e químicos do solo cultivado
com milho irrigado por gotejamento no semiárido pernambucano /
Renato Augusto Soares Rodrigues. – Recife, 2016.
111 f. : il.

Orientador: Abelardo Antônio de Assunção Montenegro.
Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) –
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de
Engenharia Agrícola, Recife, 2016.
Referências.

1. Variabilidade espacial 2. Dependência espacial
3. Estabilidade temporal 4. Neossolo Flúvico 5. Vale aluvial
I. Montenegro, Abelardo Antônio de Assunção, orientador
II. Título

CDD 630

**GEOESTATÍSTICA DE ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO
CULTIVADO COM MILHO IRRIGADO POR GOTEJAMENTO NO
SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO**

RENATO AUGUSTO SOARES RODRIGUES

Dissertação defendida e aprovada em 23 de Fevereiro de 2016 pela Banca Examinadora:

Orientador:

Abelardo Antônio de Assunção Montenegro, Prof. Dr
DEAGRI/UFRPE

Examinadores:

José Nildo Tabosa, Dr
IPA

Alex Souza Moraes, Prof. Dr
UACSA/UFRPE

Edivan Rodrigues de Souza, Prof. Dr
DEPA/UFRPE

“Tudo posso naquele que me fortalece”

Filipenses 4:13

“Às vezes a felicidade demora a chegar
Aí é que a gente não pode deixar de sonhar
Guerreiro não foge da luta e não pode correr
Ninguém vai poder atrasar quem nasceu pra vencer
(...)”

Erga essa cabeça mete o pé e vai na fé
Manda essa tristeza embora
Basta acreditar que um novo dia vai raiar
Sua hora vai chegar.”

(Tá Escrito - Grupo Revelação)

“Deus é o dono de tudo,
Devo a Ele a oportunidade que tive de chegar aonde cheguei,
Muitas pessoas têm essa capacidade, mas não têm essa oportunidade,
Ele a deu para mim, não sei por quê,
Sei que não posso desperdiçá-la.”

Ayrton Senna

“A Deus e Nossa senhora de Nazaré, minhas forças, espirituais nos momentos de maiores dificuldades.

Aos meus Pais, **Raul e Rosimery**, pela confiança depositada, pelo exemplo e apoio, amor, carinho, conselhos, força e dedicação, em todos os momentos, estiveram ao meu lado, sendo fundamentais para que esse sonho se realizasse.”

Dedico

“Aos meus irmãos **Raul e Renan**, por todo o amor, carinho, incentivo, exemplo e amizade.

Ao meu tio e Padrinho **Manoel Caetano Rodrigues (Tio Lito)** *in memoriam*, grande incentivador dessa etapa da minha vida, que partiu antes mesmo de vê-la concluída, mas que está presente em minha memória.”

Ofereço

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a **Deus e a nossa senhora de Nazaré** pelo dom da vida, por sempre iluminar meus caminhos e guiar em busca dos meus sonhos, sendo minha fortaleza espiritual, onde muitas vezes busquei força e sabedoria para seguir em frente.

Aos meus Pais, **Raul e Rosimery**, maiores incentivadores dos meus estudos, que nunca mediram esforços para que eu alcançasse os meus objetivos, são os maiores exemplos de amor, carinho e dedicação sem os quais eu não teria conseguido.

Aos meus melhores amigos, meus irmãos **Raul e Renan**, sempre representaram na minha vida o gesto mais sincero de amor, carinho, respeito e fraternidade.

As minhas avós Anna Nazareth *in memoriam* (**Vovó Santa**) e **Ondina (Vovó Dina)**, por serem a maior personificação da palavra amor, que uma pessoa poderia ter.

A minha amiga, parceira, companheira, dupla, **Tamires Borges**, que desde a graduação esteve ao meu lado, me incentivando, ajudando, me dando força e construindo junto comigo esse sonho de realizar o mestrado, sempre com muito companheirismo.

Aos meus Tios, Tias, Primos e Primas por toda amizade, carinho e incentivo.

Aos Tios **Cacá e Elianne** e aos primos **Matheus e Igor**, por toda receptividade, compreensão, carinho e amizade demonstradas, sendo a verdadeira representação da minha família aqui em Recife.

A equipe do Laboratório de Hidráulica, Irrigação e Drenagem da Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA, em especial ao **Professor Dr. Rodrigo Otávio Rodrigues de Melo Souza**, que fez despertar o interesse pela Irrigação, sendo grande incentivador na busca pelo conhecimento. Aos estagiários e amigos de trabalho no laboratório **Luís, Paulo, Alexandre e Scaramussa**.

Ao meu amigo **Luiz Henrique** que me recebeu em Recife, com toda a sua amizade e alegria, pelos momentos de descontração e também nas dificuldades se mostrando sempre um grande amigo.

Aos meus comapnheiros de apartamento **Júnior, Iolanda e Graciano** o meu eterno sentimento de gratidão.

A **Universidade Federal Rural de Pernambuco** pela oportunidade e toda estrutura disponibilizada para a realização dos estudos.

Ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, na pessoa dos seus Coordenadores Professores **Mário Rolim** e **Ênio Silva** pela oportunidade oferecida da realização do mestrado.

Agradeço em especial ao meu Orientador Professor **Abelardo Montenegro** pela oportunidade, incentivo, motivação, confiança depositada, pelo exemplo a ser seguido e orientação durante o processo construtivo dessa Dissertação, tornando as experiências em momentos ímpares e mostrando que o ótimo é inimigo do bom, sendo mais que orientador, se tornou um Amigo.

A **CAPES/CNPq**, pela bolsa concedida durante o curso.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola: **Elvira, Ênio, Manassés, João Audifax, Edivan, Abelardo, Gerônimo e Ceres**, por todos os ensinamentos que fizeram parte da minha formação.

Ao secretário **Manoel** por toda dedicação e amizade, sempre atencioso e empenhado em ajudar e colaborar.

A todos que fazem parte do Laboratório de Água e Solo (LAS) que de alguma forma participaram, tornaram-se grandes amigos, pelo convívio, viagens, participação em congressos, trabalhos de campo e em laboratório. Pelos momentos de companheirismo, troca de experiências, estresse, aprendizado e descontração: **Profº Abelardo Montenegro, Adriana Guedes, Adriano Normandia, Adriel Coutinho, Ana Carla, Ana Karolina, Profª Ana Marinho, Bruna Vidal, Carolyne Andrade, Carollyna Fragoso, Célia Silva, Cleene Agostinho, Daniella Pereira, Diego Araújo, Fred Mikhail, João Loreto, José Roberto, Liliane Pinheiro, Maria Carolina, Mariana Lima, Myrta Stherphanny, Raíssa Antunes, Roberta Queiroz, Robertson Fontes Júnior, Thayná Almeida, Sonny Mateus, Valdemir Junior e Vânia Israel.**

Agradeço em especial a minha “estagiária/orientada” **Thayná Almeida**, pela assiduidade, comprometimento, foco, motivação e determinação, sendo fundamental nas etapas de campo e análises de laboratório.

Ao meu companheiro de viagens **César** pelo convívio durante o experimento, companheirismo, troca de experiências, aprendizagens e descontração, se tornando um grande amigo.

Ao Técnico de campo **Thiago** por todo empenho, apoio e comprometimento durante o experimento de campo sendo uma pessoa fundamental na realização desta etapa.

Ao produtor e técnico de campo **Vivaldo** pela disponibilidade da área experimental e por todo apoio necessário nas atividades de campo.

Àos amigos da minha turma de mestrado em Engenharia Agrícola: **Sisgo, Diego, Eulâmpio, Pedro Francisco, Sávio, Rodrigo, Carolina e Denize** pelos momentos de alegria, descontração e principalmente aprendizagem.

Ao meu irmão costa-riquenho **Sisgo**, grande amigo com quem tive a grande satisfação de compartilhar momentos de estudo, descontração e amizade.

Aos amigos e colegas de pós-graduação pelos momentos descontração, aprendizado e confraternização.

Agradeço em especial aos amigos: **Anna Hozana, Douglas, Diego, Fábio, Gébson, Jairo, Jhon Lennon, Luiz, Miguel, Péricles, Pedro Henrique, Zé Eduardo, Zé Neto.**

As **turmas da graduação** em que tive a oportunidade exercer a docência, experiência de grande importância para o aprendizado.

A **galera do futebol** pelos momentos de descontração.

E a todos que de alguma forma fizeram parte dessa etapa de grande importância em minha vida!

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS.....	iii
RESUMO GERAL	iv
GENERAL ABSTRACT.....	v
OBJETIVOS	6
Geral	6
Específicos.....	6
INTRODUÇÃO GERAL	7
Variabilidade espacial	7
Estabilidade temporal	8
Umidade do solo.....	10
Textura do solo.....	12
Salinidade do solo.....	15
Carbono e matéria Orgânica do Solo.....	17
Temperatura do solo.....	19
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	21
CAPÍTULO I - Variabilidade espaço-temporal da umidade do solo em um cultivo de milho irrigado por gotejamento em Neossolo Flúvico.	35
RESUMO	36
ABSTRACT	37
INTRODUÇÃO.....	38
MATERIAL E MÉTODOS.....	41
RESULTADO E DISCUSSÃO.....	50
CONCLUSÕES.....	62
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63

CAPÍTULO II - Variabilidade espacial de atributos físicos e químicos do solo em um cultivo de milho irrigado por gotejamento em Neossolo Flúvico.	70
RESUMO	71
ABSTRACT	72
INTRODUÇÃO.....	73
MATERIAL E MÉTODOS.....	75
RESULTADOS E DISCUSSÃO	80
CONCLUSÕES	91
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	92
CONSIDERAÇÕES FINAIS	99

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

- Figura 1.** Localização do assentamento Nossa Senhora do Rosário, município de pesqueira, estado de Pernambuco, Brasil. 41
- Figura 2.** Curva de retenção de água no solo..... 42
- Figura 3.** Valores da evapotranspiração de referência (ET_o) e da precipitação durante o ciclo da cultura..... 43
- Figura 4.** Localização dos pontos de amostragem na área experimental para variável umidade volumétrica do solo (%). 45
- Figura 5.** Curvas de calibração dos sensores de umidade falker: Relação Umidade Volumétrica (cm³ cm⁻³) x Umidade Percentual (%) (a); relação entre umidade percentual calculada (%) x Umidade percentual medida (%) (b). 47
- Figura 6.** Gráfico "Box-Plot" para a umidade volumétrica do solo (%) nos 12 instantes de medição..... 53
- Figura 7.** Semivariogramas ajustados para a variável umidade volumétrica do solo (%) na profundidade 0,00–0,20 m. 54
- Figura 8.** Semivariogramas ajustados para a variável umidade volumétrica do solo (%) na profundidade 0,00–0,20 m. 55
- Figura 9.** Mapa de isolinhas ajustados para a variável umidade volumétrica do solo (%). 56
- Figura 10.** Mapa de isolinhas ajustados para a variável umidade volumétrica do solo (%). 57
- Figura 11.** Diferença relativa média intertemporal e desvio padrão para a umidade volumétrica do solo (%), na profundidade de 0,20 m. Valores em destaque indicam os pontos que devem ser adotados para medidas representativas da umidade média do solo. 60
- Figura 12.** Comparação entre os valores médios de umidade volumétrica do solo (%) e as umidades volumétricas do solo (%) nas posições com estabilidade temporal nos 12 instantes de amostragem. 61

CAPÍTULO II

- Figura 1.** Localização do assentamento Nossa Senhora do Rosário, município de pesqueira, estado de Pernambuco, Brasil. 75
- Figura 2.** Localização dos pontos de amostragem na área experimental, onde foram realizadas as coletas de solo para as análises químicas, físicas e da temperatura do solo. 77
- Figura 3.** Gráficos "Box-Plot" para as variáveis químicas e físicas do solo. 82
- Figura 4.** Semivariogramas ajustados para as variáveis frações granulométricas do solo (g kg^{-1}). 84
- Figura 5.** Mapas de isolinhas ajustados para as variáveis frações granulométricas do solo (g kg^{-1}). 85
- Figura 6.** Semivariograma e Mapa de isolinhas ajustados para a variável condutividade elétrica do solo (dS m^{-1}). 86
- Figura 7.** Semivariogramas ajustados para as variáveis carbono orgânico do solo (g kg^{-1}) e matéria orgânica do solo (g kg^{-1}). 87
- Figura 8.** Mapas de Isolinhas ajustados para as variáveis carbono orgânico do solo (g kg^{-1}) e matéria orgânica do solo (g kg^{-1}). 87
- Figura 9.** Semivariogramas ajustados para a variável temperatura do solo ($^{\circ}\text{C}$), sendo: Temperatura do solo ($^{\circ}\text{C}$) no instante de medição 1; Temperatura do solo ($^{\circ}\text{C}$) no instante de medição 2; Temperatura do solo no instante de medição 3 (c). 88
- Figura 10.** Mapas de isolinhas ajustados para a variável temperatura do solo ($^{\circ}\text{C}$), sendo: Temperatura do solo ($^{\circ}\text{C}$) no instante de medição 1 (a); Temperatura do solo ($^{\circ}\text{C}$) no instante de medição 2 (b); Temperatura do solo ($^{\circ}\text{C}$) no instante de medição 3 (c). 89

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

- Tabela 1.** Características Físicas do solo do lote irrigado onde o trabalho foi desenvolvido, Pesqueira, Pernambuco, Brasil, 2015..... 42
- Tabela 2.** Coeficiente de cultura (Kc) do milho, recomendado por Allen et al. (1998). 44
- Tabela 3.** Estatística descritiva para os dados de umidade do solo (%) durante o ciclo do milho, na profundidade de 0,20 m..... 51
- Tabela 4.** Parâmetros do semivariograma, para umidade do solo (%) na profundidade de 0,20 m. 53
- Tabela 5.** Coeficientes de correlação da umidade do solo (%) entre os instantes de monitoramento na profundidade de 0,20 m. Todas as comparações foram significativas a $p < 0,05$ 58

CAPÍTULO II

- Tabela 1.** Características Físicas do solo do lote irrigado onde o trabalho foi desenvolvido, Pesqueira, Pernambuco, Brasil, 2015..... 76
- Tabela 2.** Estatística descritiva para os parâmetros químicos e físicos do solo, na profundidade de 0,20 m. 80
- Tabela 3.** Parâmetros do semivariograma, para os atributos químicos e físicos do solo na profundidade de 0,20 m. 83

RESUMO GERAL

A umidade do solo apresenta uma variabilidade nos domínios espacial e temporal, levando a incertezas críticas para o manejo agrícola da água. A geoestatística possibilita realizar uma descrição quantitativa da variabilidade espacial, contribuindo para o manejo adequado de água e solo. Estudos que enfocam a variabilidade espacial de propriedades físicas e químicas de solos têm grande relevância na literatura, principalmente como subsídio para o manejo racional de água e solo em perímetros irrigados. Com objetivo de avaliar a variabilidade espacial de atributos químicos e físicos do solo, realizou-se um experimento no município de Pesqueira, região Agreste de Pernambuco, durante um cultivo de Milho (*Zea mays* L.), irrigado por gotejamento, utilizando água moderadamente salina, oriunda de um poço amazonas. O experimento foi realizado no período de 30 de março de 2015 a 22 de Junho de 2015, em uma área com malha espaçada de 5 m x 5 m, formando um “grid” 20 m x 25 m, totalizando 30 pontos amostrais. Os dados foram avaliados adotando-se métodos de estatística descritiva, geoestatística e estabilidade temporal utilizando a diferença relativa e a correlação de Spearman. A umidade volumétrica do solo foi monitorada na camada de 0,00-0,20 m utilizando-se o sensor HFM 2010. Verificou-se através dos semivariogramas, dependência espacial da umidade do solo com melhor ajuste aos modelos exponencial e gaussiano. Os graus de dependência espacial apresentaram-se moderado e alto. Através dos mapas de isolinhas, observam-se pontos em que a umidade encontra-se abaixo da ideal, sendo necessário um manejo diferenciado para essas áreas a fim de garantir o suprimento de água ideal para a cultura. Os valores do teste da correlação de Spearman, encontrados mantiveram-se altos durante todo o experimento indicando dependência temporal ao longo de todo o estudo. Através da técnica da diferença relativa foi possível identificar um ponto que representa a média da umidade do solo com alto grau de confiabilidade, sendo este recomendado para o monitoramento da umidade do solo para fins de manejo da irrigação na área. O modelo que melhor se ajustou para as variáveis Argila, Areia, condutividade elétrica, Carbono e Matéria Orgânica foi o exponencial, enquanto que para o Silte o modelo que melhor se ajustou foi o gaussiano. Há uma relação entre a distribuição espacial da argila com os teores de condutividade elétrica, carbono orgânico e matéria orgânica do solo, sendo encontrados os maiores teores desses atributos nas mesmas regiões. A textura do solo apresentou influências significativas na temperatura do solo. De modo que os pontos amostrados que apresentaram maior teor de areia apresentaram maiores amplitudes térmicas diárias nas camadas superficiais. Através dos mapas de isolinhas é possível identificar regiões onde se faz necessário adotar a prática de aplicação de lâminas de lixiviação. Quanto aos teores de carbono e a matéria orgânica o solo foi classificado com médio teor de matéria orgânica, sendo necessária a incorporação de matéria orgânica no solo em regiões com baixos teores desses atributos.

Palavras-chave: Variabilidade espacial; dependência espacial; estabilidade temporal; Neossolo Flúvico; vale aluvial.

GENERAL ABSTRACT

Soil moisture has a variability in the spatial and temporal domains, leading to uncertainties critical for agricultural water management. The geostatistics allows performing a quantitative description of spatial variability, contributing to the proper management of water and soil. Studies that focus on the spatial variability of physical and chemical properties of soils have great relevance in the literature, mainly as a subsidy for the rational management of water and soil in irrigated perimeters. In order to evaluate the spatial variability of chemical and physical properties of the soil, conducted an experiment in the municipality of Pesqueira, Agreste region of Pernambuco, over a corn crop (*Zea mays* L.), drip irrigation, using moderately saline water, originating from a well Amazons. The experiment was conducted from 30 March 2015 to 22 June 2015, in an area with spaced mesh of 5 m x 5 m, forming a "grid" 20 m x 25 m, totaling 30 sampling points. The data were evaluated by adopting methods of descriptive statistics, geostatistics and temporal stability using the relative difference and the Spearman correlation. The volumetric Soil moisture was monitored in the layer of 0.00 to 0.20 m using the HFM 2010 sensor. It was found through the semivariogram, spatial dependence of soil moisture with best fit to exponential models and Gaussian. The degrees of spatial dependence showed up moderate and high. Through the contour maps, there are points where the humidity is below the ideal, requiring different management for these areas in order to ensure optimal water supply for the crop. The values of Spearman correlation test found remained high throughout the experiment indicating time dependence throughout the study. Through the relative difference technique it was possible to identify a point that represents the average soil moisture with high reliability, which is recommended for monitoring soil moisture for irrigation management purposes in the area. The model that best fits to the variables clay, sand, electrical conductivity, carbon and organic matter was exponential, while for the Silt the model that best fit was the gaussian. There is a relationship between the spatial distribution of clay with electrical conductivity levels, organic carbon and soil organic matter, and found the highest levels of these attributes in the same regions. Soil texture has significant influences on soil temperature. So that the sampled points that showed higher sand content had higher daily temperature variations in the surface layers. Through the contour maps can identify areas where it is necessary to adopt the practice of application of leaching depths. As for carbon content and organic matter the soil was rated average content of organic matter, requiring the incorporation of organic matter in the soil in regions with low levels of these attributes.

Keywords: Spatial variability; spatial dependence; temporal stability; Fluvisol; Alluvial Valley.

OBJETIVOS

Geral

Avaliar a variabilidade espaço-temporal de parâmetros físicos e químicos do solo e em um cultivo de milho (*Zea mays* L.), irrigado por gotejamento com água moderadamente salina, em Neossolo Flúvico de um vale aluvial, no semiárido pernambucano.

Específicos

- Avaliar a variabilidade espacial de atributos físicos e químicos do solo utilizando técnicas geoestatísticas;
- Determinar a dependência espacial de atributos físicos e químicos do solo utilizando técnicas geoestatísticas;
- Avaliar, através de mapas de isolinhas, a distribuição espacial de atributos físicos e químicos do solo utilizando técnicas geoestatísticas;
- Avaliar, através da técnica da estabilidade temporal, a existência de pontos estáveis da umidade volumétrica do solo, buscando identificar pontos representativos do comportamento médio da umidade do solo na área de estudo.

INTRODUÇÃO GERAL

Variabilidade espacial

A Geoestatística teve as suas primeiras aplicações em mineração, surgiu quando Krige em 1951, na África do Sul, trabalhando com dados de concentração de ouro observou que não conseguia encontrar sentido nas variâncias sem considerar a distância entre os pontos amostrados (BLAIS e CARLIER, 1968; VIEIRA, 2000).

A teoria das variáveis regionalizadas foi desenvolvida pelo matemático Georges François Paul Marie Matheron (MATHERON, 1963; MATHERON, 1971), e desde então é considerada a fundamentação teórica e a orientação matemática da geoestatística. Nesse estudo, Matheron (1963) define Variável Regionalizada como uma função espacial numérica, que varia de um local para outro, com uma continuidade aparente e cuja variação não pode ser representada por uma função matemática simples, mas sim por um semivariograma e a semivariância como a medida estatística básica, por meio da qual é mensurada a taxa de mudança da variável regionalizada ao longo de uma orientação específica do espaço (CARVALHO e VIEIRA, 2001; DAVIS, 2002; ABREU et al., 2003).

Segundo essa teoria, a diferença nos valores de uma dada variável tomados em dois pontos no campo depende da distância entre eles (VIEIRA, 1995). Com isso, a diferença entre os valores do atributo tomados em dois pontos mais próximos no espaço deve ser menor do que a diferença entre valores tomados em dois pontos mais distantes. Logo, cada valor carrega consigo uma forte interferência dos valores de sua vizinhança, elucidando uma continuidade espacial (ISAAKS e SRIVASTAVA, 1989).

Faraco et al. (2008) explicam que a geoestatística está baseada no estudo de uma função espacial numérica variando de um local para outro continuamente e seus valores são relacionados com a sua posição espacial, permitindo a estimativa de uma determinada variável em locais não amostrados e a aplicação em mapeamentos, planejamentos de amostragens e modelagens (GOMES et al., 2007).

Mesmo com o avanço nos estudos geoestatísticos e inúmeros aperfeiçoamentos das suas técnicas, os estudos iniciados por Matheron (1963) ainda são a teoria base da técnica atual. Nos estudos atuais a geoestatística expandiu sua aplicabilidade para outras áreas, entre elas tem destaque: engenharia de petróleo, hidrologia, meteorologia, cartografia, agricultura de precisão, engenharia florestal e ciência do solo (WEBSTER e OLIVER, 2007; YAMAMOTO e LANDIM, 2013).

A diferença de comportamento espacial de um determinado atributo do solo, como a umidade, por exemplo, entre um ponto e a mesma característica em outro ponto dá-se o nome de variabilidade espacial, e pode ocorrer até mesmo em pequenas distâncias, como verificado por Souza et al. (2008) que encontraram variabilidade na umidade do solo em malha regular com espaçamentos 5 m × 5 m.

O solo apresenta heterogeneidade e sua variabilidade espacial, horizontal e vertical, é dependente dos fatores de formação e ao manejo o qual este vem sendo submetido (SOUZA et al., 2001). A heterogeneidade é uma característica peculiar dos solos, porém o cultivo acarreta alterações dos seus padrões, aumentando a variabilidade dos seus atributos (SANTOS et al., 2006). Desta forma, conhecer a variabilidade dos atributos do solo, no espaço, pode ser considerado, o princípio básico para o manejo localizado das áreas agrícolas, qualquer que seja sua escala (GREGO e VIEIRA, 2005).

Simões et al. (2006) destacam que, é importante estudar a variabilidade espacial dos atributos do solo, uma vez que estes tem grande influência no crescimento e desenvolvimento das culturas. Desta maneira, a avaliação da variabilidade espacial desses atributos é uma ferramenta de grande importância na determinação de estratégias de manejo do solo que visam estabelecer aumentos na produtividade agrícola (MARQUES JÚNIOR et al., 2008).

Estabilidade temporal

A dinâmica do conteúdo de água no solo representa uma variável importante para o desenvolvimento de uma cultura, fornecendo informações importantes para o estabelecimento ou aprimoramento de práticas de manejo agrícola inerente à engenharia de água e solo, de modo que a produção seja priorizada e otimizada. Muitos trabalhos têm sido desenvolvidos sobre o comportamento espacial de propriedades físico-hídricas do solo, mas muito pouco se sabe sobre a sua variabilidade temporal. Entretanto, nos últimos anos, tem-se aumentado o interesse pela análise da dinâmica temporal, principalmente da umidade do solo, especialmente após a publicação do artigo de Vachaud et al. (1985).

Devido essa dificuldade em termos práticos para que se obtenham médias que representem as propriedades do solo com elevado grau de variabilidade, Vachaud et al. (1985) propuseram uma metodologia para reduzir a quantidade de observações necessárias para caracterização de uma propriedade física do solo. Esses autores

utilizaram medições de umidade no solo, e desenvolveram o conceito de estabilidade temporal.

Usando dados do teor de água no solo, esses autores introduziram o conceito de estabilidade temporal. Esse conceito, segundo Moreti et al. (2007), pode ser explicado como uma alta relação, constante com o tempo, entre a localização dos pontos amostrados, no espaço, e as medidas estatísticas, dos dados amostrados, que caracterizam uma determinada propriedade do solo. Para a umidade do solo, objetivo do estudo de Vachaud et al. (1985), o conceito foi comprovado, de modo que o teor de água em um local mais úmido persistiu constante, ao longo do tempo de medição (GONÇALVES et al., 1999).

Estudos como o desenvolvido por Kachanoski e De Jong (1988) utilizaram a técnica da estabilidade temporal definida por Vachaud et al. (1985) e constataram que a armazenagem de água no solo é resultante da ocorrência de uma série de processos hidrológicos que atuam em variadas escalas espaciais, sendo possível concluir, com isso, que as análises de correlação espacial podem ser usadas para estudar a estabilidade temporal de acordo com a escala espacial de qualquer variável do solo. Essas conclusões constituíram um importante avanço ao se considerar também o componente espacial na avaliação da estabilidade temporal definida por Vachaud et al. (1985).

Salvador et al. (2012) explicam que a análise da dinâmica temporal do armazenamento de água no solo pelo método proposto por Vachaud et al. (1985) é considerado uma referência para os estudos da estabilidade temporal. Esses autores propuseram nos seus estudos, um método que facilita a amostragem, de modo que reduz o número de medições para caracterizar um determinado atributo no solo. Inicialmente, indicaram a técnica conhecida como diferença relativa, que está baseada na análise dos desvios entre os valores observados individualmente e a sua relação com a média de todos os pontos medidos espacialmente. Portanto, é possível concluir que pequenas variações na diferença relativa entre as posições no espaço com o passar do tempo, indicam que há estabilidade temporal. Conseqüentemente, utilizaram o teste não paramétrico de Spearman para avaliar o grau de concordância da variabilidade espacial obtida em diferentes tempos.

Atualmente vários trabalhos tem adotado a metodologia da estabilidade temporal para dinâmica e armazenagem de água no solo. Visando obter melhor esclarecimento do regime hídrico no solo para a cultura de citros na região de Piracicaba (SP), Rocha et al. (2005) desenvolveram um estudo, ao longo de dois anos, para quantificar a

armazenagem da água no solo, avaliar a variabilidade temporal dessa propriedade e identificar padrões de variabilidade e aplicar a técnica da estabilidade temporal. Os autores concluíram que através da técnica da diferença relativa média foi possível determinar 2 pontos que representam a média real da umidade do solo, com isso reduzindo o número de amostras necessárias para estimar uma média representativa com elevada precisão e reduzido esforço amostral. Coppola et al. (2011) identificaram os padrões de variabilidade espacial e temporal do teor de água no solo e usaram seus resultados para fornecer diretrizes na posição de instalação de sensores de umidade do solo. Gao e Shao, (2012) estudaram a estabilidade temporal de padrões espaciais para três camadas de solo e analisaram como esses padrões variam de acordo com o aumento da profundidade do solo. Através do estudo da estabilidade temporal nas camadas do solo foi possível identificar locais representativos de cada camada de solo para futura previsão da umidade do solo desta área.

Trabalhando no mesmo vale aluvial, deste estudo, Fontes Júnior et al. (2012) aplicando o conceito de estabilidade temporal em recargas de aquífero aluvial no semiárido, em que se pratica agricultura irrigada de base familiar, verificaram a ocorrência de estabilidade temporal do nível potenciométrico no aquífero aluvial, sendo possível identificar piezômetros que representam adequadamente a média da profundidade do lençol, no aluvião em questão. Souza et al. (2011) avaliaram a estabilidade temporal da umidade do solo em um plantio de cenoura irrigado no semiárido brasileiro, por meio da diferença relativa e métodos de correlação de Spearman utilizando resíduos vegetais de feijoeiro como uma técnica de mulching, para controlar a umidade do solo e seu efeito sobre a estabilidade temporal em regiões semiáridas, considerando as condições climáticas e as características do solo local.

Umidade do solo

A umidade do solo é uma variável de extrema importância para a compreensão de processos hidrológicos e climáticos em diversas escalas espaciais e temporais (BROCCA et al., 2009 e HEATHMAN et al., 2009). Dentro do aspecto hidrológico, a dinâmica de umidade do solo apresenta grande relevância para o planejamento agrícola e uso do solo, de modo que esta variável constitui-se em um dos fatores mais importantes nos processos climatológicos e hidrológicos, bem como para estudos hidroagrícolas de infiltração, para utilização na modelagem hidrológica e sedimentológica, além disso, a umidade do solo é importante para o manejo da irrigação

e previsão de produtividade, principalmente em áreas sob alta demanda evaporativa. (ENTIN et al., 2000; ÁVILA et al., 2010; SOUZA et al., 2011).

A umidade do solo desempenha papel fundamental para o crescimento das plantas, estando altamente relacionada com as características temporais e de intensidade dos eventos pluviométricos. A precipitação efetiva depende, assim, da intensidade da chuva, da taxa na qual a água é removida do solo através do escoamento superficial, percolação profunda ou drenagem e a evaporação da superfície do solo (AMPOFO, 2006).

Para compreender a dinâmica de umidade do solo e muito importante compreender as características que regem o movimento de água no solo, dentre essas variáveis à condutividade hidráulica e a infiltração, têm grande importância na dinâmica de umidade (ROSSATO et al., 2004). O conteúdo de água no solo sofre influência de um conjunto de fatores, tendo destaque à heterogeneidade nas características do solo, tais como textura, teor de matéria orgânica, estrutura e porosidade. Essas características afetam diretamente o transporte do fluido e a retenção da água no solo, a declividade, afetando diretamente o escoamento superficial e a infiltração de água no solo. Além disso, a cobertura vegetal, que interfere diretamente no volume de água, regendo os mecanismos de evapotranspiração, radiação solar e outros fatores meteorológicos (GÓMEZ-PLAZA et al., 2000; ILLSTON et al., 2004; MEDEIROS; CLARKE, 2007; QIU et al., 2010).

A umidade do solo possui elevado grau de variabilidade no espaço e no tempo, controlada por muitos fatores, tais como tempo, textura do solo, vegetação e topografia. A compreensão do equilíbrio da umidade do solo e da sua variabilidade (espacial e temporal) é fundamental para quantificar a relação entre região, ecologia, hidrologia e geologia (RICHARD et al., 2004). Um bom conhecimento da variabilidade espaço-temporal da umidade do solo é crucial, particularmente para as regiões agrícolas áridas e semiáridas, onde irrigações regulares são muitas vezes necessárias, mas os recursos hídricos são muito limitados. Informações sobre umidade do solo podem ser obtidas através de instrumentos e sensores de umidade do solo, através de modelos de superfície da terra, ou por tecnologia de sensoriamento remoto (ALBERGEL et al., 2013).

Alta qualidade nas medições de umidade do solo é necessária para várias aplicações, incluindo a previsão do tempo em curto prazo, previsão do rendimento das culturas, monitoramento da seca, modelagem hidroagrícola e os estudos de mudança climática (WU et al., 2016). A umidade é classificada como uma variável essencial do

clima, afetando diretamente o crescimento das plantas e outros processos orgânicos que liga o ciclo da água ao ciclo do carbono. Como a umidade do solo tem um impacto significativo sobre o particionamento de água e fluxos de calor (calor latente e sensível), liga-se o ciclo hidrológico com o ciclo da energia (LAHOZ e DE LANNOY, 2014). A umidade do solo desempenha um papel importante nos ciclos de água e energia, por exemplo, controlando a formação de chuvas, evapotranspiração e percolação (SENEVIRATNE et al., 2010).

Diversos autores tem estudado a dinâmica de umidade do solo. Souza et al. (2008) estudaram a variabilidade espacial da umidade do solo durante um cultivo de cenoura em Neossolo Flúvico, irrigado com água moderadamente salina, em dois setores de irrigação, com presença de cobertura morta em um dos setores, usando ferramentas estatísticas e geoestatísticas para análise dos dados. Santos et al. (2011) investigaram a variabilidade temporal do conteúdo superficial da água no solo sob diferentes tipos de cobertura superficial do solo, através da reflectometria no domínio do tempo (TDR), considerando-se as características de precipitação ocorridas no semiárido pernambucano. Borges et al. (2014) avaliaram a influência de diferentes técnicas conservacionistas na manutenção da umidade do solo, bem como nas características agrônômicas da cultura do milho (*Zea mays* L.), no semiárido pernambucano, sob condição de chuva natural. Melo e Montenegro (2015) investigaram a variabilidade temporal da umidade do solo na superfície e subsuperfície, sob condições de cobertura vegetal de caatinga e pasto, em uma bacia experimental na região do semiárido pernambucano, utilizando sonda de nêutrons. Silva et al. (2015) modelaram a dinâmica de umidade do solo através do Modelo Matemático Hydrus-1D, a partir de medições com TDR, em parcelas experimentais sob condições de cobertura natural e solo descoberto em escala de parcela, no município de Pesqueira-PE, região semiárida do Nordeste Brasileiro.

Textura do solo

A proporção relativa de areia, silte e argila é uma das propriedades físicas mais importantes dos solos. Afeta diretamente outras propriedades críticas, incluindo suscetibilidade à erosão, drenagem, capacidade de retenção de água, teor de matéria orgânica, e capacidade de lixiviação de nutrientes e poluentes. A textura do solo é, portanto, um dos componentes-chave para avaliar a qualidade do solo, o manejo e a sustentabilidade das práticas agrícolas (VILAS-BOAS et al., 2016).

O conhecimento da textura é importante para definir classes taxonômicas, inferir os processos pedogenéticos atuantes, e ainda auxiliar no entendimento do movimento de água no corpo do solo, no manejo da adubação, prever as necessidades de práticas conservacionistas, essenciais para o planejamento agrícola e ambiental (LEÃO et al., 2010). Para a agricultura a textura do solo tem grande importância e pode influenciar a maioria dos atributos e propriedades físicas e químicas, pois de acordo com as frações de areia, argila e silte o solo se comporta de maneira distinta. A textura constitui uma característica física que associada aos teores de matéria orgânica e a composição mineralógica das argilas determina em grande medida o comportamento do solo (MARION et al., 2011).

Avaliar a textura de um solo é um dos itens fundamentais, pois está relacionada aos indicadores mais importantes. A textura é uma propriedade básica que influencia significativa e diretamente os atributos físicos e direta ou indiretamente atributos químicos e biológicos (HOUSKOVA, 2005). Richart et al. (2005) explicam que a textura do solo apresenta grande importância no processo de compactação. Quando determinada pressão externa é aplicada ao solo por máquinas, equipamentos de transporte ou animais ocorre um novo acomodamento e/ou arranjo das partículas, diminuindo o espaço aéreo do solo, incrementando a densidade e a resistência à penetração e conseqüentemente, aumentando a compactação.

A textura é uma das propriedades mais estáveis do solo e é índice útil de várias outras propriedades que determinam um potencial agrícola do solo. Os solos de texturas finas e médias, tal como argila, argila franca, argila siltosa e argila francossiltosa, são geralmente mais desejáveis que solos de textura grossa ou arenosa por causa de sua superior retenção de nutrientes e água. A textura tem efeito significativo sobre a temperatura do solo, de modo que os solos argilosos retêm mais água que os solos arenosos (WHITE, 2009). O teor de argila define em boa parte a distribuição do diâmetro dos poros do solo, determinando assim a área de contato entre as partículas sólidas e a água, sendo por isso responsável pela força de retenção, principalmente em baixos potenciais, como aquele do ponto de murcha permanente (PMP). O teor de argila mais silte afeta de forma significativa o teor de água no PMP, enquanto a estrutura do solo tem menor influência na retenção da água nesse ponto (KLEIN et al., 2010).

A textura do solo pode influenciar o conteúdo de carbono no solo, limitando a quantidade de matéria orgânica que pode ser protegida da decomposição através da ligação com silte e partículas de argila organo-mineral. O tamanho dos agregados do

solo também é influenciado pela textura do solo, como partículas de argila tendem a formar agregados menores do que areia ou silte, oferecendo assim uma maior proteção física da matéria orgânica do solo (WHISLER et al., 2016).

Rigato et al. (2005) estudando a influência dos atributos físicos do solo sobre a produtividade agrícola, verificaram que os locais de textura argilosa apresentaram maiores valores de porosidade total, enquanto que em solos com textura mais arenosa, a porosidade total foi menor. Além disso, os autores também verificaram uma maior produtividade no sítio localizado sobre um Cambissolo de textura argilosa. Eguchi et al. (2002) verificaram que os atributos texturais eram espacialmente dependentes, tendo-se obtido alcances não superiores a 50 m.

Montenegro e Montenegro, (2006) avaliaram a variabilidade espacial de classes texturais do solo, e investigaram também a estrutura de correlação das classes texturais dominantes com a salinidade e com a condutividade hidráulica saturada, observando que os solos de textura franca e franco-arenosa, têm influência na distribuição espacial da condutividade hidráulica e de salinidade, apresentando elevadas escalas de dependência espacial. Souza et al. (2008) observaram que a ocorrência de maiores condutividades elétricas está associada a regiões apresentando elevados teores de silte e Ribeiro et al. (2003) explicam que os solos aluviais com maiores teores de silte apresentam predisposição à salinização secundária, proporcionando uma maior deposição de sais na superfície do solo, acarretando o aumento da condutividade elétrica do extrato de saturação.

Santos et al. (2012) avaliaram o comportamento de atributos físicos em Neossolos caracterizando a variabilidade espacial de atributos físicos, hidráulicos e de resistência à penetração em solos de um vale aluvial, no semiárido de Pernambuco e concluíram que no estudo da variabilidade espacial dos atributos físicos do solo e frações granulométricas areia e argila apresentaram dependência espacial. A classe textural interferiu na variabilidade espacial da resistência a penetração, além das condições de cultivo agrícola, apresentando elevada heterogeneidade no perímetro. Andrade et al. (2014) estudaram a variabilidade espacial da textura na profundidade de 0,00 a 0,20 m, em um solo aluvial do semiárido pernambucano sob o cultivo de cenoura (*Daucus carota L.*) durante o período seco de 2012. Os autores concluíram que areia e argila, o grau de variabilidade foi considerado baixo. No entanto, o silte apresentou médio grau de variabilidade. Os valores de areia e silte apresentaram fraca dependência espacial, enquanto a argila apresentou moderada dependência espacial.

Salinidade do solo

O crescimento populacional vem ocasionando, a cada dia, o aumento da procura de alimentos pela população. Com a necessidade de aumentar a produção de alimentos para suprir as necessidades humanas, a utilização de sistemas de irrigação nas regiões áridas e semiáridas vem proporcionando a expansão das áreas agricultáveis, em todo o mundo (MACHADO et al., 2007). Porém devido algumas características intrínsecas dessas regiões como: a baixa ou falta de drenagem natural ou artificial, a presença de sais na água e a deficiência no manejo da irrigação para atender às necessidades hídricas das culturas cultivadas nessas regiões, vem diminuindo a capacidade de produção dos solos, ocasionando a salinização e, ou, sodificação originando, com isto, problemas agroeconômicos (Leite et al., 2010), como comumente ocorre na região semiárida do Nordeste brasileiro, onde cerca de 30% dos perímetros irrigados se encontram com problemas de solos afetados por sais (LOPES et al., 2008).

Os baixos índices pluviométricos registrados e as altas taxas de evaporação também contribuem para o processo de salinização e/ou sodificação dos solos nas regiões semiáridas uma vez que os sais não são lixiviados acumulando-se em grandes quantidades no solo e dificultando o desenvolvimento das plantas cultivadas. O excesso de salinidade no solo pode comprometer a disponibilidade de água e de nutrientes para as plantas, por afetar diretamente o potencial osmótico da solução do solo; já o alto nível de sódio trocável ocasiona degradação da estrutura do solo, dispersão da argila e toxidez nas plantas podendo, até, impedir a germinação das sementes e o desenvolvimento das raízes (AMORIM et al., 2002; SMITH et al., 2009).

Diversos são os exemplos de processos de salinização em perímetros irrigados, em consequência da irrigação inadequada, conforme citado por Ribeiro et al. (2003). De acordo com Batista et al. (1998), a salinização causada pela irrigação vem sendo observada em regiões com baixas precipitações pluviométricas anual, até 1.000 mm, em solos rasos e com ausência de drenagem ou drenagem deficiente. Além dos baixos valores de precipitação pluviométrica, o déficit hídrico acentuado resultante de altas taxas de evapotranspiração contribui para o acúmulo de sais no solo. Este déficit hídrico, segundo Ribeiro et al. (2003), impede que as precipitações promovam lavagens completas e frequentes dos perfis de solos irrigados, fazendo com que os íons Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} e HCO_3^- em solução permanecem na zona radicular.

Dentre os elementos mais preocupantes para salinização de solos em perímetros irrigados, o sódio (Na^+) merece destaque, pois é capaz de promover a dispersão das

argilas, eluviando facilmente no perfil do solo, obstruindo os microporos, reduzindo a aeração e a infiltração de água (GASPARETTO et al., 2009). A dispersão de argila provoca também acentuado aumento da resistência mecânica desses solos, impede a germinação de sementes e o desenvolvimento radicular, devido a subcompactação superficial, acarretada pela eluviação da argila dispersa para as camadas inferiores. O acúmulo de sais influencia não somente as características físicas dos solos, como também as suas propriedades químicas, alterando o pH, afeta a disponibilidade da maioria dos nutrientes essenciais no solos, interferindo também no pH, influencia as taxas de mineralização do nitrogênio. Segundo (Gloaguen et al., 2009) o aumento da salinidade provoca um decréscimo da taxa de mineralização do N orgânico do solo.

Segundo Chaves et al. (2008), a presença de sais no solo diminui a absorção de água pelo sistema radicular das plantas, devido aos efeitos do potencial osmótico sobre as raízes, prejudicando o desenvolvimento do vegetal.

A escolha de áreas para compor perímetros irrigados nem sempre foi suficientemente embasada em critérios técnico-econômicos (OLIVEIRA et al., 2002). Ainda de acordo com estes autores, este fato, associado à falta de habilidade de parte dos irrigantes no manejo da irrigação e às peculiaridades edafoclimáticas do Nordeste brasileiro, muito têm contribuído para o processo de degradação de solos da região.

Montenegro e Montenegro (2006) comentam que os vales aluviais do semiárido apresentam elevado potencial para a pequena agricultura irrigada, embora sejam susceptíveis ao acúmulo de sais, tanto na zona não-saturada quanto na saturada, a depender, dentre outros fatores, da distribuição espacial de suas características hidráulicas.

Souza et al. (2008) avaliando a evolução e variabilidade espacial da salinidade em Neossolo Flúvico, em região semiárida de Pernambuco, cultivado com cenoura sob irrigação com água moderadamente salina e na presença de cobertura morta de restos de feijão com densidade de 9 t ha^{-1} , verificaram em duas áreas com 900 m^2 , essa por sua vez foi denominada de setor 1 e 2, que na camada de 0,00 – 0,40 m, a área salina no setor 1, inicialmente de 7,98 %, aumentou para 15,09 % ao final do ciclo cultural e para o setor 2, a área salina passou de 5,97 para 5,52 %; verificando-se, assim, a influência determinante da textura e da cobertura morta no controle da salinidade do solo.

Carbono e matéria Orgânica do Solo

A matéria orgânica do solo (MOS) constitui o maior reservatório de carbono da superfície terrestre. Mais da metade deste C assimilado é transportado para o solo, via desenvolvimento e ciclagem das raízes, exsudatos de raízes e deposição de serapilheira, que contribuem para a formação da matéria orgânica do solo (MONTAGNINI e NAIR, 2004).

Segundo Pereira et al. (2013), o uso e o manejo do solo em sistemas agrícolas atuam modificando tanto a entrada como a saída de C do solo para a atmosfera, em função da produção diferenciada de resíduos, do número de cultivos, das espécies vegetais, da adubação, dos procedimentos de colheita, dos métodos adotados de preparo do solo e do manejo dos restos culturais. Em sistemas naturais, os fatores de formação do solo são os determinantes primários dos processos de ciclagem de C, uma vez que exercem influência sobre o aporte de resíduos e sobre as saídas de C do solo. De acordo com Zinn et al. (2005), a conversão de ecossistemas naturais em sistemas agrícolas envolve uma série de atividades que afetam as taxas de adição e decomposição da matéria orgânica do solo (MOS).

Os vegetais são os principais responsáveis pela adição ao solo de compostos orgânicos primários sintetizados no processo de fotossíntese, que dependendo da quantidade de resíduos depositados no solo poderá resultar em aumento no teor de carbono orgânico (CO) do solo (FARIA et al., 2008). Quando os resíduos de plantas são devolvidas para o solo, vários compostos orgânicos sofrem uma decomposição. Decomposição inclui uma série de processos físicos e bioquímicos que transformam as moléculas orgânicas complexas de matéria morta em moléculas orgânicas simples, CO₂, água, e nutrientes minerais (ZHAO et al., 2016). Este acúmulo de C no solo é essencial para a redução das taxas de emissão de CO₂ na atmosfera e para o aumento da qualidade do solo e da água e, conseqüentemente, da sustentabilidade da produção agrícola (GAMA RODRIGUES, A. C. 2004; LAL et al., 2004). Rangel et al. (2007) verificaram aumento no teor de CO na entrelinha do cafeeiro, em consequência do grande aporte de resíduos vegetais depositados, na forma de restos de capina, restos culturais e resíduos da recepa, em relação àquele obtido na projeção da copa.

A MOS é um componente fundamental da capacidade produtiva dos solos, por causa dos seus efeitos sobre a disponibilidade de nutrientes, a capacidade de troca de cátions do solo, a complexação de elementos tóxicos e micronutrientes, a agregação, a infiltração, a retenção de água, a aeração e a atividade e biomassa microbiana. Desse

modo, a adoção de sistemas de manejo deve ser levada em consideração, entre outros aspectos, quanto ao seu efeito sobre os teores de MO dos solos (BAYER; MIELNICZUK, 2008).

A matéria orgânica é passível, ainda, de aumentar a faixa de friabilidade do solo, isto é, a faixa que compreende o limite de contração e plasticidade, que corresponde à umidade ideal para o preparo do solo (SILVA et al., 2006). Alterações nos limites de consistência do solo em razão das modificações nos teores de carbono orgânico foram observadas por outros autores (Oliveira et al., 2010; Vasconcelos et al., 2010), ao constatarem que o aumento da matéria orgânica tende a aumentar a área superficial específica do solo, o que proporciona maior retenção de água, levando-o a ter maiores valores para os limites de plasticidade do solo.

O carbono e a matéria orgânica do solo são importantes indicadores de qualidade do solo, porque afetam propriedades do solo sendo uma variável importante que representa uma forte resposta ao uso da terra (VÅGEN E WINOWIECKI, 2013). A dinâmica em carbono orgânico é refletida na fertilidade do solo, fornecimento de nutrientes, na porosidade e erosão (ABEGAZ et al., 2016).

As planícies e vales aluviais são importantes exportadoras de carbono e apresentam alto potencial de armazenamento em grandes quantidades de carbono orgânico do solo (COS). Este COS é proveniente tanto de fontes autóctones, como resultado das altas taxas de produção de biomassa e entradas secundárias, ou fontes alóctones, da deposição de matéria orgânica e sedimentos durante os eventos de deposição (NOE e HUPP, 2009).

Leite et al. (2015) estudaram a variabilidade espacial da matéria orgânica do solo em uma área degradada em recuperação com pinhão-mansão e observaram que os baixos valores de carbono orgânico total e suas frações, lábeis ou estáveis, realçam o estado de degradação do solo e a contribuição ainda incipiente do pinhão-mansão indicando, portanto, a necessidade de aumento na entrada de carbono por meio da inclusão de espécies com elevado aporte de resíduos. Silva et al. (2013) estudaram a distribuição espacial do carbono orgânico total e matéria orgânica em um Neossolo Flúvico e constataram que esses atributos na camada de 0,00-0,20 m apresentaram média variabilidade e moderada dependência espacial.

Corado Neto et al. (2015) avaliaram a variabilidade espacial do carbono orgânico total, diâmetro médio geométrico e índice de estabilidade dos agregados em diferentes profundidades de um Neossolo Litólico Eutrófico e constataram que o

diâmetro médio geométrico e o índice de estabilidade dos agregados demonstraram elevada correlação espacial com o carbono orgânico do solo. O modelo esférico foi o que apresentou melhor ajuste aos dados dos semivariogramas dos atributos estudados.

Temperatura do solo

A temperatura do solo afeta as propriedades físicas e químicas do solo, bem como outros processos bioquímicos, (HU et al., 2016). Oliveira et al. (2015) afirmam que a temperatura é responsável por processos inerentes ao solo regulando as trocas gasosas na superfície, afeta o movimento, a viscosidade e a densidade da solução do solo e, conseqüentemente, a absorção de água e nutrientes pelas plantas, influenciando a maioria dos processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem no solo. Além disso, a temperatura do solo pode afetar os processos microbianos e o movimento de nutrientes no solo, o que terá ainda uma grande influência no crescimento das plantas (LIAO et al., 2016).

Os efeitos da temperatura sobre as propriedades hidráulicas do solo têm sido estudado, mas os mecanismos estão longe de ser totalmente compreendidos. Gradientes de temperatura não são apenas uma força motriz do fluxo de líquido capilar, mas também afetam significativamente as propriedades hidráulicas do solo (GAO e SHAO, 2015).

A temperatura do solo apresenta impactos a umidade do solo através do clima, a medida que seu aumento, acarreta variações na evapotranspiração causando assim a perda de água do solo para a atmosfera e conseqüentemente diminuindo a umidade do solo (Koster et al., 2004 ; Seneviratne et al., 2010), e essas relações também desempenham um papel importante na contexto das alterações climáticas, possivelmente levando a uma mudança na localização dos pontos mais quentes de conexão entre a umidade do solo e a temperatura (SENEVIRATNE et al., 2006). A temperatura do ar não é consequência da ação direta da radiação, a radiação solar atinge o solo onde é absorvida em parte e transformada em calor. Portanto, a temperatura do solo aumenta e, por convecção, aquece o ar. Logo a condutividade e a capacidade térmica do solo que determinam a transmissão de calor por condução, aliadas as perdas por evaporação, convecção e radiação.

Gasparim et al. (2005) comentam que a superfície do solo, com ou sem cobertura vegetal, é a principal trocadora e armazenadora de energia térmica nos

ecossistemas terrestres. É a partir da intensidade da radiação solar na superfície do solo que ele se aquece e se resfria, no decorrer do dia e do ano, provocando variações térmicas nas camadas subjacentes. Pelo fato da absorção e da perda de energia ocorrerem na superfície, aliado à baixa velocidade de propagação do calor no interior do solo, as variações térmicas se limitam aos horizontes mais superficiais. O autor enfatiza que a amplitude de variação da temperatura do solo diminui acentuadamente nos primeiros centímetros de profundidade, no mesmo instante em que ocorre um retardamento no período de ocorrência das máximas e mínimas, em função da magnitude e da lentidão do fluxo de calor no seu interior.

Diniz et al. (2013) explicam que as variações diurnas e sazonais na incidência de radiação solar fazem com que as condições de temperatura do solo estejam em constante alteração. As porções mais próximas à superfície são as que apresentam maior variação de temperatura durante os ciclos médios diários. Em contrapartida, à medida que se avança em profundidade, as variações médias diárias da temperatura do solo tendem a se tornar cada vez mais discretas.

Nos processos de interação solo-atmosfera os perfis de temperatura e umidade de solos dependem, dentre outros fatores, das características físicas e das trocas de calor e vapor d'água com a atmosfera que, por sua vez, dependem do clima e da cobertura vegetal local. A temperatura do solo é influenciada por uma série de fatores, como as condições meteorológicas, topografia local, tipo de solo, teor de água, textura, área de superfície coberta e copa das plantas. Desta forma, o conhecimento do material vegetal depositado sobre o solo, resultante dos componentes envelhecidos da parte aérea das plantas que caem no solo e que compreende as folhas, caules, flores e frutos, reveste-se de grande importância no estudo de florestas tropicais (CARNEIRO et al., 2014). Dalmolin et al. (2005) relatam que solos com alto teor de matéria orgânica apresentam elevada temperatura durante o dia, por serem solos escuros, sendo atribuída à elevada absorção da energia solar, indicando que a refletância é menor nestes solos.

A temperatura do solo é um dos fatores mais importantes no processo de emissão de CO₂, durante e entre os dias, pois altas temperaturas levam a uma alta atividade microbiana nas camadas superiores do solo, resultando em um aumento na taxa de mineralização do C (SMART e PEÑUELAS, 2005).

Pouco se tem estudado sobre a variabilidade espacial da temperatura do solo. Nesse contexto, destaca-se o trabalho desenvolvido por Panosso et al. (2009) que investigaram o impacto do molhamento produzido pela irrigação, sobre o padrão

espacial da emissão de CO₂, e sua relação com os padrões espaciais da temperatura e umidade do solo. Os autores concluíram que a irrigação provocou mudança na distribuição espacial das temperaturas do solo, sendo verificada correlação linear negativa e significativa entre a emissão de CO₂ e a temperatura do solo; apesar da diminuição da temperatura do solo nos locais mais molhados, a emissão de CO₂ do mesmo aumentou.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEGAZ, A.; WINOWIECKI, L.A.; VAGEN, T.G.; LANGAN, S.; SMITH, J.U. Spatial and temporal dynamics of soil organic carbon in landscapes of the upper Blue Nile Basin of the Ethiopian Highlands. **Agriculture, Ecosystems e Environment**, v.218, p.190-208, 2016.

ABREU, S. L. de; REICHERT, J. M.; SILVA, V. R. da; REINERT, D. J.; BLUME, E. Variabilidade espacial de propriedades físico-hídricas do solo, da produtividade e da qualidade de grãos de trigo em Argissolo Franco Arenoso sob plantio direto. **Ciência Rural**, v.33, n.2, p.275–282, 2003.

ALBERGEL, W.; DORIGO, R.H.; REICHLER, G.; BALSAMO, P.; ROSNAY, P.; MUÑOZ-SABATER, J.; ISAKEN, L.; JEU, R.; WAGNER, W. Skill and global trend analysis of soil moisture from reanalyses and microwave remote sensing. **Journal of Hydrometeorology**, v.14, p.1259–1277, 2013.

AMORIM, J. R. DE A.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R.; AZEVEDO, N. C. DE. Efeito da salinidade e modo de aplicação da água de irrigação no crescimento e produção de alho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.167- 176, 2002.

AMPOFO, E.A. Soil moisture dynamics in Coastal Savanna soils in the tropics under different soil management practices. **Hydrological Science**, v.51, p.1194-1202, 2006.

ANDRADE, C. W. L.; SILVA, J. S.; MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; TAVARES, U. E. Variabilidade espacial da textura em solo aluvial sob o cultivo de cenoura (*Daucus Carota* L.). **Revista Pernambucana de Tecnologia**, v.2, p.59-67, 2014.

ÁVILA, L. F.; MELLO, C. R. DE; SILVA, A. M. Continuidade e distribuição espacial da umidade do solo em bacia hidrográfica da Serra da Mantiqueira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.12, p.1257-1266, 2010.

BATISTA, M. J.; NOVAIS, F.; SANTOS, D. G. Drenagem como instrumento de dessalinização e prevenção da salinização dos solos. Brasília, SRH, 203p. 1998.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. de A.; SILVA, L.S. da; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A. de O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2.ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p.7-18.

BLAIS, R.A.; CARLIER, P.A. Applications of geostatistics in ore evaluation. In : CANADIAN INSTITUTE OF MINING AND METALURGY, Ore Reserve Estimation and Grade Control, Montreal, 1968. p.41-48. (Special Volume 9)

BORGES, T.K.S.; MONTENEGRO, A.A.A.; SANTOS, SANTOS, T.E.M.; SILVA, D.D.; SILVA JÚNIOR, V.P. Influência de práticas conservacionistas na umidade do solo e no cultivo do milho (*Zea mays* L.) em semiárido nordestino. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v.38, n.6, p.1862-1873, 2014.

BROCCA, L.; MELONE, F.; MORAMARCO, T.; MORBIDELLI, R. Soil moisture temporal stability over experimental areas in Central Italy. **Geoderma**, v.148, p.364-374, 2009.

CARVALHO, J. R. P.; VIEIRA, S. R. Avaliação e comparação de estimadores de krigagem para variáveis agronômicas – uma proposta. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2001. 21p.

CARNEIRO, R.G.; MOURA, M.A.L.; SILVA, V.P.R.; SILVA JÚNIOR, R.S.; ANDRADE, A.M.D.; SANTOS, A.B. Variabilidade da temperatura do solo em função da liteira em fragmento remanescente de mata atlântica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.1, p.99-108, 2014.

CHAVES, L. H. G.; MENINO, I. B.; ARAÚJO, I. A.; CHAVES, I. B. Avaliação da fertilidade dos solos das várzeas do município de Sousa, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, n.3, p.262-267, 2008.

COPPOLA, A.; COMEGNA, A.; DRAGONETTI, G.; LAMADDALENA, N.; KADER, A.M.; COMEGNA, V. Average moisture saturation effects on temporal stability of soil water spatial distribution at field scale. **Soil Tillage Research**, v.114, p.155-164, 2011.

CORADO NETO, F.C.; SAMPAIO, F.M.T.; VELOSO, M.E.C.; MATIAS, S.S.R.; ANDRADE, F.R.; LOBATO, M.G.R. Variabilidade espacial dos agregados e carbono orgânico total em Neossolo Litólico Eutrófico no município de Gilbués, PI. **Revista de Ciências Agrárias**, v.58, n.1, p.75-83, 2015.

DALMOLIN, R.S.D.; GONÇALVES, C.N.; KLAMT, E.; DICK, C.P. Relação entre os constituintes do solo e seu comportamento espectral. **Ciência Rural**, v.35, n.2, p. 481-489, 2005.

DAVIS, J. C. *Statistic and data analysis in geology*. 3^a ed. New York: John Wiley e Sons, 2002. 656 p.

DINIZ, J.M.T.; SOUSA, E.P.; WANDERLEY, J.A.C.; FIDELIS FILHO, J.; MARACAJÁ, P.B. Variabilidade diária da temperatura do solo: Um estudo de caso. **Revista Verde**, v.8, n.1, p.01-06, 2013.

EGUCHI, E. S.; SILVA, E. L. DA; OLIVEIRA, M. S. Variabilidade espacial da textura e da densidade de partículas em um solo aluvial no Município de Lavras, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.2, p.242-246, 2002.

ENTIN, J. K.; ROBOCK, A.; VINNIKOV, K. Y.; HOLLINGER, S. E.; LIU, S.; NAMKHAI, A. Temporal and spatial scales of observed soil moisture variations in the extratropics. **Journal of Geophysical Research**, v.105, n.9, p.11865-11877, 2000.

FARACO M.A.; URIBE-OPAZO, M.A.; SILVA, E.A.; JOHANN J.A.; BORSSOI, J.A. Seleção de modelos de variabilidade espacial para elaboração de mapas temáticos de atributos físicos do solo e produtividade da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.2, p.463-476, 2008.

FARIA, G.E.; BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; SILVA, I.R.; NEVES, J.C.L. Carbono orgânico total e frações da matéria orgânica do solo em diferentes distâncias do tronco de eucalipto. **Scientia Forestalis**, v.36, n.80, p.265-277, 2008.

FONTES JUNIOR, R. V. P.; MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SANTOS, T. E. M. Estabilidade temporal da potenciometria e da salinidade em vale aluvial no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.11, p.1188–1197, 2012.

GASPARETTO, E. C.; BRAIDA, J. A.; CARNEIRO, M.; SCARIOT, J. J.; TABOLKA, C. L. Grau de Floclulação da Argila de um Latossolo Vermelho utilizado com Lavoura e Mata Nativa. **Synergismus Scientifica**, v.4, n.1, p.1-3, 2009.

GASPARIM, E.; RICIERI, R.P.; SILVA, S. L.; DALLACORT, R.; GNOATTO, E. Temperatura no perfil do solo utilizando duas densidades de cobertura e solo nu. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.27, n.1, p.107-115, 2005.

GAMA-RODRIGUES, A. C. (2004) Ciclagem de nutrientes em sistemas agroflorestais na região tropical: funcionalidade e sustentabilidade. In: MÜLLER, M. W.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; BRANDÃO, I. C. S. F. L.; SERÓDIO, M. H. C. F. eds. Sistemas agroflorestais, tendência da agricultura ecológica nos trópicos: Sustento da vida e sustento de vida. Ilhéus, SBSAF/CEPLAC/UENF, p.64-84.

GAO, L.; SHAO, M. Temporal stability of soil water storage in diverse soil layers. **Catena**, v.95, p.24-32, 2012.

GAO, L.; SHAO, M. Effects of temperature changes on soil hydraulic properties. **Soil and Tillage Research**, v.153, p.145-154, 2015.

GLOAGUEN, T. V.; PEREIRA, F. A. C.; GONÇALVES, R. A. B.; PAZ, V. S. Composição Química da Solução do Solo nas Diferentes Classes de Poro do Solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.1105-1113, 2009.

GOMES, N. M.; SILVA, A. M.; MELLO, C. R.; FARIA, M. A.; OLIVEIRA, P. M. de. Métodos de ajuste e modelos de semivariograma aplicados ao estudo da variabilidade espacial de atributos físico-hídricos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.435-443, 2007.

GÓMEZ-PLAZA, A.; ALVAREZ-ROGEL, J.; ALBALADEJO, J.; CASTILLO, V. M. Spatial patterns and temporal stability of soil moisture across a range of scales in semi-arid environment, **Hydrological Processes**, v.14, n.7, p.1261-1277, 2000.

GONÇALVES, A.C.A.; FOLEGATTI, M.A.; SILVA, A.P. Estabilidade temporal da distribuição espacial da umidade do solo em área irrigada por pivô central. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.155-164, 1999.

GREGO, C.R.; VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n.29, p.169-177, 2005.

HEATHMAN, G. C.; LAROSE, M.; COSH, M. H.; BINDLISH, R. Surface and profile soil moisture spatio-temporal analysis during an excessive rainfall period in the Southern Great Plains, USA. **Catena**, v.78, p.159-169, 2009.

HOUSKOVA, B. Avaliação visual do solo Europeu: guia de campo. http://eussoils.jrc.it/events/SummerSchool_2005/cd_rom/SS2005_Files/Other/VSA_ESS_05-2.pdf (17 janeiro 2016).

HU, G.; ZHAO, L.; WU, X.; LI, R.; WU, T.; XIE, C.; QIAO, Y.; SHI, J.; LI, W.; CHENG, G. New Fourier-series-based analytical solution to the conduction–convection equation to calculate soil temperature, determine soil thermal properties, or estimate water flux. **International Journal of Heat and Mass Transfer**, v.95, p.815-823, 2016.

ILLSTON, B. G.; BASARA, J. B.; CRAWFORD, K. C. Seasonal to interannual variations of soil moisture measured in Oklahoma. **International Journal of Climatology**, v.24, n.15, p.1883-1896, 2004.

ISAAKS, E.H.; SRIVASTAVA, R.M. Applied geostatistics: introduction to applied geostatistics. Oxford: University Press, 1989. 561p.

KACHANOSKI, R.G.; DE JONG, E. Scale dependence and the temporal persistence of spatial patterns of soil water storage. **Water Resources Research**, v.24, p.85-91, 1988.

KLEIN, V.A.; BASEGGIO, M.; MADALOSSO, T.; MARCOLIN, C.D. Textura do solo e a estimativa do teor de água no ponto de murcha permanente com psicrômetro. **Ciência Rural**, v.40, n.7, p. 1550-1556, 2010.

KOSTER, R.D.; DIRMEYER, P.A.; GUO, Z.; BONAN, G.; CHAN, E.; COX, P.; YAMADA, T. Regions of strong coupling between soil moisture and precipitation. **Science**, v.305, p.1138–1140, 2004.

LAHOZ, W.A.; DE LANNOY, G.J.M. Closing the Gaps in Our Knowledge of the Hydrological Cycle over Land: Conceptual Problems. **Surveys in Geophysics**, v.35, p.623-660, 2014.

LAL, R.; GRIFFIN, M.; APT, J.; LAVE, L.; MORGAN, M. G. Managing soil carbon. **Science**, v.304, p.393-399, 2004.

LEÃO, M. G. A.; MARQUES JÚNIOR, J.; SOUZA, Z. M.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial da textura de um latossolo sob cultivo de citros. **Ciência e Agrotecnologia**, v.34, n.1, p.121-131, 2010.

LEITE, E. M.; DINIZ, A. A.; CAVALCANTE, L. F.; GHEYI, H. R.; CAMPOS, V. B. Redução da sodicidade em solo sendo irrigado com a utilização de ácido sulfúrico e gesso agrícola. **Revista Caatinga**, v.23, p.110-116, 2010.

LEITE, L.F.C.; FERREIRA, J.S.; VELOSO, M.E.C.; MOUSINHO, F.E.P.; ROCHA JÚNIOR, A.F. Variabilidade espacial das frações da matéria orgânica do solo em área degradada sob recuperação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.4, p.394–401, 2015.

LIAO, X.; SU, Z.; LIU, G.; ZOTARELLI, L.; CUI, Y.; SNODGRASS, C. Impact of soil moisture and temperature on potato production using seepage and center pivot irrigation. **Agricultural Water Management**, v.165, p.230-236, 2016.

LOPES, J. F. B.; ANDRADE, E. DE; CHAVES, L. C. G. Impacto da irrigação sobre os solos de perímetros irrigados na bacia do Acaraú, Ceará, Brasil. *Engenharia Agrícola*, v.28, p.34- 43, 2008. Mace, J. E.; Amrhein, C. Leaching and reclamation of soil irrigated with SAR waters. **Soil Science Society American Journal**, v.65, p.199-204, 2008.

MARION, L. F. Avaliação da qualidade do solo em propriedades agrícolas familiares em sistema de cultivo convencional e de bases ecológicas, Santa Cruz do Sul, RS, Brasil. 2011. 85 p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Tecnologia Ambiental, Universidade de Santa Cruz do Sul, Rio Grande do Sul, 2011.

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, n.1, p.143-152, 2008.

MATHERON, G. Principles of geostatistics. **Economic Geology**, v.58, p.1246-1266, 1963.

MATHERON, G. The theory of regionalized variables and its application. *Les Cahiers du centre de Morphologie Mathématique*, Fas. 5, C. G. Fontainebleau. 1971.

MEDEIROS, J. D.; CLARKE, J. A. G. Variabilidade espacial do conteúdo de água no solo numa pequena bacia rural: Análise geoestatística. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.12, n.1, p.43-52, 2007.

MELO, R.O.; MONTENEGRO, A.A.A. Dinâmica temporal da umidade do solo em uma bacia hidrográfica no semiárido Pernambucano. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.20, n.2, p.430–441, 2015.

MACHADO, R.; NETTO, A. DE O. A.; CAMPECHE, L. F. S. M.; BARROS, A. C. Efeito da salinidade em características físico-hídricas em solos salino-sodilizados no Perímetro Irrigados Jabiberi-SE. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.1, p.15-19, 2007.

MONTAGNINI, F.; NAIR, P. K. R. Carbon sequestration: An underexploited environmental benefit of agroforestry systems. **Agroforestry Systems**, v.61, p.281-295, 2004.

MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Variabilidade espacial de classes de textura, salinidade e condutividade hidráulica de solos em planície aluvial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, p.30-37, 2006.

MORETI, D.; LIBARDI, P.; ROCHA, G. C.; LOVATTI, M. J.; AGUIAR, L. I. G. Avaliação espaço-temporal das armazenagens gravimétricas e volumétricas da água em um Latossolo com citros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1281-1290, 2007.

NOE, G. B.; HUPP, C. R. Retention of riverine sediment and nutrient loads by Coastal Plain floodplains. **Ecosystems**, v.12, p.728-746, 2009.

OLIVEIRA, L. B.; RIBEIRO, M. R.; FERREIRA, M. G. V. X.; LIMA, J. F. W. F.; MARQUES, F. A. Interferências pedológicas aplicadas ao perímetro irrigado de Custódia, PE. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.10, p.1477-1486, 2002.

OLIVEIRA, V. S.; ROLIM, M. M.; VASCONCELOS, R. F. B.; PEDROSA, E. M. R. Distribuição de agregados e carbono orgânico em um Argissolo Amarelo distrocoeso em diferentes manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.907–913, 2010.

OLIVEIRA, Z. B.; CARLESSO, R.; KNIES, A. E.; MARTINS, J. D. Influência de resíduos vegetais na superfície do solo e de diferentes espaçamentos entre linhas do feijoeiro na temperatura do solo. **Irriga**, v.20, n.1, p.33-45, 2015.

PANOSSO, A. R.; RIBEIRO, C. E. R.; ZANINI, J. R.; PAVANI, L. C.; PEREIRA, G. T.; SCALA JÚNIOR, N. L. Variabilidade espacial da emissão de CO₂, da temperatura e umidade de um latossolo desprovido de vegetação sob diferentes lâminas de molhamento. **Semina: Ciências Agrárias**, v.30, suplemento 1, p.1017-1034, 2009.

PEREIRA, M. F. S.; NOVO JÚNIOR, J.; SÁ, J. S.; LINHARES, P. C. F.; BEZERRA NETO, F.; PINTO, J. R. S. Ciclagem do carbono do solo nos sistemas de plantio direto e convencional. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v.8, n.1, p. 21-32, 2013.

QIU, Y.; FU, B.; WANG, J.; CHEN, L.; MENG, Q.; ZHANG, Y. Spatial prediction of soil moisture content using multiple-linear regressions in a gully catchment of the Loess Plateau, China. **Journal of Arid Environments**, v.74, n.2, p.28-220, 2010.

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1609-1623, 2007.

RIBEIRO, M. R.; FREIRE, F. J.; MONTENEGRO, A. A. A. Solos halomórficos no Brasil: Ocorrência, gênese, classificação, uso e manejo sustentável. In: Curi, N.; Marques, J. J.; Guilherme, L. R. G.; Lima, J. M. da; Lopes, A. S.; Alvarez, V. H. (eds.). Tópicos em ciência do solo. v.3. Viçosa: SBCS, 2003. cap.4, p.165-208.

RICHARD, M.; PETRONE, J. S.; PRICE, S. K.; WADDINGTON, J. M. Statistical characterization of the spatial variability of soil moisture in a cutover peatland. **Hydrological Processes**, v.18, p.41-52, 2004.

RICHART, A.; TAVARES FILHO, J.; BRITO, O. R.; LLANILLO, R. F.; FERREIRA, R. Compactação do solo: Causas e efeitos. **Semina: Ciências Agrárias**, v.26, p.321-344, 2005.

RIGATO, M. A.; DEDECEK, R. A.; MATTOS, J. L. M. de. Influência dos atributos do solo sobre a produtividade de *Pinus taeda*. **Revista Árvore**, v.29, n.5, p.701–709, 2005.

ROCHA, G. C.; LIBARDI, P. L.; CARVALHO, L. A.; CRUZ, A. C. R. Estabilidade temporal da distribuição espacial da armazenagem de água em um solo cultivado com citrus. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, n.1, p.41-50, 2005.

ROSA, S. F. Propriedades físicas e químicas de um solo arenoso sob o cultivo de *Eucalyptus* spp. Santa Maria: UFSM, 2010. 92p. Dissertação de Mestrado.

ROSSATO, L.; ALVALÁ, R. C. S.; TOMASELLA, J. Variação espaço-temporal da umidade do solo no Brasil: análise das condições médias para o período de 1971-1990. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.19, n.2, p.113-122, 2004.

SANTOS, M. L.; CARVALHO, M. P.; RAPASSI, R. M. A.; MURAIISHI, C. T.; MALLER, A.; MATOS, F. A. Correlação linear e espacial entre produtividade de milho e atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférrico sob plantio direto do cerrado brasileiro. **Acta Science Agronomy**, v.28, p.313-321, 2006.

SALVADOR, M. M. S.; LIBARDI, P. L.; BRITO, A. S.; MOREIRA, N.B. Estabilidade temporal e variabilidade espacial da distribuição da armazenagem de água no solo numa sucessão feijão/aveia-preta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.1434-1447, 2012.

SANTOS, K. S.; MONTENEGRO, A. A. A.; ALMEIDA, B. G.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; FONTES JUNIOR, R. V. P.; ANDRADE, T. S. Variabilidade espacial de atributos físicos em solos de vale aluvial no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.828-835, 2012.

SANTOS, T. E. M.; MONTENEGRO, A. A. A.; SILVA D. D. Umidade do solo no semiárido pernambucano usando-se reflectometria no domínio do tempo (TDR). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.670-679. 2011.

SENEVIRATNE, S. I.; CORTI, T.; DAVIN, E. L.; HIRSCHI, M.; JAEGER, E.; LEHNER, I.; ORLOWSKY, B.; TEULING, A. J. Investigating soil moisture-climate interactions in a changing climate: A review. **Earth Science Review**, p.99, p.125–161, 2010.

SENEVIRATNE, S. I.; LÜTHI, D.; LITSCHI, M.; SCHÄR, C. Land–atmosphere coupling and climate change in Europe. **Nature**, v.443, p.205–209, 2006.

SILVA, A. J. N.; CABEDA, M. S. V.; CARVALHO, F. G. Matéria orgânica e propriedades físicas de um Argissolo Amarelo coeso sob sistemas de manejo com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, p.579-585, 2006.

SILVA, J. R. L.; MONTENEGRO, A. A. A., MONTEIRO, A. L. N.; SILVA JÚNIOR, V. P.; Modelagem da dinâmica de umidade do solo em diferentes condições de cobertura no semiárido pernambucano. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.10, n.2, 2015.

SILVA, J. S.; MONTENEGRO, A. A. A.; SILVA, E. F. F.; ANDRADE, C. W. L.; SILVA, J. R. L. Distribuição Espacial da Condutividade Elétrica e Matéria Orgânica em Neossolo Flúvico. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.6, n.4, p. 764-776, 2013.

SIMÕES, W. L.; SILVA, E. L.; LIMA, D. M.; OLIVEIRA, M. S. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico, submetido a diferentes manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, n.6, p.1061-1068, 2006.

SMART, D. R; PEÑUELAS, J. Short-term CO₂ emissions from planted soil subject to elevated CO₂ and simulated precipitation. **Applied Soil Ecology**, v.28, p. 247-57, 2005.

SMITH, A. P.; CHEN, D.; CHALK, P. M. N₂ fixation by faba bean (*Vicia faba* L.) in a gypsum-amended sodic soil. **Biology and Fertility of Soils**, v.45, p.329-333, 2009.

SOUZA, E. R.; MONTENEGRO, A. A. A.; FREIRE, M. B. G. S. Evolução e variabilidade espacial da salinidade em Neossolo Flúvico cultivado com cenoura sob irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.6, p.584-592, 2008.

SOUZA, E. R.; MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G. Variabilidade Espacial da Umidade do Solo em Neossolo Flúvico. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.13 n.2, p.177-187, 2008.

SOUZA, E. R.; MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SANTOS, T. E. M.; ANDRADE, T. S.; PEDROSA, E. R. Variabilidade espacial das frações granulométricas e da salinidade em um Neossolo Flúvico do semi-árido. **Ciência Rural**, v.38, n.2, p.698-704, 2008.

SOUZA, Z. M.; SILVA, M. L. S.; GUIMARÃES, D. T. S.; CARVALHO, M. P.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos físicos em um Latossolo Vermelho distrófico sob semeadura direta em Selvíria (MS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.699-707, 2001.

SOUZA, E. R.; MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G.; MATOS, J. A. Temporal stability of soil moisture in irrigated carrot crops in Northeast Brazil. **Agricultural Water Management**, v.99, p.26-32, 2011.

VACHAUD, G.; DE SILANS, A. P.; BALABANIS, P.; VAUCLIN, M. Temporal stability of spatially measured soil water probability density function. **Soil Science Society of America Journal**, v.49, p.822-827, 1985.

VÅGEN, T. G.; WINOWIECKI, L. A. Mapping of soil organic carbon stocks for spatially explicit assessments of climate change mitigation potential. **Environmental Research Letters**, v.8, p.9, 2013.

VASCONCELOS, R. F. B.; CANTALICE, J. R. B.; SILVA, A. J. N.; OLIVEIRA, V. S.; SILVA, Y. A. B. Limites de consistência e propriedades químicas de um Latossolo

amarelo distrocoeso sob aplicação de diferentes resíduos da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.639-648, 2010.

VIEIRA, S. R. Curso de atualização em conservação do solo - Uso de Geoestatística: Seção de conservação do solo. Parte I. Campinas: IAC, 1995. 2 v.

VIEIRA, S.R. Uso da geoestatística em estudos de variabilidade espacial. In: Curso de atualização em conservação do solo. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1995.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F. de; ALVAREZ V., V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.1, p.1-54, 2000.

VILAS-BOAS, P. R.; ROMANO, R. A.; FRANCO, M. A. M.; FERREIRA, E. C.; FERREIRA, E.J. ; CRESTANA, S.; MILORI, D. M. B. P. Laser-induced breakdown spectroscopy to determine soil texture: A fast analytical technique. **Geoderma**, v.263, p.195-202, 2016.

WEBSTER, R.; OLIVER, M. A. Geostatistics for environmental scientists. 2. ed. West Sussex: John Wiley e Sons Ltd, p. 333, 2007.

WHISLER, K. M.; ROWE, H. I.; DUKES, J. S. Relationships among land use, soil texture, species richness, and soil carbon in Midwestern tallgrass prairie, CRP and crop lands. **Agriculture, Ecosystems e Environment**, v.216, p.237-246, 2016.

WHITE, R. E. Princípios e práticas da ciência do solo. Tradução Iara Fino Silva e Durval Dourado Neto. 4. ed. São Paulo: ANDREI, 2009. 426p.

WU, Q.; LIU, H.; WANG, L.; DENG, C. Evaluation of AMSR2 soil moisture products over the contiguous United States using in situ data from the International Soil Moisture Network. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v.45, p.187-199, 2016.

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. Geoestatística: conceitos e aplicações. São Paulo: Oficina de textos, 2013. 215fb p.

ZHAO, W.; ZHANG, R.; HUANG, C.; WANG, B.; CAO, H.; COOPAL, L.K.; TAN, W. Effect of different vegetation cover on the vertical distribution of soil organic and inorganic carbon in the Zhifanggou Watershed on the loess plateau. **Catena**, v.139, p.191-198, 2016.

ZINN, Y. L.; LAL, R.; RESCK, D. V. S. Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil. **Soil eTillage Research**, v.84, p.28-40, 2005.

CAPÍTULO I

Variabilidade espaço-temporal da umidade do solo em um cultivo de milho irrigado por gotejamento em Neossolo Flúvico.

CAPÍTULO I

RESUMO

RODRIGUES, R.A.S., MSc., Universidade Federal Rural de Pernambuco; Fevereiro, 2016. **Variabilidade espaço-temporal da umidade do solo em um cultivo de milho irrigado por gotejamento em Neossolo Flúvico.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Orientador: Dr. Abelardo Antônio de Assunção Montenegro

A umidade do solo apresenta uma variabilidade nos domínios espacial e temporal, levando a incertezas críticas para o manejo agrícola da água. A geoestatística possibilita realizar uma descrição quantitativa da variabilidade espacial, contribuindo para o manejo adequado de água e solo. Visando avaliar o comportamento da umidade do solo, no espaço e no tempo, realizou-se um experimento no município de Pesqueira, região Agreste de Pernambuco, Brasil, durante um cultivo de Milho (*Zea mays* L.), irrigado por gotejamento. O experimento foi realizado no período de 30 de março de 2015 a 22 de Junho de 2015, em uma área com malha espaçada de 5 m x 5 m, formando um “grid” 20 m x 25 m, totalizando 30 pontos amostrais. A umidade volumétrica do solo foi monitorada na camada de 0,00-0,20 m utilizando-se o sensor HFM 2010. Os dados foram avaliados adotando-se métodos de estatística descritiva, geoestatística e estabilidade temporal utilizando a diferença relativa e a correlação de Spearman. Verificou-se através dos semivariogramas, dependência espacial da umidade do solo com melhor ajuste aos modelos exponencial e gaussiano. Os graus de dependência espacial apresentaram-se moderado e alto. Através dos mapas de isolinhas, observa-se pontos em que a umidade encontra-se abaixo da ideal, sendo necessário um manejo diferenciado para essas áreas a fim de garantir o suprimento de água ideal para a cultura. Os valores do teste da correlação de Spearman, encontrados mantiveram-se altos durante todo o experimento indicando dependência temporal ao longo de todo o estudo. Através da técnica da diferença relativa foi possível identificar um ponto que representa a média da umidade do solo com alto grau de confiabilidade, sendo este recomendado para o monitoramento da umidade do solo para fins de manejo da irrigação na área.

Palavras-chave: Geoestatística, correlação de Spearman, dependência espacial

CHAPTER I

ABSTRACT

RODRIGUES, R.A.S., MSc., Universidade Federal Rural de Pernambuco; February, 2016. **Space-time variability of soil moisture in a corn crop irrigation drip in Fluvisol.** (Dissertation - Master's Degree in Agricultural Engineering) – Advisor: Dr. Abelardo Antônio de Assunção Montenegro.

Soil moisture has a variability in the spatial and temporal domains, leading to uncertainties critical for agricultural water management. The geostatistics allows performing a quantitative description of spatial variability, contributing to the proper management of water and soil. To evaluate soil moisture behavior, in space and time, conducted an experiment in the municipality of Pesqueira, Agreste region of Pernambuco, Brazil, for a corn crop (*Zea mays* L.), drip irrigation. The experiment was conducted from 30 March 2015 to 22 June 2015, in an area with spaced mesh of 5 m x 5 m, forming a "grid" 20 m x 25 m, totaling 30 sampling points. The volumetric soil moisture was monitored in the layer of 0.00 to 0.20 m using the HFM sensor 2010. The data were evaluated by adopting methods of descriptive statistics, geostatistics and temporal stability using the relative difference and the Spearman correlation. It was found through the semivariogram, spatial dependence of soil moisture with best fit to exponential models and Gaussian. The degrees of spatial dependence showed up moderate and high. Through the contour maps, there are points where the humidity is below the ideal, requiring different management for these areas in order to ensure optimal water supply for the crop. The values of Spearman correlation test found remained high throughout the experiment indicating time dependence throughout the study. Through the relative difference technique it was possible to identify a point that represents the average soil moisture with high reliability, which is recommended for monitoring soil moisture for irrigation management purposes in the area.

Keywords: geostatistics; Spearman correlation; spatial dependence; alluvial valley.

INTRODUÇÃO

A umidade do solo é uma variável importante para a compreensão de processos hidrológicos e climáticos em diversas escalas espaciais e temporais (BROCCA et al., 2009 e HEATHMAN et al., 2009). Dentro do aspecto hidrológico, a dinâmica de umidade do solo apresenta grande relevância para o planejamento agrícola e uso do solo, de modo que esta variável constitui-se em um dos fatores mais importantes nos processos climatológicos e hidrológicos, bem como para estudos hidroagrícolas de infiltração, para utilização na modelagem hidrológica e sedimentológica, além disso, a umidade do solo é importante para o manejo da irrigação e previsão de produtividade, principalmente em áreas sob alta demanda evaporativa. (ÁVILA et al., 2010; SOUZA et al., 2011).

Bernardo et al. (2008) definem irrigação como um método artificial pelo qual a água é aplicada na planta, com o objetivo de suprir as necessidades hídricas na falta de chuva e, além disso, segundo Paulino et al. (2011), a irrigação é um recurso tecnológico fundamental para que a produção de alimentos ocorra em escala suficiente, a fim de suprir as necessidades de uma população mundial que cresce continuamente. A irrigação pode ser encontrada na maioria das áreas agrícolas tecnificadas, pois esta técnica acarreta maiores produtividades, melhor qualidade do produto e independência do fator precipitação, proporcionando às culturas um crescimento produtivo satisfatório (CARVALHO et al., 2013). Tendo em vista a escassez dos recursos hídricos em muitos países, Zegbe et al. (2006) indicam a necessidade de adotar estratégias de irrigação que melhorem a eficiência de uso da água.

Existe uma lacuna no estudo deste tipo de irrigação, que se refere à observação de como a distribuição da água no perfil do solo é afetada pelas propriedades do solo. Além disso, a literatura mostra poucos estudos relacionados ao modo como a água distribui-se na zona das raízes de plantas (0- 0,20 m). Este volume de solo úmido é conhecido por bulbo molhado e esta região é de extrema importância, pois é dela que as raízes das plantas absorvem água e nutrientes (PATEL e RAJPUT, 2008).

Conhecer o conteúdo de água no solo em várias profundidades é importante para compreensão e modelagem da dinâmica do fluxo da água na superfície e subsuperfície (MARTINEZ-FERNANDEZ e CEBALLOS, 2005; PACHEPSKY et al., 2005). Devido à heterogeneidade dos solos, vegetação e topografia, a umidade do solo é extremamente variável ao longo do tempo e espaço e a caracterização dessa variabilidade é ainda um dos principais desafios no âmbito das ciências hidrológicas (VERECKEN et al.,

2007). Dessa forma essas informações em diversos pontos de uma área experimental, obtidas em diferentes momentos ao longo dos ciclos de secagem e umedecimento, servem como base para a compreensão da dinâmica da água no sistema solo-planta (MELO e MONTENEGRO, 2015).

A umidade das camadas do solo apresenta uma variabilidade importante nos domínios espacial e temporal, que pode levar a incertezas críticas para o manejo agrícola da água (GUARIZ et al., 2009). Para Timm et al. (2006), uma melhor compreensão da distribuição espacial da umidade do solo é portanto, útil para uma série de fatores hidrológicos que afetam a produção das culturas.

O conceito de estabilidade temporal, introduzido por Vachaud et al. (1985), consiste na ideia de detectar pontos de monitoramento que apresentam valores que se aproximem à média do total de pontos monitorados (Ávila et al., 2010), buscando representar adequadamente a umidade do solo, com redução do esforço amostral.

Segundo Melo Filho e Libardi (2005), verificar a estabilidade temporal pode gerar informações científicas mais claras e precisas, que podem ser usadas com reduzida incerteza; nesse sentido, uma série de estudos tem sido desenvolvida para compreender melhor a variabilidade espaço-temporal do conteúdo de água no solo, como os de Ávila et al. (2011), Borges et al. (2014), Coppola et al. (2011), Souza et al. (2011), Ibrahim e Huggins (2011), Gao e Shao (2012), entre outros. De modo que o conhecimento detalhado da dinâmica da água, no período de desenvolvimento de uma cultura, fornece elementos essenciais ao estabelecimento e/ou aprimoramento de técnicas de manejo agrícola que visem otimizar a produção. (ROCHA et al., 2005; STARR, 2005).

De acordo Hu et al. (2008), a umidade das camadas do solo apresenta uma variabilidade importante no espaço e no tempo, que pode levar a incertezas críticas e tomadas de decisão importante para o manejo da irrigação. A umidade influencia importantes processos no solo e na planta como movimento de água, compactação do solo, aeração do solo e conseqüentemente desenvolvimento radicular (TIMM et al., 2006). Baseado neste fato, questões referentes à variabilidade espaço-temporal de umidade para diferentes fases de desenvolvimento de uma determinada cultura tornam-se de extremo interesse.

Souza et al. (2011) estudando a variabilidade espaço-temporal da umidade do solo em perímetro irrigado no semiárido pernambucano, observaram que a presença de cobertura morta influencia positivamente a estabilidade temporal da umidade do solo, a medida que a área com cobertura morta apresentou maiores valores médios de umidade

do solo nas camadas de 0-0,20 e 0,20-0,40 m quando comparada a área sem cobertura morta do solo. Os autores enfatizam ainda que a estabilidade temporal da umidade do solo é ainda maior na camada de 0,20-0,40 m, quando comparada a camada de 0-0,20 m fator este que pode ser comprovado pelo baixo valor do coeficiente de variação encontrado.

Para Robinson et al. (2008), a evolução espacial e temporal da umidade do solo é controlada por vários fatores, dentre os quais a topografia e a declividade são os mais destacados durante os períodos úmidos, enquanto para os períodos secos a vegetação, a textura e a estrutura vertical são mais importantes.

Famiglietti et al. (2008) sugerem que a quanto mais realista for a variabilidade espacial do teor de umidade na superfície do solo melhor será a habilidade de previsão dos modelos hidrológicos, climatológicos e de circulação geral, tais quais a evapotranspiração, escoamento superficial, precipitação e variabilidade atmosférica.

Cichota et al. (2006) observaram que a variabilidade da tensão de água no solo pode ser explicada pela tendência temporal e por uma microvariação casual. Ao analisar a autocorrelação, esta mostrou-se forte para estabilidade temporal, o coeficiente de correlação de Spearman foi alto em todas as comparações, provando que há dependência temporal dos dados transformados e as diferenças relativas também evidenciaram um grande número com alta estabilidade, embora houvesse um decréscimo com a profundidade. Os semivariogramas mostraram uma dependência espacial em torno de 4,0 m. O procedimento pareceu ser apropriado por combinar as escalas temporal e espacial para explicar a dependência da variabilidade das propriedades hidráulicas do solo.

Brocca et al. (2009) comentam que a persistência temporal do padrão do conteúdo de água no solo pode ser influenciada pela vegetação, pelas propriedades do solo, pelas condições climáticas e pela topografia. Segundo Sanchez et al. (2009), as formas do relevo podem ser indicadores da variabilidade do conteúdo de água no solo, porque pequenas alterações do declive alteram os processos pedogenéticos, bem como o transporte e a armazenagem de água no perfil do solo. De acordo com Silva et al. (2015), as diferentes trajetórias do fluxo da água, em distintas formas da paisagem, é agente causador de variabilidade e possibilita melhor compreensão dos regimes de secagem e umedecimento do solo. Portanto, estudos que levem ao melhor entendimento de como a água se comporta na zona radicular são convenientes (CRUZ et al., 2005) e de fundamental importância.

Devido à importância da umidade do solo para a produção agrícola, principalmente em regiões semiáridas, este trabalho teve como objetivos analisar a variabilidade espaço-temporal da umidade superficial do solo em um plantio de milho irrigado por gotejamento em Neossolo Flúvico, localizado na Bacia Experimental do Rio Ipanema, no município de Pesqueira, Pernambuco.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo está localizada no município de Pesqueira, região Agreste de Pernambuco, no Assentamento Rural Nossa Senhora do Rosário (Figura 1), situada entre as coordenadas geográficas 8° 15' e 8° 30' de Latitude Sul, 31° 45' e 37° 00' de Longitude Oeste de Greenwich e altitude de 613 metros. O clima é caracterizado como semiárido muito quente tipo Estepe, segundo Köppen. A precipitação média anual é de 607 mm, a temperatura média é de 23 °C e a evapotranspiração potencial é de cerca de 2.000 mm por ano (MONTENEGRO e MONTENEGRO, 2006).

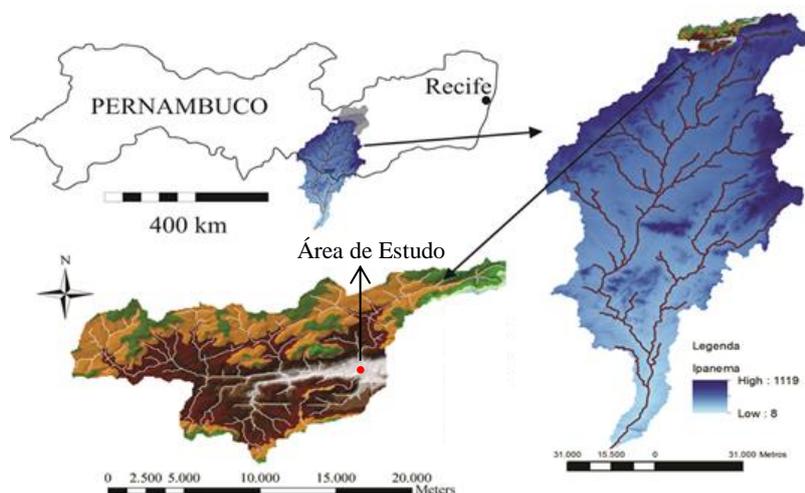


Figura 1. Localização do assentamento Nossa Senhora do Rosário, município de Pesqueira, estado de Pernambuco, Brasil.

O experimento foi realizado no período de 30 de março de 2015 a 22 de Junho de 2015, totalizando 84 dias. O experimento foi instalado em uma área de 500 m². Após aração e gradagem da área, foi realizada uma adubação de fundação nas quantidades 30 kg ha⁻¹ de N; 20 kg ha⁻¹ de K₂O e 40 kg ha⁻¹ de P₂O₅, e adubação de cobertura de 60 kg ha⁻¹, aos 38 dias de cultivo, baseada na análise de solo e nas necessidades da cultura, de acordo com as recomendações para cultura do milho no Estado de Pernambuco (Comissão Estadual de Fertilidade do Solo, 1998). Foram usadas as fontes: Uréia (45% de N), Cloreto de Potássio (58% K₂O) e Super Fosfato Triplo (48% de P₂O₅). Foi

cultivado o híbrido de milho AG 1051 no espaçamento de 1,2 x 0,4 m, duas plantas por cova e com densidade de plantio de 41.666 plantas/ha.

O solo da área de estudo é caracterizado como Neosolo Flúvico. Baseado no modelo de identificação de classes texturais do perfil do solo (triângulo textural simplificado) apresentada por Embrapa (2013), é possível classificar a camada do solo estudada com textura franca. Suas características físicas estão apresentadas na tabela 1:

Tabela 1. Características Físicas do solo do lote irrigado onde o trabalho foi desenvolvido, Pesqueira, Pernambuco, Brasil, 2015.

Profundidade (m)	Areia	Argila	Silte	Densidade (g cm^{-3})	Porosidade ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)
0 – 0,20	397,9	299,5	302,6	1,56	0,41

Na Figura 2 está apresentada a curva de retenção obtida para o solo em que o estudo foi realizado. Para a determinação da curva de retenção de água no solo foram coletadas amostras indeformadas, em anéis metálicos, em três repetições, na profundidade de leitura da umidade, sendo utilizada a câmara de pressão de Richards (Richards, 1965), pertencente ao laboratório de Dinâmica de Água e solo do Departamento de Engenharia Agrícola da UFRPE. As umidades volumétricas do solo foram obtidas para os potenciais matriciais de -10; -33; -100; -500 e -1500 kPa. A curva de retenção foi ajustada pelo modelo de van Genuchten (1980), para a profundidade de 0,20 m.

A umidade do solo correspondente as tensões matriciais na câmara de Richards, no intervalo de aproximadamente de 24 h, foi determinada com base no método proposto pela EMBRAPA (2013).

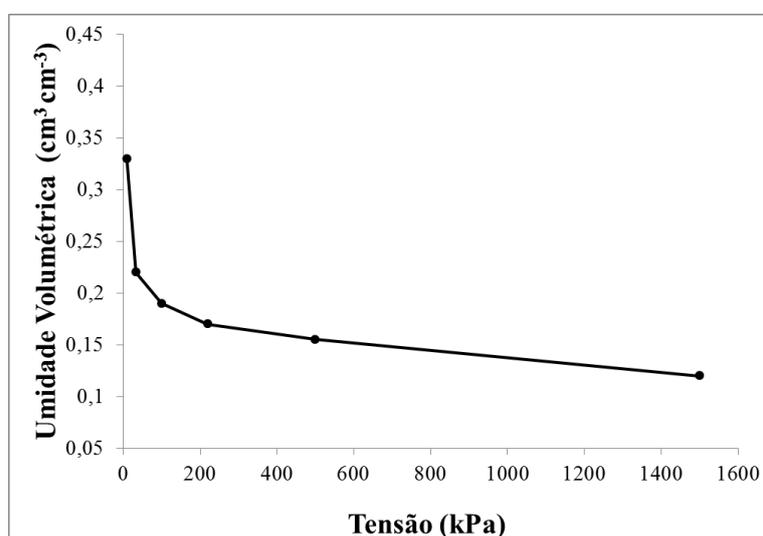


Figura 2. Curva de retenção de água no solo.

A coleta dos dados meteorológicos do local foi realizada na estação meteorológica automatizada, provida de sensores e acessórios necessários para determinação da evapotranspiração de referência pela equação de Penman-Monteith. Foi utilizado um microprocessador de dados tipo datalogger da Campbell Scientific (modelo CR1000/CFM100/OS100) da estação para registro dos dados. Os valores de evapotranspiração de referência (ET_o) e das precipitações pluviométricas ocorridas no período do experimento podem ser visualizados na Figura 3.

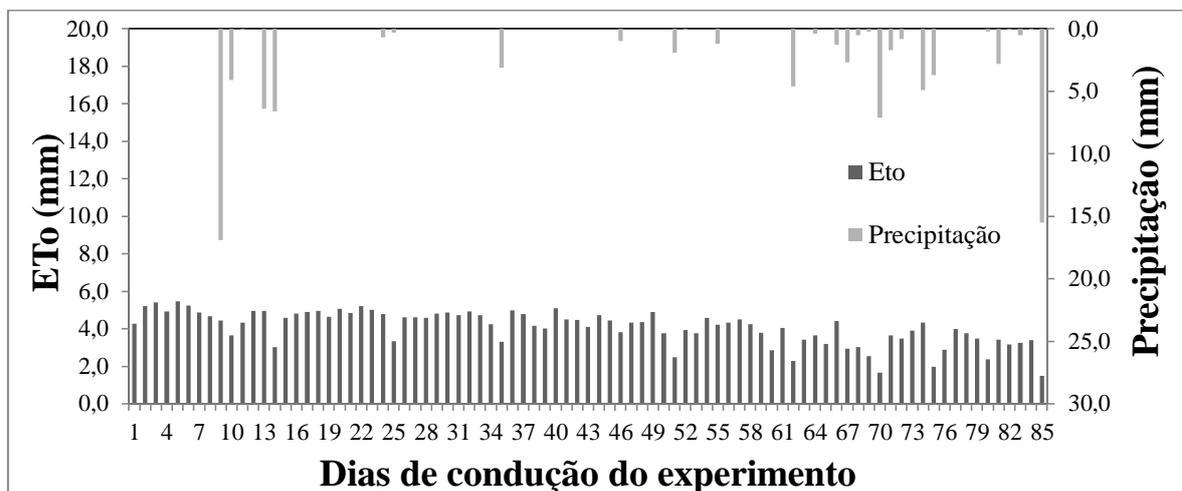


Figura 3. Valores da evapotranspiração de referência (ET_o) e da precipitação durante o ciclo da cultura.

O método de irrigação utilizado foi o localizado por gotejamento compreendendo uma linha lateral por fileira de plantio. A vazão unitária do emissor especificado pelo fabricante é de $1,35 \text{ L h}^{-1}$, pressão de serviço de 10 mca. As linhas laterais eram constituídas de tubos de polietileno de 18 mm de diâmetro externo, e 16 mm de diâmetro interno, com espaçamento de 1,2 m entre linhas laterais e 0,2 m entre gotejadores. O coeficiente de uniformidade de aplicação (CUC), proposto por Christiansen (1942) foi de 93,40% e o Coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) observado foi de 90,31%.

A água utilizada na irrigação da área experimental foi captada de poço tipo Amazonas, com condutividade elétrica (CE) média para o período de estudo de $1,12 \text{ dS m}^{-1}$, e classificada em função da concentração total de sais, como água de salinidade alta, C3 (Richards, 1954).

A lâmina de irrigação adotadas foram baseadas na evapotranspiração da cultura (ET_c), estimada a partir de leituras diárias em Tanque Classe A, de acordo com as equações abaixo, utilizando-se coeficiente de tanque de acordo com condições locais de

vento, umidade relativa e bordadura, igual a 0,75, e coeficientes de cultura (K_c), segundo Doorenbos e Kassan (1986):

$$ET_c = ET_0 * K_c$$

em que,

ET_c = Evapotranspiração da cultura, mm;

ET_0 = Evapotranspiração de referência, mm;

K_c = Coeficiente de cultivo;

Sendo,

$$ET_0 = ECA * K_p$$

em que,

K_p = Coeficiente de tanque.

Sendo,

$$ECA = (L_{ant} - L_{atu}) + P$$

em que,

ECA = Evaporação diária do Tanque Classe “A”, mm;

$L_{anterior}$ = Leitura anterior da régua instalada no tanque, mm;

L_{atual} = Leitura atual da régua instalada no tanque, mm;

P = Precipitação, mm.

Os valores de K_c , para atender as necessidades hídricas nos diferentes estágios de desenvolvimento das plantas de milho irrigado, foi o recomendado por Allen et al. (1998):

Tabela 2. Coeficiente de cultura (K_c) do milho, recomendado por Allen et al. (1998).

Fases	Inicial	Desenvolvimento	Intermediária	Final
K_c	0,15	1,10	1,10	1,00

O tempo para as lâminas de irrigação ao longo do ciclo de cultivo foi obtido a partir da vazão média dos gotejadores, do espaçamento entre emissores e entre linhas de plantio, conforme abaixo:

$$T_i = \left[\frac{ET_c}{\frac{Ea}{q}} \right] \times 60$$

em que:

T_i - tempo de irrigação para cada tratamento, min;

ET_c - lâmina de irrigação a ser aplicada em cada tratamento, mm;

E_a - eficiência de aplicação de água do sistema;

S_p - espaçamento entre emissores, m;

S_l - espaçamento entre linhas de planta, m;

q - vazão média do gotejador, L h⁻¹.

O local de estudo situa-se no agreste pernambucano, região semiárida que durante o estudo, passou por um período de seca severa, caracterizando um período de restrição hídrica. Dessa forma o manejo da irrigação aliado a sistemas de irrigação com alta eficiência e uniformidade de aplicação de água possibilitou a produção agrícola com menor desperdício dos recursos hídricos e produtividade satisfatória. Devido à forte restrição hídrica, a irrigação foi conduzida aplicando metade da lâmina requerida, com base em coeficientes de cultivo preconizados pela literatura, Allen et al. (1998).

A umidade volumétrica do solo foi monitorada na camada de 0,00-0,20 m utilizando-se o sensor HFM 2010 da fabricante Falker. Este aparelho possui um sensor que se baseia na medida eletromagnética denominada Impedância do Solo em Alta Freqüência (ISAF), que é proporcional ao teor de água no solo e que permite determinar a umidade volumétrica (FALKER, 2012). Os ensaios foram conduzidos em uma área com malha regular, espaçada de 5 m x 5 m, formando um “grid” 20 m x 25 m, totalizando 30 pontos amostrais, como mostra a Figura 3.

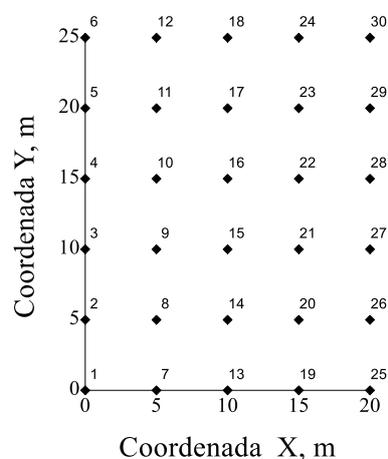


Figura 4. Localização dos pontos de amostragem na área experimental para variável umidade volumétrica do solo (%).

A calibração dos sensores foi realizada no Laboratório de Água e Solo da UFRPE. Foram coletadas amostras de solo em vários pontos da área de estudo, na

camada de 0,00 a 0,20 m. Antes de chegarem ao laboratório, às amostras, foram homogeneizadas, postas para secar ao ar, destorroadas e passadas em peneira com malha de 0,005 mm para retirada das raízes e torrões. Foram utilizadas quatro colunas de acrílico com 0,30 m de comprimento e 0,06 m de diâmetro interno; as colunas foram preenchidas com solo até a altura de 0,28 m, resultando em um volume de 791,68 cm³. Na parte inferior das colunas foi colocado um círculo de manta sintética sobre uma tela, delimitados por um “cap”. Antes de se iniciar o processo de calibração, as colunas de acrílico foram pesadas. Os recipientes de acrílico foram preenchidos com solo seco, procedeu-se a pesagem do conjunto e por diferença determinou-se a massa de solo seco.

Para iniciar os testes, primeiramente, o solo da coluna foi saturado com água deionizada, processo realizado por capilaridade.

Os conjuntos (recipiente de acrílico, solo e sensores) foram colocados sobre uma bancada no laboratório. Sobre a bancada foi instalada uma lâmpada de infravermelho, de modo que oferecesse calor para o conjunto, com a finalidade que o solo perdesse umidade. As medições foram realizadas ao longo do dia, nos horários: 9:00, 10:00, 11:00, 12:00, 13:00, 14:00, 15:00, 16:00, 17:00, 18:00 e 19:00 horas. A umidade foi determinada através do peso do conjunto e a medição com o sensor de umidade HFM 1010. Os dados coletados foram analisados e foram estabelecidas correlações e determinadas equações para transformação da umidade em umidade volumétrica (cm³ cm⁻³) e a umidade percentual calculada, de modo que os sensores sofrem influência de fatores como a salinidade, para que se faça a correção dos valores de umidade (%) medidos em campo.

Ao longo do ciclo de cultivo do Milho foram efetuados 12 instantes de medição da umidade volumétrica do solo com os sensores Hidrofarm, nas seguintes datas após a semeadura (DAS) e momentos: 21/05/2015 (antes da irrigação (52 DAS.1) e após a irrigação (52 DAS.2)), 26/05/2015 (às 10:00 (57 DAS.1), 12:00 (57 DAS.2), 14:00 (57 DAS.3) e 16:00 (57 DAS.4) horas), 03/06/2015 (antes da irrigação (65 DAS.1) e após a irrigação (65 DAS.2)), 11/06/2015 (após a irrigação (73 DAS.1)) e 18/06/2015 (às 12:00 (80 DAS.1), 14:00 (80 DAS.2) e 16:00 (80 DAS.3) horas), o monitoramento foi sempre realizado nos 30 pontos na camada 0,00 – 0,20 m.

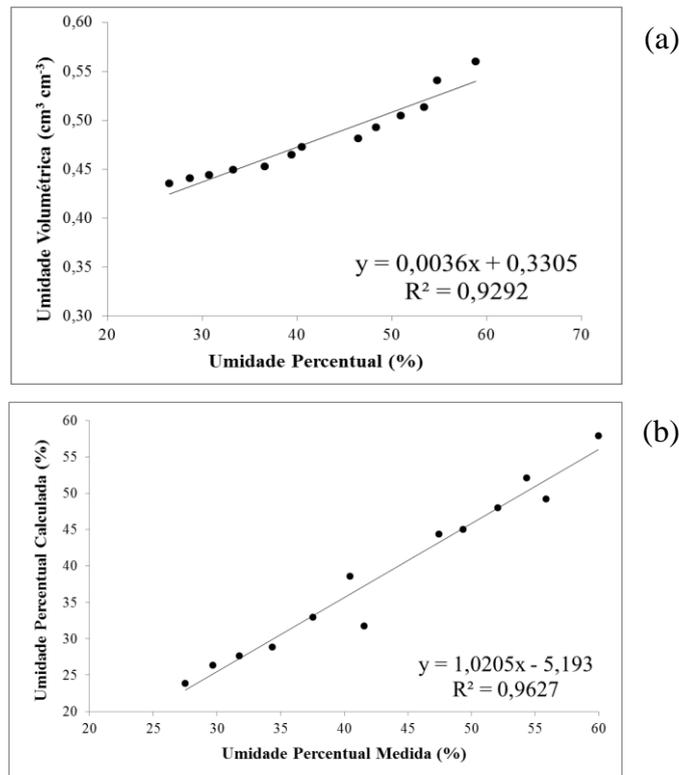


Figura 5. Curvas de calibração dos sensores de umidade falcker: Relação Umidade Volumétrica (cm³ cm⁻³) x Umidade Percentual (%) (a); relação entre umidade percentual calculada (%) x Umidade percentual medida (%) (b).

Foi realizada análise da estatística descritiva para verificar o comportamento dos dados, através da avaliação de medidas de tendência central (média, mediana e moda), dispersão (desvio padrão, variância e coeficiente de variação) e aderência à distribuição normal. De acordo com os valores do coeficiente de variação (CV), a variabilidade foi classificada, segundo Warrick e Nielsen (1980), em baixa ($CV \leq 12\%$); média ($12 < CV \leq 60\%$) e alta variabilidade ($CV > 60\%$). No tocante ao grau de dependência espacial, utilizou-se a classificação proposta por Cambardella et al. (1994), na qual um determinado atributo pode ser considerado como exibindo forte, moderada ou fraca dependência espacial, em função da relação entre o efeito pepita e o patamar de seu semivariograma ajustado. Valores inferiores a 25% caracterizam forte dependência espacial, entre 25 e 75% moderada, enquanto que acima de 75%, fraca dependência.

Os dados discrepantes foram avaliados com base no critério de Hoaglin et al. (1992), que considera discrepantes aqueles dados abaixo do limite inferior (L_i) ou acima do limite superior (L_s), respectivamente, estimados pelas equações abaixo:

$$L_i = Q_i - 1,5AP$$

$$L_s = Q_s + 1,5AP$$

Em que:

Li – limite inferior;

Ls – limite superior;

Qi – quartil inferior;

Qs – quartil superior;

Ap – amplitude entre o 1^a e o 3^a quartil.

Para análise da estabilidade temporal, foram aplicadas duas técnicas de estatística não paramétrica (VACHAUD et al., 1985): diferença relativa, baseada em uma análise dos desvios entre os valores observados individualmente e a média destes; e o teste não paramétrico de Spearman, o qual é utilizado como ferramenta estatística para indicar o grau de concordância da variabilidade espacial obtida em diferentes tempos. A diferença relativa será calculada pela equação abaixo:

$$\delta_{ij} = \frac{\theta_{ij} - \bar{\theta}_{ij}}{\bar{\theta}_{ij}}$$

em que:

δ_{ij} - é a diferença relativa na posição i no tempo j;

θ_{ij} - é o valor do conteúdo de água no solo na posição i e no tempo j;

$\bar{\theta}_{ij}$ - é a média do conteúdo de água no solo, em todas as posições, no tempo j.

$$\bar{\theta}_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \theta_{ij}$$

As diferenças relativas médias, expressas em termos percentuais, associadas ao respectivo desvio-padrão no tempo e ordenadas em ordem crescente, permitirão detectar as posições que representam a média geral do conteúdo de água no solo com determinado nível de confiabilidade. A diferença relativa média para cada ponto pode ser definida de acordo com a equação:

$$\bar{\delta}_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \delta_{ij}$$

em que:

$\bar{\delta}_i$ - é a diferença relativa média;

δ_{ij} - é a diferença relativa na posição i no tempo j;

m - número de dias amostrados.

O desvio padrão da diferença relativa média, de cada ponto, será calculado para uma estimativa da estabilidade temporal.

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{j=1}^m (\delta_{ij} - \bar{\delta}_i)^2}$$

em que:

m - é o número de pontos de monitoramento.

Foi aplicado o teste de Spearman, com o intuito de analisar a existência de tendências temporais na série dos dados de umidade do solo. O coeficiente de correlação de Spearman foi obtido pela equação:

$$cs = 1 - \frac{6 * \sum_{i=1}^N (R_{ij} - R'_{ij})^2}{N^3 - N}$$

em que:

cs - é o coeficiente de correlação de Spearman;

N - é o número de locais de monitoramento;

R_{ij} - é o posto da variável observada no local i na data j;

R'_{ij} - é o posto da mesma variável no mesmo local, mas no dia j'.

Para a análise geoestatística da umidade volumétrica do solo foram utilizadas as ferramentas geoestatística GEOEAS. A dependência espacial será avaliada através do semivariograma clássico construído a partir da estimativa das semivariâncias, dada pela equação abaixo (JOURNAL, 1989):

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^n [Z(X_i+h) - Z(X_i)]^2$$

em que:

$\hat{\gamma}(h)$ - é o valor estimado da semivariância dos dados experimentais;

Z(xi + h) e Z(xi) - são os valores observados da variável regionalizada;

N(h) - o número de pares de valores medidos, separados por uma distância h (LANDIM, 2003)

Segundo Vieira (1995), se a tendência é verificada, deve-se então removê-la dos dados e ajustar o semivariograma para os resíduos. Para tanto, a análise de tendência foi realizada, a qual foi ajustada um polinômio de primeiro e/ou segundo grau, através de planilha eletrônica. Este polinômio é ajustado para os valores da propriedade, em função

das coordenadas, e o resíduo foi obtido pela diferença entre valor medido e valor do polinômio em cada ponto. Atrvés do polinômio ajustado foi observada a presença de tendência para todos os momentos de avaliação da umidade do solo nesse estudo.

De posse do semivariograma experimental o procedimento foi o ajuste dos dados a um modelo teórico e se testarão os modelos exponencial, gaussiano e esférico, sendo escolhido aquele que apresentou ajuste adequado aos valores experimentais e erros padronizados com média próxima a zero e desvio padrão próximo à unidade, segundo o critério de Jack-Knifing. O ajuste matemático possibilitará definir os seguintes parâmetros: efeito pepita (C_0), alcance da dependência espacial (A) e patamar (C_0+C_1). São apresentados, a seguir, os três modelos teóricos considerados:

- Modelo Exponencial:

$$\hat{\gamma}(h)=C_0+C_1 \left[1-e^{-\left(\frac{h}{A}\right)} \right] \quad h \neq 0$$

- Modelo Gaussiano:

$$\hat{\gamma}(h)=C_0+C_1 \left[1-e^{-\left(\frac{h^2}{A^2}\right)} \right] \quad h \neq 0$$

- Modelo Esferico:

$$\hat{\gamma}(h)=C_0+C_1 \left[1,5 \frac{h}{A} - 0,5 \left(\frac{h}{A}\right)^3 \right] \quad 0 < h < A$$

$$\hat{\gamma}(h)=C_0+C_1 \quad h > A$$

Após os semivariogramas ajustados para os resíduos, esses valores foram adicionados aos dados medidos para a realização do mapeamento, através da técnica da krigagem. Após a validação do semivariograma foi realizada a krigagem universal dos dados e os mapas de isolinhas foram confeccionados.

RESULTADO E DISCUSSÃO

A fim de avaliar a distribuição e a variabilidade espacial da umidade volumétrica do solo nos diferentes instantes de medição, realizou-se uma análise exploratória dos dados através das medidas de posição e dispersão (Tabela 3) e do gráfico box plot (Figura 6).

Tabela 3. Estatística descritiva para os dados de umidade volumétrica do solo (%) durante o ciclo do milho, na profundidade de 0,20 m.

Estatística Descritiva	n	Média	Mediana	1º Quartil	3º Quartil	Variância	Desvio Padrão	Assimetria	Curtose	CV (%)
52 DAS.1	30	15,69	15,65	14,8	16,6	1,42	1,19	0,022	-0,737	7,58
52 DAS.2	30	26,88	26,85	26,2	27,6	0,8	0,9	-0,005	-0,725	3,34
57 DAS.1	30	24,01	24,05	23,4	24,6	0,72	0,85	0,034	-0,728	3,54
57 DAS.2	30	18,98	18,95	18,3	19,7	0,86	0,93	0,012	-0,704	4,9
57 DAS.3	30	10,29	10,25	9,7	10,9	0,63	0,79	0,034	-0,779	7,67
57 DAS.4	30	7,49	7,45	6,9	8,1	0,56	0,75	-0,018	-0,716	10,01
65 DAS.1	30	9,48	9,45	9,1	9,9	0,39	0,63	0,087	-0,764	6,64
65 DAS.2	30	19,32	19,35	18,6	20	0,87	0,93	-0,019	-0,743	4,81
73 DAS.1	30	24,35	24,35	23,5	25,2	1,33	1,15	0	-0,683	4,72
80 DAS.1	30	18,74	18,75	18,3	19,2	0,38	0,62	-0,102	-0,655	3,3
80 DAS.2	30	16,91	16,95	16,4	17,4	0,44	0,66	0,012	-0,704	3,9
80 DAS.3	30	13,72	13,75	13,2	14,2	0,48	0,69	0,026	-0,684	5,03

O coeficiente de variação (CV) de acordo com a classificação utilizada por Warrick & Nielsen (1998) considera que a umidade do solo para a área estudada apresenta baixa variabilidade para todos os instantes avaliados. Observou-se que os valores de média, mediana, desvio padrão e variância não apresentaram grandes variações entre os instantes de medição de umidade do solo, quando comparados os instantes de medição antes da irrigação, após a irrigação e durante as horas do dia. Outro fator que explica esse comportamento dos dados é o fato deles terem obedecido a distribuição Normal de frequências, comprovado pelo teste de Kolmogorov Smirnov ao nível de 5% de significância.

Souza et al. (2008) avaliando a variabilidade espacial da umidade do solo em um Neossolo Flúvico com uso de irrigação localizada, encontraram baixa e média variabilidade, utilizando uma malha regular de 5 m × 5 m, com coeficientes de variação variando de 7,79 à 21,11 %. Camargo et al. (2010) afirmam que se os atributos apresentam alta variabilidade, suas médias podem não ser representativas da área de estudo, por isso a importância da realização da estatística descritiva antes da análise geoestatística.

Quando comparados os instantes de medição antes (52 DAS.1 e 65 DAS.1) e após (52 DAS.2 e 65 DAS.2) a irrigação observa-se que os coeficientes de variação (CV) são maiores para os momentos antes da irrigação e diminuem em 56 % e 28 % a variabilidade espacial na área. Guimarães et al. (2010) constataram que após a aplicação de água, a baixa uniformidade da aplicação impôs certa dispersão nos valores de água armazenada no solo, verificado pelo aumento do CV de 7,6% para 11,19%. Porém, com o tempo, verificou-se que a dispersão diminuiu, havendo uma tendência para retornar ao

padrão inicial. Rezende et al. (2002) explicam que a redistribuição e o consumo de água pelas plantas tendem a uniformizar o conteúdo de água no solo, além de estarem relacionados com a variabilidade espacial intrínseca do solo.

Procurou-se também avaliar a variabilidade espacial da umidade do solo ao longo do dia. Ao contrário do que ocorre quando se compara os coeficientes de variação antes e após a irrigação, para os instantes de avaliação ao longo do dia, observou-se que os valores de CV aumentam à medida que o dia vai avançando, a temperatura do ar vai aumentando, e os valores encontrados para a umidade do solo diminuem. No instante 57 DAS.1 o CV observado foi de 3,54% enquanto que o CV para o momento 57 DAS.4 foi de 10,01%, o que significou um aumento de quase 300% da variabilidade espacial da umidade do solo ao longo do dia. Esse fato pode ser explicado pelos altos valores de evapotranspiração observados ao longo do dia, que regem a dinâmica de absorção de água no solo aliado as suas características físicas.

Os instantes de medição mais úmidos são os de menor variabilidade, o que já era esperado, quando trabalha-se em perímetros irrigados com uso de sistemas localizados por gotejamento, isso pode ser explicado pelos altos valores observados para o coeficiente de uniformidade de aplicação (CUC) e o Coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) que foram de 93,40% e 90,31%, respectivamente, promovendo acentuado incremento de umidade do solo, porém bem distribuída no espaço. Não foram observados valores discrepantes para nenhum dos instantes de monitoramento, não havendo valores atípicos durante todo o experimento. Pode-se observar que a umidade do solo apresentou variabilidade temporal acentuada entre o período de estudo, porém ficou evidente que os instantes de medição antes e após a irrigação e durante o dia influenciaram diretamente na amplitude interquartilica e das amostras.

Ao se analisar os coeficientes de assimetria foram observados que os valores encontrados para a umidade do solo (%) não apresentaram altos valores, a distribuição dos dados foi Normal. Segundo Webster e Oliver (2007), o coeficiente de assimetria dos dados entre os valores de 0 e 0,5 não indica a necessidade de transformação, um coeficiente entre 0,5 e 1,0 a transformação em raiz quadrada é a mais recomendável e um coeficiente maior que 1,0, se faz necessário a transformação logarítmica dos dados. e a análise geoestatística foi realizada.

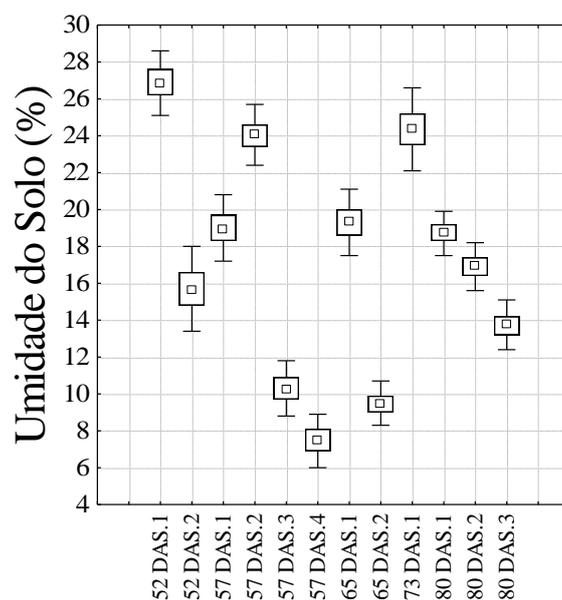


Figura 6. Gráfico "Box-Plot" para a umidade volumétrica do solo (%) nos 12 instantes de medição.

Na Tabela 4 pode ser visualizado o resultado da análise geoestatística com o modelo de melhor ajuste dos semivariogramas e com os seus respectivos parâmetros (efeito pepita - C_0 ; patamar - $C_0 + C_1$ e alcance - A), grau de dependência (GD) e coeficiente de determinação = R^2 , para a variável umidade do solo para a profundidade de 0,20 m, nas respectivas datas de monitoramento.

Tabela 4. Parâmetros do semivariograma, para umidade volumétrica do solo (%) na profundidade de 0,20 m.

Instantes de medição	C_0	$C_0 + C_1$	A(m)	GD (%)	Modelo	R^2	Parâmetros da Validação dos Semivariogramas	
							Média	Desvio Padrão
52 DAS.1	0,003	0,47	16,21	0,65	Exp.	0,913	0,011	0,997
52 DAS.2	0,009	0,423	10,18	2,23	Exp.	0,917	0,018	1,001
57 DAS.1	0,0004	0,456	16,21	0,09	Exp.	0,922	0,012	0,998
57 DAS.2	0,092	0,532	20,12	17,29	Gaus.	0,897	0,018	1,005
57 DAS.3	0,003	0,384	14,17	0,84	Exp.	0,909	0,013	0,997
57 DAS.4	0,059	0,385	14,17	15,39	Exp.	0,918	0,015	0,998
65 DAS.1	0,066	0,529	17,63	12,51	Gaus.	0,919	0,016	1,006
65 DAS.2	0,035	0,411	14,23	8,59	Exp.	0,915	0,015	1,003
73 DAS.1	0,125	0,49	17,82	25,63	Gaus.	0,900	0,011	1,007
80 DAS.1	0,009	0,407	14,13	2,36	Exp.	0,912	0,012	0,989
80 DAS.2	0,007	0,511	14,18	1,55	Exp.	0,914	0,019	0,990
80 DAS.3	0,181	0,423	18,47	42,88	Gaus	0,919	0,013	1,002

Exp. – Modelo Exponencial; Gaus. – Modelo Gaussiano.

Os semivariogramas experimentais mostraram a existência de uma estrutura de dependência espacial, as Figuras 7 e 8 apresentam os modelos ajustados e as semivariâncias experimentais.

Os modelos que melhor se ajustaram para a variável umidade volumétrica do solo foi o modelo exponencial, com alcances variando de 10,18 m (52 DAS.2) a 16,21 m (57 DAS.1), e gaussiano onde seus alcances variaram de 17,63 m (65 DAS.1) a 20,12 m (57 DAS.2), sendo os ajustes que apresentaram a sua média mais próxima a zero e desvio padrão próximo a um segundo a técnica de validação cruzada de Jack-Knifing, detalhada por Montenegro e Montenegro (2006).

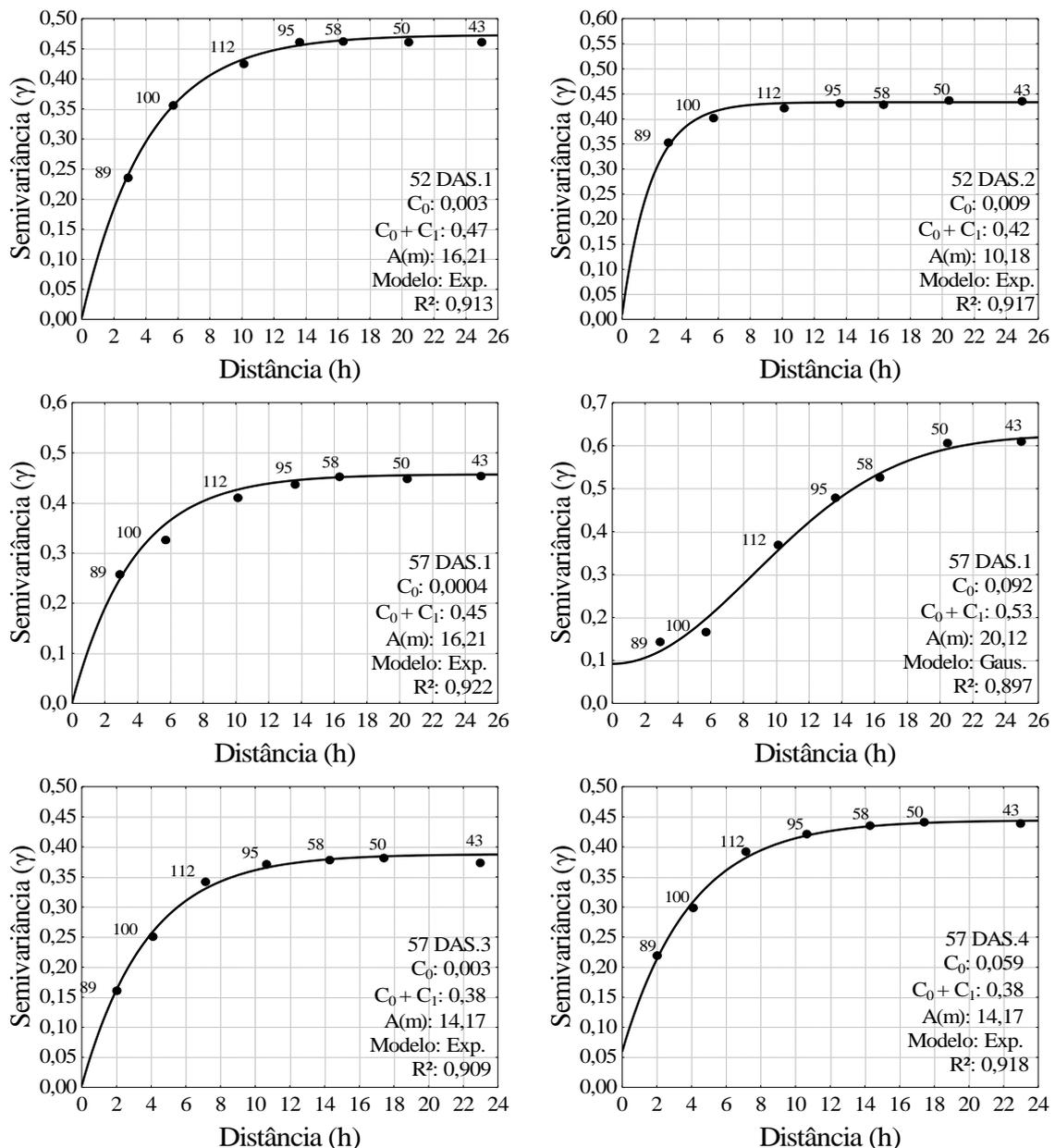


Figura 7. Semivariogramas ajustados para a variável umidade volumétrica do solo (%) na profundidade 0,00–0,20 m.

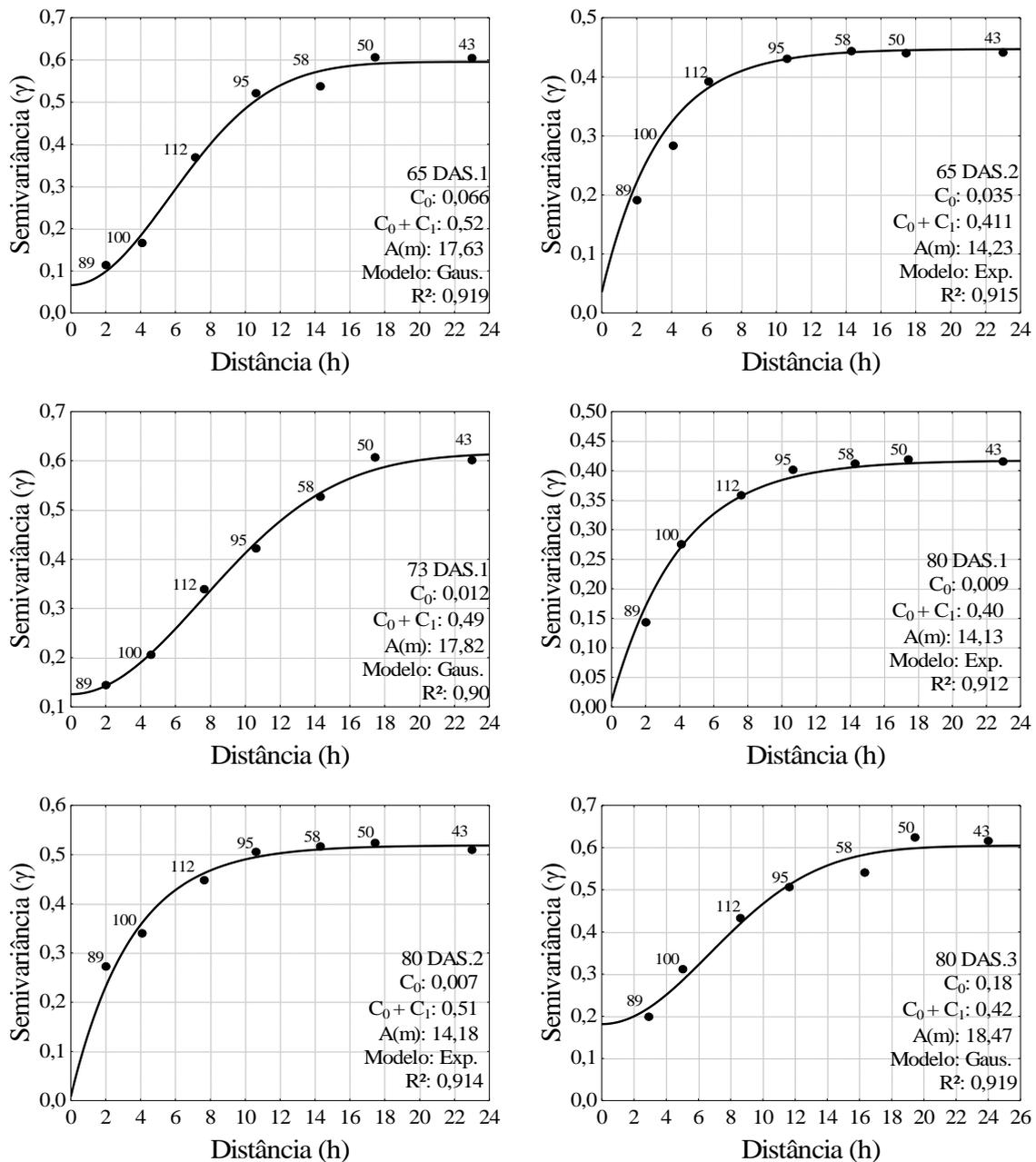


Figura 8. Semivariogramas ajustados para a variável umidade volumétrica do solo (%) na profundidade 0,00–0,20 m.

No tocante ao grau de dependência espacial apresentaram-se moderado nos momentos de monitoramento 73 DAS.1 e 80 DAS.3, com GD (%) de 25,63 e 42,88 respectivamente. Para os demais instantes de medição o grau de dependência espacial foi alto, uma vez que os valores observados mantiveram-se inferiores a 25%. Segundo Cambardella et al. (1994) quando se obtêm forte dependência espacial em atributos do solo a variabilidade é controlada por fatores intrínsecos como por exemplo textura, densidade e porosidade do solo. De modo que, dependências espaciais moderadas e fracas podem estar relacionadas à ação antrópica, como aração e gradagem. No caso

deste estudo, outro fator importante que deve ser levado em consideração foi citado por Montenegro e Montenegro (2006), pois o lote irrigado em que o estudo foi desenvolvido pertence a um vale aluvial, e a dependência espacial pode estar associada a processos geomorfológicos, que ocorrem pela acumulação e distribuição desuniforme de sucessivos depósitos de materiais oriundos de outros lugares, proporcionados pela posição topográfica.

Nas Figuras 9 e 10 apresentam-se os mapas de isolinhas a umidade solo (%).

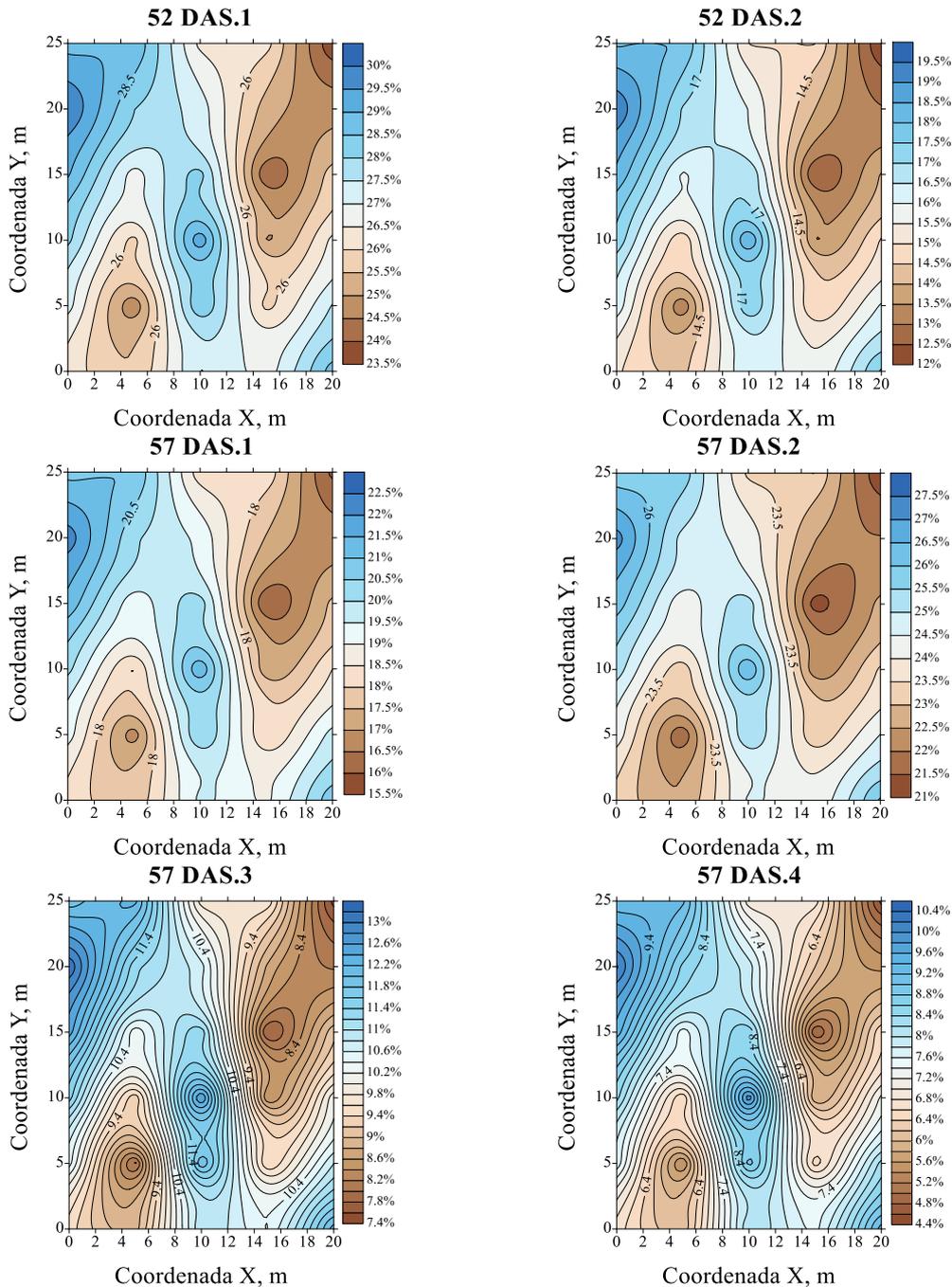


Figura 9. Mapa de isolinhas ajustados para a variável umidade volumétrica do solo (%).

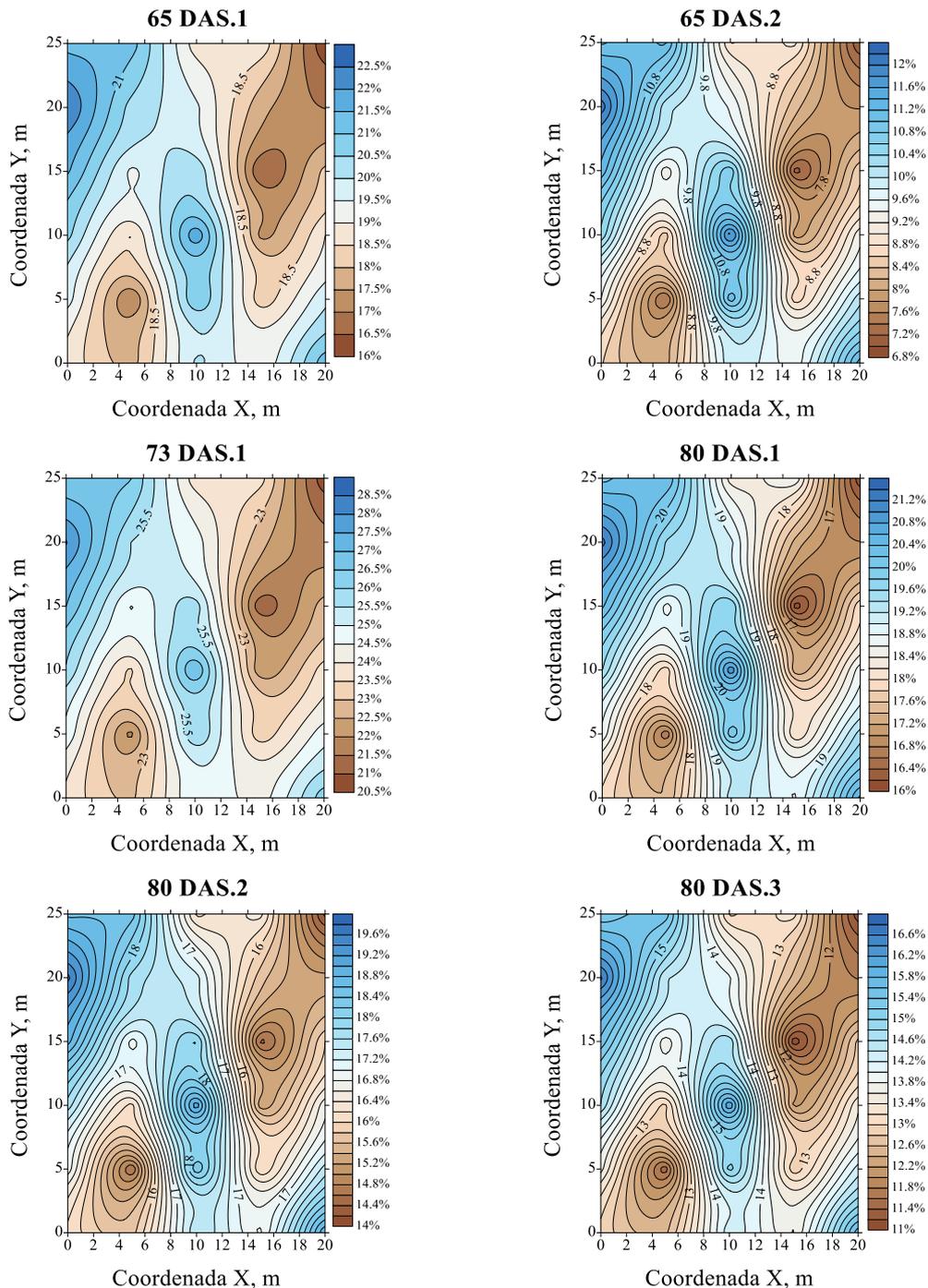


Figura 10. Mapa de isolinhas ajustados para a variável umidade volumétrica do solo (%).

Observa-se que os valores mais elevados de umidade se concentram na parte superior esquerda dos mapas, e assim foi o comportamento durante todos os períodos em que o estudo foi realizado. Portanto, observa-se que há uma uniformização da umidade do solo, com locais mais úmidos e mais secos para todo o ciclo da cultura. Souza et al. (2008) afirmam que os mapas de isolinhas são de grande importância, de posse dessas informações pode-se examinar as regiões sistematicamente com baixa

umidade, e daí verificar possíveis desuniformidades de aplicação de água pelo sistema de irrigação ou a existência de uma possível “mancha de solo”.

A Tabela 5 apresenta os coeficientes de correlação de Spearman para a umidade do solo nos 12 instantes de medição, na camada 0-0,20 m. Percebe-se que há uma queda nos índices da correlação com a evolução do experimento, fato este que indica uma mudança de correlação em alguns locais amostrados. Entretanto, tais valores dos coeficientes, foram elevados, apresentando significância a 5% de probabilidade. Em termo espaço-temporal este comportamento indica a existência de estabilidade temporal forte nas posições monitoradas, de modo que os coeficientes se mantiveram bem próximos de 1. O limite crítico de correlação foi de 0,40, para uma significância de 5% de probabilidade. Logo, todos os instantes de monitoramento apresentaram uma significativa correlação para os pontos estudados.

Tabela 5. Coeficientes de correlação da umidade volumétrica do solo (%) entre os instantes de monitoramento na profundidade de 0,20 m. Todas as comparações foram significativas a $p < 0,05$.

	52 DAS.1	52 DAS.2	57 DAS.1	57 DAS.2	57 DAS.3	57 DAS.4	65 DAS.1	65 DAS.2	73 DAS.1	80 DAS.1	80 DAS.2	80 DAS.3
52 DAS.1	1,00	0,93	0,90	0,95	0,89	0,86	0,85	0,80	0,77	0,79	0,72	0,62
52 DAS.2		1,00	0,94	0,96	0,85	0,86	0,80	0,77	0,75	0,76	0,70	0,60
57 DAS.1			1,00	0,97	0,88	0,90	0,84	0,83	0,81	0,79	0,74	0,63
57 DAS.2				1,00	0,92	0,88	0,88	0,83	0,82	0,84	0,76	0,65
57 DAS.3					1,00	0,88	0,85	0,98	0,78	0,82	0,70	0,60
57 DAS.4						1,00	0,85	0,84	0,76	0,77	0,68	0,60
65 DAS.1							1,00	0,97	0,95	0,92	0,81	0,74
65 DAS.2								1,00	0,92	0,89	0,80	0,71
73 DAS.1									1,00	0,97	0,94	0,85
80 DAS.1										1,00	0,96	0,85
80 DAS.2											1,00	0,97
80 DAS.3												1,00

Salvador et al. (2012), estudando a estabilidade temporal da umidade do solo observaram que todos os valores foram altamente significativos variando de 0,599 a 0,978 para a camada de 0,0-0,20 m indicando forte estabilidade temporal das posições dos pontos de observação durante o ciclo do feijoeiro. Durante o ciclo da aveia-preta, os valores de variaram de 0,632 a 1,000 na camada de 0,00-0,20 m indicando forte estabilidade temporal das posições dos pontos de observação. Schneider et al. (2008) indicou que os locais representativos são adequados para estimar a média da umidade do solo da área de estudo ao longo de vários anos.

Os valores mais baixos dos coeficientes da correlação são subestimados, enquanto que os valores mais altos são superestimados, pelos locais representativos para

a camada de solo 0-0,2 m. Estes valores discrepantes podem ocorrer devido à maior susceptibilidade de umidade do solo a evapotranspiração e precipitação nessas posições menos representativas, que podem estar ligadas às propriedades de superfície do local. Entretanto, a identificação de locais de tempo-estável para estimar a umidade do solo média de toda a área de interesse de estudo apresenta como principal vantagem, a redução do número necessário de amostras, mantendo uma alta precisão da predição da umidade do solo. Resultados semelhantes também foram observados por diversos autores, que estudaram a estabilidade temporal da umidade do solo como Rocha et al. (2005), Coppola et al. (2011) e Gao e Shao (2012).

Na Figura 11 apresentam-se os resultados das diferenças relativas médias (DR's), a diferença relativa média intertemporal e desvio padrão da umidade do solo (%), para a profundidade de 0,20 m. É possível identificar os pontos de amostragem que apresentam os valores mais próximos da média, para todos os instantes de monitoramento. Para a área estudada, o ponto que mais se aproximou do valor médio da umidade, que apresentou a diferença relativa mais próxima de zero, durante o tempo experimental dentro da malha de amostragem, foi o ponto 10, apresentando um valor de $-0,26 (\pm 2,63\%)$. Ainda com base na Figura 4, observa-se alguns pontos que apresentaram valores de diferença relativa média próxima a 0, porém apresentaram desvios padrões elevados, como por exemplo os pontos 25 e 24, que apresentaram, respectivamente desvios-padrões de 3,21 e 5,11. Além dos pontos em que a posição mais se próxima da média, pode-se também observar os locais em que a umidade do solo (%) foi subestimada ou superestimada a média durante todo o período de experimento, estas posições foram os pontos 30 e 5 respectivamente, com valores de DR e desvios-padrão de $-10,56 (\pm 55,76\%)$ e $10,54 (\pm 19,63\%)$. A estabilidade temporal das camadas superficiais é regida e dependente de fatores climáticos, vegetação, características físicas do solo que influenciam a dinâmica de umidade do solo (Pachepsky et al., 2005 e Vanderlinden et al., 2012).

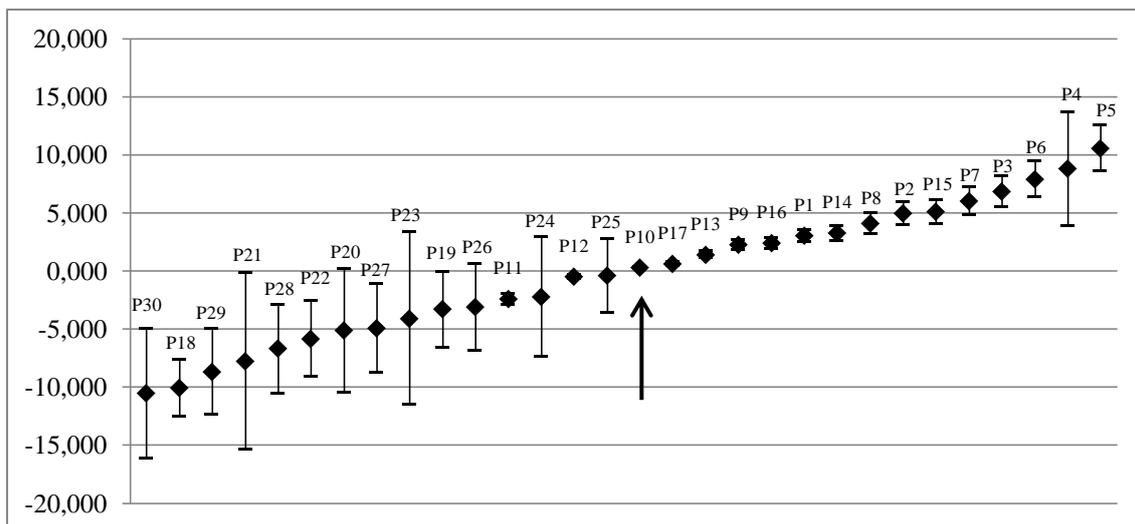


Figura 11. Diferença relativa média intertemporal e desvio padrão para a umidade volumétrica do solo (%), na profundidade de 0,20 m. Valor em destaque indica o ponto que deve ser adotado para medida representativa da umidade volumétrica média do solo.

Souza et al. (2011) avaliaram a estabilidade temporal da umidade solo em um neossolo flúvico irrigado e observaram a presença de um ponto estável para a camada de 0,00 a 0,020 m, com os valores da correlação de Spearman altamente significativos variando de 0,42 a 0,98, com um valor de diferença relativa média de $-0,28 (\pm 2,86\%)$. O autor identificou também as posições que subestimaram ou superestimaram a média com valores de DR e desvios-padrão de $-32,55 (\pm 16,9\%)$ e $17,64 (\pm 4,67\%)$.

A Figura 12 compara a média da umidade volumétrica do solo durante o tempo de estudo com o ponto representativo encontrado pela técnica da diferença relativa, onde se observa uma forte semelhança. Embora alguns instantes de medição não coincidam exatamente com a média, as diferenças encontradas são mínimas. É possível concluir com base na Figura 12 que a técnica proposta por Vachaud et al. (1985) possibilitou a obtenção de resultados satisfatórios, conseguindo identificar as posições monitoradas que melhor representem a média da umidade volumétrica do solo durante os instantes de medição, em termos práticos a obtenção desses pontos acarreta em menor número de amostragens para estimar uma média representativa com elevada exatidão da área em que se deseja realizar o monitoramento.

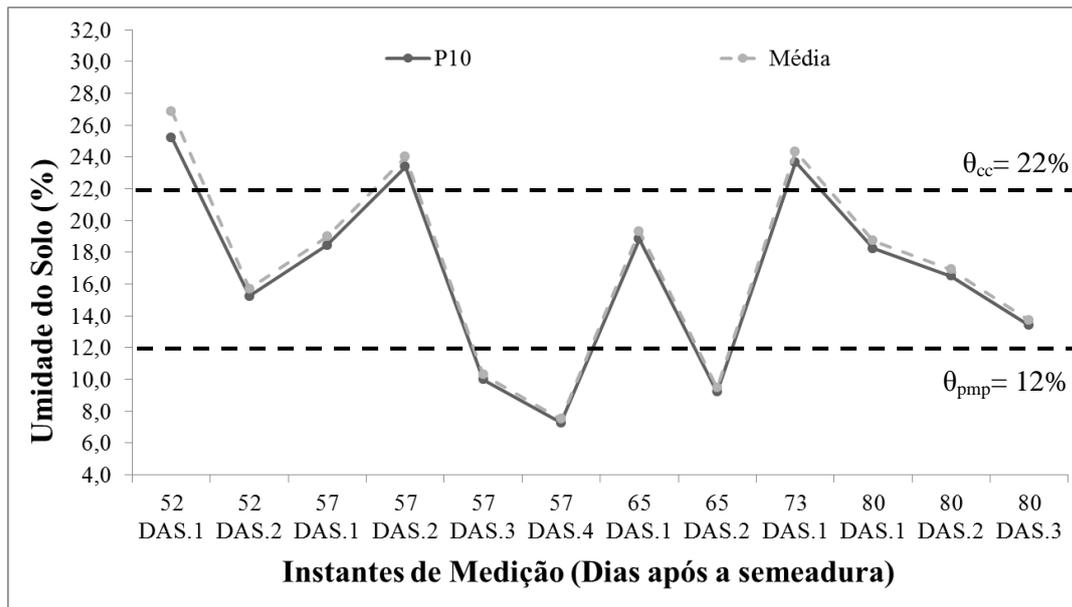


Figura 12. Comparação entre os valores médios de umidade volumétrica do solo (%) e as umidades do solo (%) nas posições com estabilidade temporal nos 12 instantes de amostragem.

Na Figura 12, é possível observar que o manejo da irrigação adotado permitiu que a umidade volumétrica do solo se mantivesse, na maior parte do ciclo da cultura, como água disponível para a cultura. Em 3 instantes de medição a umidade do solo esteve a cima da umidade em capacidade de campo (θ_{cc}). E em outras 3 a planta foi submetida a situação de estresse de modo que a umidade do solo medida estava abaixo do ponto de murcha (θ_{pmp}). Portanto, o balanço hídrico entre a evapotranspiração de referência (E_{Tr}) e a lâmina de irrigação aplicada durante o ciclo de cultivo foi aproximadamente a ideal para o ciclo do cultivo, sendo que a necessidade hídrica das plantas foi satisfeita com o manejo aplicado.

Segundo Reinert et al. (2001), a textura é uma das características que tem influência na movimentação da água no solo, uma vez que determina a quantidade de macroporos presentes no perfil do solo, os quais são de extrema importância na sua condutividade hidráulica do solo. Dessa forma, solos arenosos, possuem maior quantidade de macroporos que os de textura argilosa e, conseqüentemente, apresentam maior condutividade hidráulica e taxa de infiltração. Li et al. (2004) complementam a informação explicando que em solos de textura muito argilosa, o máximo diâmetro molhado ocorre na superfície, e por outro lado, em solos de textura arenosa, o máximo diâmetro molhado ocorre mais profundamente. O movimento do ar e da água no solo ocorre através dos macroporos, enquanto que, nos microporos, o movimento do ar é dificultado, e o da água fica restrito principalmente a capilaridade. Dessa forma, apesar dos solos arenosos apresentarem reduzida porosidade total, os movimentos do ar e da

água são rápidos nesses solos, em função da predominância de macroporos. Já nos solos de textura argilosa, apesar de apresentarem grande espaço poroso, o movimento de água é relativamente lento, devido à presença predominante de microporos. Nesse sentido, a infiltração de água no solo acaba diminuindo a perda de água por evaporação, já que o sentido do fluxo vertical ocorre de maneira mais rápida (PIZARRO, 1996).

O cultivar AG 1051 é um híbrido de aptidão dupla, de ciclo semiprecoce, de cor amarelada e textura dentada, indicado para uso do grão, silagem da planta inteira e milho verde (CRUZ e PEREIRA FILHO, 2006). O milho (*Zea mays* L.) é considerado um dos principais cereais produzidos no mundo sendo o mais cultivado no Brasil, é uma cultura que possui um enorme contraste de produtividade entre as diferentes regiões do país, sofrendo influência das diferentes condições climáticas e de cultivo os quais é submetido (SOUZA et al., 2011). Elevados níveis de produtividades de grãos de milho, são consequências da necessidade de adequação da cultura as práticas de manejo, aos recursos disponíveis no ambiente, de modo a proporcionar melhores condições ao desenvolvimento vegetativo das plantas (SERPA et al., 2012).

Mediante as condições que o cultivo foi submetido, ao fim do ciclo da cultura foi possível a obtenção de aproximadamente 945 espigas de milho, com peso médio da espiga com a palha de 0,3 kg, resultando em uma produtividade de 3.150 kg ha⁻¹. Borges et al. (2015), estudando a influência de práticas conservacionistas na produtividade de milho, cultivar AG 1051 em condições de sequeiro, no agreste pernambucano, obtiveram produtividade média de 5.255 kg ha⁻¹.

Apesar da produtividade satisfatória a planta teve seu desenvolvimento afetado ao fim do ciclo, obtendo diâmetro médio do colmo de 18,73 mm; número médio de folhas 10; altura média das plantas 1,57 metros; diâmetro médio da espiga com a palha 54,70 mm; diâmetro médio da espiga sem a palha 44,35 mm; comprimento médio da espiga com a palha 28,26 cm; comprimento médio da espiga sem a palha 18,63 cm; peso médio da espiga com a palha 0,30 kg; peso médio da espiga sem a palha 0,20 kg; e o número médio de fileiras de grãos 14,67.

CONCLUSÕES

1. Os valores de umidade volumétrica do solo (%) obedeceram à distribuição Normal de frequências, comprovado pelo teste de Kolmogorov Smirnov ao nível de 5% de significância;

2. Verificou-se, através dos semivariogramas, dependência espacial da umidade do solo com melhor ajuste aos modelos exponencial, com alcances variando de 10,18 m (52 DAS.2) a 16,21 m (57 DAS.1), e gaussiano onde seus alcances variaram de 17,63 m (65 DAS.1) a 20,12 (57 DAS.2);
3. O grau de dependência espacial apresentou-se moderado nos momentos de monitoramento 73 DAS.1 e 80 DAS.3, com GD (%) de 25,63 e 42,88 respectivamente. Para os demais os instantes de medição o grau de dependência espacial encontrado foi alto;
4. A confecção dos mapas de isolinhas possibilitou a observação de áreas em que a umidade volumétrica do solo encontra-se abaixo da umidade média, sendo necessária a adoção de um manejo de irrigação diferenciado a fim de satisfazer as necessidades hídricas das culturas em plantios futuros;
5. Os valores do teste da correlação de Spearman, encontrados mantiveram-se altos durante todo o experimento indicando dependência temporal ao longo de todos os instantes de monitoramento da umidade volumétrica do solo;
6. Foi possível identificar, através da técnica da diferença relativa, o ponto que representa a média da umidade volumétrica do solo com alto grau de confiabilidade e baixa incerteza ao longo do período de estudo;
7. O ponto 10 é o mais indicado para a instalação de um sensor de umidade a fim de monitorar a umidade do solo para fins de manejo de irrigação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. 300p. (FAO. Irrigation and drainage paper, 56).

ÁVILLA, L. F.; MELLO, C. R.; MELLO, J. M.; SILVA, A. M. Padrão espaço-temporal da umidade volumétrica do solo em uma bacia hidrográfica com predominância de Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.1801-1810, 2011.

ÁVILA, L. F.; MELLO, C. R.; SILVA, A. M. Continuidade e distribuição espacial da umidade do solo em bacia hidrográfica da Serra da Mantiqueira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.12, p.1257-1266, 2010.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. Manual de Irrigação. 8 ed. Viçosa: UFV, 2008. 625 p.

BORGES, T. K. S.; MONTENEGRO, A. A. A.; SANTOS, T. E. M.; SILVA, D. D.; SILVA JÚNIOR, V. P. Influência de práticas conservacionistas na umidade do solo e no cultivo do milho (*Zea mays* L.) em semiárido nordestino. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v.38, n.6, p.1862-1873, 2014.

BROCCA, L.; MELONE, F.; MORAMARCO, T.; MORBIDELLI, R. Soil moisture temporal stability over experimental areas in Central Italy. **Geoderma**, v.148, p.364-374, 2009.

CAMARGO, L. A.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Spatial variability of physical attributes of an alfisol under different hillslope curvatures. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.617-630, 2010.

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 America Journal**, v.58, p.1501-1511, 1994.

CARVALHO, I. R.; KORCELSKI, C.; PESLISSARI, G.; HANUS, A. D.; ROSA, G. M. Demanda hídrica das culturas de interesse agrônomico. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer**, v.9, n.17, p.969- 985, 2013.

CARVALHO, J. F.; MONTENEGRO, A. A. A.; SOARES, T. M.; SILVA, E. F. F.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Produtividade do repolho utilizando cobertura morta e diferentes intervalos de irrigação com água moderadamente salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.256-263, 2011.

CEFS – Comissão Estadual de Fertilidade do Solo. Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco. (2ª aproximação) 3. ed. revisada. Recife: Instituto Agrônomico de Pernambuco - IPA, 212p. 2008.

CICHOTA, R.; HURTADO, A. L. C.; VAN LIER, Q. J. Spatio-temporal variability of soil water tension in a tropical soil in Brazil. **Geoderma**, v.133, n.1, p.31-243, 2006.

COPPOLA, A.; COMEGNA, A.; DRAGONETTI, G.; LAMADDALENA, N.; KADER, A. M.; COMEGNA, V. Average moisture saturation effects on temporal stability of soil water spatial distribution at field scale. **Soil Tillage Resources**, v.114, p.155-164, 2011.

CRUZ, A. C. R.; LIBARDI, P. L.; CARVALHO, L. A.; ROCHA, G.C. Balanço de água no volume de solo explorado pelo sistema radicular de uma planta de citros. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.29, p.1-10, 2005.

CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A. Cultivares de Milho Disponíveis no Mercado de Sementes do Brasil para Safra 2005/06. 2006. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA – CNPMS. Sete Lagoas – MG. Disponível em www.cnpms.embrapa.br/milho/cultivares. Acesso em 12 de fevereiro 2016.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. Yield response to water. Rome: FAO, Irrigation and Drainage Paper, 33. 1986.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, 2011. 247p.

FALKER. Hidrofarm – Medidor eletrônico de umidade do solo. Disponível em <<http://www.falker.com.br/Produto.php?id=28>>. Acesso em: 08 de dezembro de 2015.

FAMIGLIETTI, J. S.; RYU, D.; BERG, A. A.; RODELL, M.; JACKSON, T. J. Field observations of soil moisture variability across scales. **Water Resources**, v.44, p.14-23, 2008.

GAO, L.; SHAO, M. Temporal stability of soil water storage in diverse soil layers. **Catena**, v.95, p.24-32, 2012.

GUARIZ, H. R.; PICOLI, M. H. S.; CAMPANHARO, W. A.; CECÍLIO, R. A. Variação da Umidade e da Densidade do Solo sob Diferentes Coberturas Vegetais. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v.4, n.2, p.3293-3296, 2009.

GUIMARÃES, R. M. L.; GONÇALVES, A. C. A.; TORMENA, C. A.; FOLEGATTI, M. V.; BLAINSKI, E. Variabilidade espacial de propriedades físico-hídricas de um

nitossolo sob a cultura do feijoeiro irrigado. **Engenharia Agrícola**, v.30, n.4, p.657-669, 2010.

HOAGLIN, D. C.; MOSTELLER, F.; TUKEY, J. W. Análise exploratória de dados: Técnicas robustas. Lisboa: Edições Salamandra. 1992. 446p.

HU, W.; SHAO, M. A.; WANG, Q. J.; REICHARDT, K. Soil water content temporal-spatial variability of the surface layer of a Loess Plateau hillside in China. **Science agriculture**, v.65, n.3, p.277-289, 2008.

IBRAHIM, H. M.; HUGGINS, D.R. Spatio-temporal patterns of soil water storage under dryland agriculture at the watershed scale. **Journal of Hydrology**, v.404, p.186-197, 2011.

JOURNEL, A. G. Fundamentals of geostatistics in five lessons. Washington: American Geophysical Union, 1989. 40p.

LANDIM, P. M. B. Análise estatística de dados geológicos. 2.ed. São Paulo: UNESP. 2003. 253p.

LI, J.; ZHANG, J.; RAO, M. Wetting patterns and nitrogen distributions as affected by fertigation strategies from a surface point source. **Agricultural Water Management**, v.67, n.02, p.89-104, 2004.

MARTINEZ-FERNANDEZ, J.; CEBALLOS, A. Mean soil moisture estimation using temporal stability analysis. **Journal of Hydrology**, v.312, p.28-38, 2005.

MELO, R. O.; MONTENEGRO, A. A. A. Dinâmica temporal da umidade do solo em uma bacia hidrográfica no semiárido Pernambucano. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.20, n.2, p.430-441, 2015.

MELO FILHO, J. F.; LIBARDI, P. L.; Estabilidade temporal de medidas do teor e do potencial mátrico da água no solo em uma transeção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, n.4, p.497-506, 2005.

MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Variabilidade espacial de classes de textura, salinidade e condutividade hidráulica de solos em planície aluvial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, p.30-37, 2006.

- PACHEPSKY, Y. A.; GUBER, A. K.; JACQUES, D. Temporal persistence in vertical distributions of soil moisture contents. **Soil Science Society of America Journal**, v.69, p.347-352, 2005.
- PAULINO, J.; FOLEGATTI, M. V.; ZOLIN, C. A.; SANCHEZ-ROMAN, R. M.; JOSE, J. V. Situação da agricultura irrigada no Brasil de acordo com o censo agropecuário 2006. **Irriga**, v.16, n.2, p.163-176, 2011.
- PATEL, N.; RAJPUT, T. B. S. Effect of subsurface drip irrigation on onion yield. **Irrigation Science**, v.27, p.97-108, 2008.
- PIZARRO, F. Riegos localizados de alta frecuencia - goteo - microaspersion – exudacion. 3ª ed. Madri: Ed. Mundi, 1996. 513p.
- REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; SILVA, V. R. Propriedades físicas de solos em sistema de plantio direto irrigado. In: CARLESSO, R.; PETRY, M.T.; ROSA, G.M. e CERETTA, C.A. eds. Irrigação por aspersão no Rio Grande do Sul. Santa Maria, RS, 2001, 165p.
- REZENDE, R.; GONÇALVES, A. C. A.; FREITAS, P. S. L.; FRIZZONE, J. A.; TORMENA, C. A.; BERTONHA, A. Influência da aplicação de água na uniformidade da umidade no perfil do solo. **Acta Scientiarum**, v.24, n.5, p.1.553-1.559, 2002.
- RICHARDS, L. A. Physical conditions of water in soil. In: BLACK, C. A., ed. Methods of soil analysis. Madison, American Society of Agricultural, p.128-152. 1965.
- RICHARDS, L. A. Diagnostico y rehalitacion de suelos salinos y sódicos. Mexico, Editorial Limusa. 1974.
- ROBINSON, D. A.; CAMPBELL, C. S.; HOPMANS, J. W.; HORNBUCKLE, B. K.; JONES, S. B.; KNIGHT, R.; OGDEN, F.; SELKER, J.; WENDROTH, O. Soil moisture measurement forecological and hydrological watershed-scale observatories: review. **Vadose Zone Journal**, v.7, p.358, 2008.
- ROCHA, G. C.; LIBARDI, P. L.; CARVALHO, L. A.; CRUZ, A. C. R. Estabilidade temporal da distribuição espacial da armazenagem de água em um solo cultivado com citrus. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, n.1, p.41-50, 2005.

- SALVADOR, M. M. S.; LIBARDI, P. L.; BRITO, A. S.; MOREIRA, N. B. Estabilidade temporal e variabilidade espacial da distribuição da armazenagem de água no solo numa sucessão feijão/aveia-preta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.1434-1447, 2012.
- SANCHEZ, R. B.; MARQUES JÚNIOR, J.; SOUZA, Z. M.; PEREIRA, G. T.; MARTINS FILHO, M. V. Variabilidade espacial de atributos do solo e de fatores de erosão em diferentes pedoformas. **Bragantia**, v.68, p.1095-1103, 2009.
- SCHNEIDER, K.; HUISMAN, J. A.; BREUER, L.; ZHAO, Y.; FREDE, H. G. Temporal stability of soil moisture in various semi-arid steppe ecosystems and its application in remote sensing. **Journal of Hydrology**, v.359, p.16–29, 2008.
- SERPA, M. S.; SILVA, P. R. F.; SANGOI, L.; VIEIRA, V. M.; MARCHESI, D. R. Densidade de plantas em híbridos de milho semeados no final do inverno em ambientes irrigados e de sequeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.4, p.541-549, 2012.
- SILVA, J. R. L.; MONTEGRO, A. A. A., MONTEIRO, A. L. N.; SILVA JÚNIOR, V. P.; Modelagem da dinâmica de umidade do solo em diferentes condições de cobertura no semiárido pernambucano. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.10, n.2, 2015.
- SOUZA, E. R.; MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G.; MATOS, J. A. Temporal stability of soil moisture in irrigated carrot crops in Northeast Brazil. **Agricultural Water Management**, v.99, p.26-32, 2011.
- SOUZA, E. R.; MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G. Variabilidade Espacial da Umidade do Solo em Neossolo Flúvico. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.13 n.2, p.177-187, 2008.
- SOUZA, L. S. B.; MOURA, M. S. B.; SEDIYAMA, G. C.; SILVA, T. G. F. Eficiência do uso da água das culturas do milho e do feijão-caupi sob sistemas de plantio exclusivo e consorciado no semiárido brasileiro. **Bragantia**, v.70, n.3, p.715-721, 2011.
- STARR, G.C. Assessing temporal stability and spatial variability of soil water patterns with implications for precision water management. **Agricultural Water Management**, v.72, n.2, p.223–243, 2005.

TIMM, L. C.; PIRES, L. F.; ROVERATTI, R.; ARTHUR, R. C. J.; REICHARDT, K.; OLIVEIRA, J. C. M.; BACCHI, O. O. S. Field spatial and temporal patterns of soil water content and bulk density changes. **Scientia Agrícola**, v.6, p.55-64, 2006.

VACHAUD, G.; PASSERAT DE SILANS, A.; BALABANIS, P.; VAUCLIN, M. Temporal stability of spatially measured soil water probability density function. **Soil Science Society of America Journal**, v.49, p.822-827, 1985.

VANDERLINDEN, K.; VEREECKEN, H.; HARDELAUF, H.; HERBST, M.; MARTÍNEZ, G.; COSH, M.H.; PACHEPSKY, Y.A. Temporal stability of soil water contents: a review of data and analyses. **Vadose Zone Journal**, v.11, n.4, 2012.

VEREECKEN, H.; KAMAI, T.; HARTER, T.; KASTEEL, R.; HOPMANS, J.; VANDERBORGHT, J. Explaining soil moisture variability as a function of mean soil moisture: A stochastic unsaturated flow perspective, **Geophysical Research Letters**, v.34, n.22, p.1-6, 2007.

VAN GENUCHTEN, M.T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.44, p.892-898, 1980.

WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. **Environmental soil physics**. New York: Academic. p.655-675, 1998.

WEBSTER, R.; OLIVER, M. A. Geostatistics for environmental scientists. 2nd ed. Wiley: Chichester, p.325, 2007.

ZEGBE, J.A.; HOSSEIN, M.; CLOTHIER, B. E. Responses of 'Petopride' processing tomato to partial rootzone drying at different phenological stages. **Irrigation Science** v.24, p.203-210, 2006.

CAPÍTULO II

Variabilidade espacial de atributos físicos e químicos do solo em um cultivo de milho irrigado por gotejamento em Neossolo Flúvico.

CAPÍTULO II

RESUMO

RODRIGUES, R.A.S., MSc., Universidade Federal Rural de Pernambuco; Fevereiro, 2016. **Variabilidade espacial de atributos físicos e químicos do solo em um cultivo de milho irrigado por gotejamento em Neossolo Flúvico.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Orientador: Dr. Abelardo Antônio de Assunção Montenegro.

Estudos que enfocam a variabilidade espacial de propriedades físicas e químicas de solos têm grande relevância na literatura, principalmente como subsídio para o manejo racional de água e solo em perímetros irrigados. Com objetivo de avaliar a variabilidade espacial de atributos químicos e físicos do solo, realizou-se um experimento no município de Pesqueira, região Agreste de Pernambuco, durante um cultivo de Milho (*Zea mays* L.), irrigado por gotejamento, utilizando água moderadamente salina, oriunda de um poço amazonas. As coletas foram realizadas em uma área com malha regular, espaçada de 5 m x 5 m, formando um “grid” 20 m x 25 m, totalizando 30 pontos amostrais. Os dados foram avaliados adotando-se métodos de estatística descritiva e posteriormente submetidos à análise geoestatística. O modelo que melhor se ajustou para as variáveis Argila, Areia, condutividade elétrica, Carbono e Matéria Orgânica foi o exponencial, enquanto que para o Silte o modelo que melhor se ajustou foi o gaussiano. Há uma relação entre a distribuição espacial da argila com os teores de condutividade elétrica, carbono orgânico e matéria orgânica do solo, sendo encontrados os maiores teores desses atributos nas mesmas regiões. Através dos mapas de isolinhas é possível identificar regiões onde se faz necessário adotar a prática de aplicação de lâminas de lixiviação. Quanto aos teores de carbono e a matéria orgânica o solo foi classificado com médio teor de matéria orgânica, sendo necessária a incorporação de matéria orgânica no solo em regiões com baixos teores desses atributos.

PALAVRAS-CHAVE: Geoestatística; vale aluvial; frações granulométricas; condutividade elétrica; carbono orgânico; temperatura do solo.

CHAPTER II

ABSTRACT

RODRIGUES, R.A.S., MSc., Universidade Federal Rural de Pernambuco; February, 2016. **Spatial variability of physical and chemical's attributes soil in a corn crop drip irrigation in Fluvisol.** 2016. (Dissertation - Master's Degree in Agricultural engineering) – Advisor: Dr. Abelardo Antônio de Assunção Montenegro.

Studies that focus on the spatial variability of physical and chemical properties of soils have great relevance in the literature, mainly as a subsidy for the rational management of water and soil in irrigated perimeters. In order to evaluate the spatial variability of chemical and physical properties of the soil, conducted an experiment in the municipality of Pesqueira, Agreste region of Pernambuco, for a corn crop (*Zea mays* L.), drip irrigation, using moderately saline water, originating from a well Amazons. Samples were collected in an area with regular grid, spaced 5 m x 5 m, forming a "grid" 20 m x 25 m, totaling 30 sampling points. The data were evaluated by adopting methods of descriptive statistics and later submitted to geostatistical analysis. The model that best fits to the variables clay, sand, electrical conductivity, carbon and organic matter was exponential, while for the Silt the model that best fit was the gaussian. There is a relationship between the spatial distribution of clay with electrical conductivity levels, organic carbon and soil organic matter, and found the highest levels of these attributes in the same regions. Through the contour maps can identify areas where it is necessary to adopt the practice of application of leaching depths. As for carbon content and organic matter the soil was rated average content of organic matter, requiring the incorporation of organic matter in the soil in regions with low levels of these attributes.

KEYWORDS: Geoestaticsc; alluvial valley; size fractions; electric conductivity; organic carbon; soil temperature.

INTRODUÇÃO

O manejo adequado do solo tem grande importância, uma vez que interfere na produção de alimentos e conseqüentemente na economia local. Na região semiárida, há um grande risco de perda de produção e de aproveitamento dos recursos naturais devido ao manejo inadequado de água e solo (Andrade et al., 2014).

As alterações nos atributos químicos de solos irrigados são função do tipo de íons e sua valência presentes na solução do solo, pH do solo e da flocculação de partículas de argilas (CASTIONE et al., 2015). A distribuição dos atributos físicos do solo apresenta-se de forma heterogênea na paisagem por influência dos fatores de formação do solo, ocasionando em pequena amplitude de espaço interferir na produtividade das culturas (MANN et al., 2010; ZUCOLOTO et al., 2011). Estudos que enfocam a variabilidade espacial de propriedades físicas e químicas de solos têm grande relevância na literatura, principalmente como subsídio para o manejo racional de água e solo em perímetros irrigados. Tais variações espaciais são decorrentes das taxas variáveis nas quais atuam os processos de formação e das diversas atuações antrópicas durante seu cultivo (SOUZA et al., 2008).

Campos et al. (2007) afirmam que a variação das características texturais do solo ocorrem em função do ambiente de deposição de sedimentos, da vegetação, do relevo que regula o tempo de exposição dos materiais à ação do intemperismo, principalmente do material de origem e em função da estratigrafia da área de estudo.

A variabilidade espacial das frações argila, areia e silte esta relacionada aos níveis topográficos e à declividade da área em estudo (LEÃO et al., 2010; LEÃO et al., 2011). Conhecer a textura do solo é importante para entender os processos pedogenéticos que atuam no terreno, considerando que as geoformas da paisagem afetam o controle do movimento de água e atributos do solo (CAMPOS et al., 2007).

Os vales aluviais do semiárido apresentam elevado potencial para a pequena agricultura irrigada, embora sejam susceptíveis a processos de acúmulo de sais, tanto na zona não-saturada quanto na saturada (MONTENEGRO e MONTENEGRO, 2006). Siqueira et al. (2015) relatam que dentre os atributos do solo, a condutividade elétrica aparente (CEa) vem sendo amplamente utilizada devido a sua correlação com o conteúdo de água no solo, textura, conteúdo de matéria orgânica, tamanho e distribuição dos poros, salinidade, capacidade de trocas catiônicas e concentração de eletrólitos na solução do solo e com a produtividade dos cultivos.

O teor de carbono orgânico é usado como indicativo de qualidade física do solo, estando ligado diretamente a atributos como textura, matéria orgânica, teor de carbono microbiano e estabilidade de agregados (CARDOSO et al., 2010; CRUZ et al., 2011; CAJAZEIRA e ASSIS JÚNIOR, 2011). Compreender a variabilidade espacial do carbono orgânico do solo e os fatores que afetam seu ciclo global do pode inferir respostas importantes, e ajuda a prever algumas consequências das alterações climáticas (LAGANIERE et al., 2010). Numerosos estudos têm sido realizados sobre o padrão espacial do carbono orgânico em bacias hidrográficas a destacar De Baets et al., 2013, Häring et al., 2014 e Ran et al., 2014. O conteúdo de matéria orgânica do solo, normalmente é medido em função do conteúdo de carbono orgânico do solo e também é considerado como um indicador da qualidade e do uso do solo (Liu et al., 2015). Estudos tem provado que altos teores de matéria orgânica no solo têm sido benéficos para a produtividade do solo, capacidade de retenção de água e sequestro de carbono (SEELY et al., 2010 e SIX e PAUSTIAN, 2014).

Panosso et al. (2009) explicam que a temperatura do solo é um dos fatores mais importantes no processo de mineralização do C, durante e entre os dias, pois altas temperaturas levam a uma alta atividade microbiana nas camadas superiores do solo, resultando em um aumento na taxa. Além disso, a temperatura do solo é um dos fatores mais importantes afetando o crescimento da planta, de modo que altas temperaturas da superfície do solo podem afetar o desenvolvimento radicular, da parte aérea, além de alterar a disponibilidade de água e nutrientes. A temperatura do solo é uma variável que está em constante variação sendo influenciada pelo fluxo de calor através de processos físicos como a evaporação (OLIVEIRA et al., 2010). De Lima e Abrantes, (2014) explicam que a técnica da termografia infravermelha tem sido difundida com bastante êxito, como uma ferramenta de imagem de alta resolução em estudos hidrológicos.

A variabilidade espacial dos atributos do solo estudada pela geoestatística trata-se de um conjunto de técnicas aplicadas a variáveis regionalizadas, que definem a estrutura de dependência espacial de cada variável. Além disso, ainda proporciona meios para que sejam efetuados os respectivos mapeamentos da área estudada através da krigagem, uma vez que o modelo da dependência espacial seja conhecido por meio do semivariograma (AQUINO et al., 2014).

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivos analisar a variabilidade espacial de atributos químicos e físicos do solo em um plantio de milho irrigado por

gotejamento em Neossolo Flúvico, localizado na Bacia Experimental do Rio Ipanema, no município de Pesqueira, Pernambuco.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo está localizada no município de Pesqueira, região Agreste de Pernambuco, no Assentamento Rural Nossa Senhora do Rosário (Figura 1), situada entre as coordenadas geográficas 8° 15' e 8° 30' de Latitude Sul, 31° 45' e 37° 00' de Longitude Oeste de Greenwich. O clima é caracterizado como semiárido muito quente tipo Estepe, segundo Köppen. A precipitação média anual é de 607 mm, a temperatura média é de 23 0C e a evapotranspiração potencial é de cerca de 2.000 mm por ano (MONTENEGRO e MONTENEGRO, 2006).

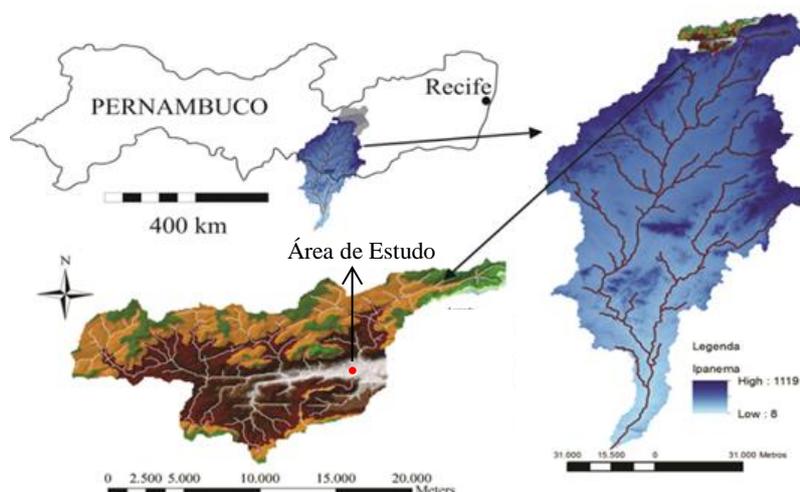


Figura 13. Localização do assentamento Nossa Senhora do Rosário, município de Pesqueira, estado de Pernambuco, Brasil.

O experimento foi realizado no período de 30 de março de 2015 a 22 de Junho de 2015, totalizando 84 dias. O experimento foi instalado em uma área de 500 m². Após aração e gradagem da área, foi realizada uma adubação de fundação nas quantidades 30 kg ha⁻¹ de N; 20 kg ha⁻¹ de K₂O e 40 kg ha⁻¹ de P₂O₅, e adubação de cobertura de 60 kg ha⁻¹, aos 38 dias de cultivo, baseada na análise de solo e nas necessidades da cultura, de acordo com as recomendações para cultura do milho no Estado de Pernambuco (Comissão Estadual de Fertilidade do Solo, 1998). Foram usadas as fontes: Uréia (45% de N), Cloreto de Potássio (58% K₂O) e Super Fosfato Triplo (48% de P₂O₅). Foi cultivado o híbrido de milho AG 1051 no espaçamento de 1,2 x 0,4 m, duas plantas por cova e com densidade de plantio de 41.666 plantas/ha.

O solo da área de estudo é caracterizado como Neossolo Flúvico. Baseado no modelo de identificação de classes texturais do perfil do solo (triângulo textural

simplificado) apresentada por Embrapa (2013), é possível classificar a camada do solo estudada com textura franca. Suas características físicas estão apresentadas na tabela 1:

Tabela 1. Características Físicas do solo do lote irrigado onde o trabalho foi desenvolvido, Pesqueira, Pernambuco, Brasil, 2015.

Profundidade (m)	Areia	Argila g kg ⁻¹	Silte	Densidade do Solo (g cm ⁻³)	Porosidade do Solo (cm ³ cm ⁻³)
0 – 0,20	397,9	299,5	302,6	1,56	0,41

O método de irrigação utilizado foi o localizado por gotejamento compreendendo uma linha lateral por fileira de plantio. A vazão unitária do emissor especificado pelo fabricante é de 1,35 L h⁻¹, pressão de serviço de 10 mca. As linhas laterais eram constituídas de tubos de polietileno de 18 mm de diâmetro externo, e 16 mm de diâmetro interno, com espaçamento de 1,2 m entre linhas laterais e 0,2 m entre gotejadores.

A água utilizada na irrigação da área experimental foi captada de poço tipo Amazonas, com condutividade elétrica (CE) média para o período de estudo de 1,12 dS m⁻¹, e classificada em função da concentração total de sais, como água de salinidade alta, C3 (RICHARDS, 1974).

A lâmina de irrigação adotadas foram baseadas na evapotranspiração da cultura (ETc), estimada a partir de leituras diárias em Tanque Classe A, de acordo com as equações abaixo, utilizando-se coeficiente de tanque de acordo com condições locais de vento, umidade relativa e bordadura, igual a 0,75, e coeficientes de cultura (Kc), segundo Doorenbos e Kassan (1986).

A coleta do solo, para as análises químicas e físicas, foi realizada no dia 18/06/2015, aos 78 dias do desenvolvimento da cultura, 4 dias antes da colheita. Foram coletadas amostras de solo, na camada de 0,00 a 0,20 m, em uma área com malha regular, espaçada de 5 m x 5 m, formando um “grid” 20 m x 25 m, totalizando 30 pontos amostrais, como mostra a Figura 3.

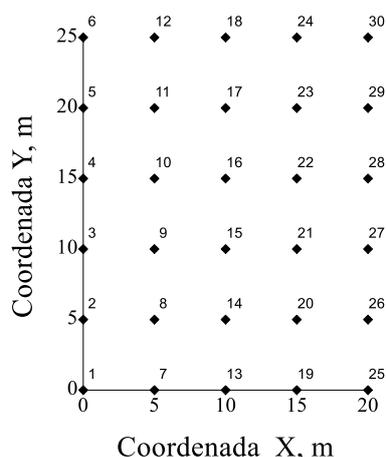


Figura 2. Localização dos pontos de amostragem na área experimental, onde foram realizadas as coletas de solo para as análises químicas, físicas e da temperatura do solo.

Antes de chegarem ao laboratório, às amostras, foram postas para secar ao ar, destorroadas e passadas em peneira com malha de 0,005 mm para retirada das raízes e torrões.

Baseia-se na sedimentação das partículas que compõem o solo. Após a adição de um dispersante químico, fixa-se um tempo único para a determinação da densidade da suspensão que admite-se ser a concentração total de argila. As frações grosseiras (areias fina e grossa) são separadas por tamisação e pesadas. O silte é obtido por diferença. Conforme metodologia proposta por Embrapa (2013).

Para a determinação da condutividade elétrica do solo, utilizou-se a metodologia de determinação dos sais solúveis nos solos pela medição da condutividade elétrica no extrato aquoso. O procedimento utilizado foi o do extrato obtido na pasta de saturação. A salinidade do solo é estimada pela condutividade elétrica do extrato. Segundo metodologia proposta por Embrapa (2013).

O carbono orgânico foi determinado pelo método da titulação, através da oxidação da matéria orgânica via úmida com dicromato de potássio em meio sulfúrico, empregando-se como fonte de energia o calor desprendido do ácido sulfúrico e/ou aquecimento. O excesso de dicromato após a oxidação é titulado com solução padrão de sulfato ferroso amoniacal (sal de Mohr). A percentagem de matéria orgânica é calculada multiplicando-se o resultado do carbono orgânico por 1,724. Este fator é utilizado em virtude de se admitir que, na composição média do húmus, o carbono participa com 58%. Conforme metodologia proposta por Embrapa (2013).

A temperatura do solo foi determinada por técnica termográfica usando uma câmera infravermelha de mão portátil (modelo E6 da Flir Systems) com uma resolução óptica de 19200 (160 × 120), precisão $\pm 2\%$ ou $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ e sensibilidade térmica $<0,06\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Os registros termográficos foram realizados a uma distância vertical de 1,5 m da superfície do solo. O monitoramento da temperatura do solo foi realizado também no dia 18/06/2015, utilizando a mesma malha de amostragem para a coleta do solo, nos seguintes horários: 10:00 (T1); 13:00 (T2) e 16:00 (T3) horas.

Foi realizada análise da estatística descritiva para verificar o comportamento dos dados, através da avaliação de medidas de tendência central (média, mediana e moda), dispersão (desvio padrão, variância e coeficiente de variação) e aderência à distribuição normal. De acordo com os valores do coeficiente de variação (CV), a variabilidade foi classificada, segundo Warrick e Nielsen (1980), em baixa ($CV \leq 12\%$); média ($12 < CV \leq 60\%$) e alta variabilidade ($CV > 60\%$). No tocante ao grau de dependência espacial, utilizou-se a classificação proposta por Cambardella et al. (1994), na qual um determinado atributo pode ser considerado como exibindo forte, moderada ou fraca dependência espacial, em função da relação entre o efeito pepita e o patamar de seu semivariograma ajustado. Valores inferiores a 25% caracterizam forte dependência espacial, entre 25 e 75% moderada, enquanto que acima de 75%, fraca dependência.

Os dados discrepantes foram eliminados com base no critério de Hoaglin et al. (1992), que considera discrepantes aqueles dados abaixo do limite inferior (L_i) ou acima do limite superior (L_s), respectivamente, estimados pelas equações abaixo:

$$L_i = Q_i - 1,5AP$$

$$L_s = Q_s + 1,5AP$$

Em que:

L_i – limite inferior;

L_s – limite superior;

Q_i – quartil inferior;

Q_s – quartil superior;

Ap – amplitude entre o 1^a e o 3^a quartil.

Para a análise geoestatística da umidade do solo foram utilizadas as ferramentas geoestatística GEOEAS. A dependência espacial será avaliada através do semivariograma clássico construído a partir da estimativa das semivariâncias, dada pela equação abaixo (JOURNEL, 1989):

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^n [Z(X_i+h) - Z(X_i)]^2$$

em que:

$\hat{\gamma}(h)$ - é o valor estimado da semivariância dos dados experimentais;

$Z(x_i + h)$ e $Z(x_i)$ - são os valores observados da variável regionalizada;

$N(h)$ - o número de pares de valores medidos, separados por uma distância h
(LANDIM, 2003)

Segundo Vieira (1995), se a tendência é verificada, deve-se então removê-la dos dados e ajustar o semivariograma para os resíduos. Para tanto, a análise de tendência foi realizada, a qual foi ajustada um polinômio de primeiro e/ou segundo grau, através de planilha eletrônica, usando-se o programa Excel 2010. Este polinômio é ajustado para os valores da propriedade, em função das coordenadas, e o resíduo foi obtido pela diferença entre valor medido e valor do polinômio em cada ponto. Atrvés do polinômio ajustado não foi observado a presença de tendência para nenhum dos atributos avaliados nesse estudo.

De posse do semivariograma experimental o procedimento foi o ajuste dos dados a um modelo teórico e se testarão os modelos exponencial, gaussiano e esférico, sendo escolhido aquele que apresentou ajuste adequado aos valores experimentais e erros padronizados com média próxima a zero e desvio padrão próximo à um, segundo o critério de Jack-Knifing. O ajuste matemático possibilitará definir os seguintes parâmetros: efeito pepita (C_0), alcance da dependência espacial (A) e patamar (C_0+C_1). São apresentados, a seguir, os três modelos teóricos considerados:

- Modelo Exponencial:

$$\hat{\gamma}(h)=C_0+C_1 \left[1-e^{-\left(\frac{h}{A}\right)} \right] \quad h \neq 0$$

- Modelo Gaussiano:

$$\hat{\gamma}(h)=C_0+C_1 \left[1-e^{-\left(\frac{h^2}{A^2}\right)} \right] \quad h \neq 0$$

- Modelo Esferico:

$$\hat{\gamma}(h)=C_0+C_1 \left[1,5 \frac{h}{A} - 0,5 \left(\frac{h}{A} \right)^3 \right] \quad 0 < h < A$$

$$\hat{\gamma}(h)=C_0+C_1 \quad h > A$$

Após os semivariogramas ajustados para os resíduos, esses valores foram adicionados aos dados medidos para a realização do mapeamento, através da técnica da krigagem. Após a validação do semivariograma foi realizada a krigagem universal dos dados e os mapas de isolinhas foram confeccionados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 têm-se as medidas de posição e dispersão para as variáveis Frações granulométricas, Condutividade Elétrica (CE), Carbono Orgânico (COS), Matéria Orgânica (MOS) e temperatura do solo nos 3 instantes de medição T1, T2 e T3.

Tabela 2. Estatística descritiva para os parâmetros químicos e físicos do solo, na profundidade de 0,20 m.

Estatística Descritiva	Média	Mediana	1º Quartil	3º Quartil	Variância	Desvio Padrão	Assimetria	Curtose	CV (%)
Areia (g kg ⁻¹)	397,91	387,40	351,00	439,40	3305,41	57,49	0,31	-0,63	14,44
Argila (g kg ⁻¹)	299,53	297,60	297,60	317,60	227,82	15,09	-0,18	-1,18	5,03
Silte (g kg ⁻¹)	302,57	312,10	254,00	343,60	2675,21	51,72	-0,22	-1,11	17,09
CE (dS m ⁻¹)	1,46	1,40	1,27	1,63	0,11	0,33	0,70	0,27	22,60
COS (g kg ⁻¹)	12,60	12,39	11,39	13,79	3,03	1,74	0,37	0,14	13,80
MOS (g kg ⁻¹)	21,67	21,31	19,58	23,72	8,96	2,99	0,37	0,14	13,79
T1 (°C)	29,82	29,60	28,40	31,30	3,29	1,81	-0,09	-0,62	6,06
T2 (°C)	28,72	28,85	27,80	29,60	1,40	1,18	-0,28	0,41	4,10
T3 (°C)	26,38	26,35	25,70	27,20	0,86	0,93	-0,09	-0,48	3,52

O coeficiente de variação (CV) de acordo com a classificação utilizada por Warrick e Nielsen (1998) as frações areia e silte apresentaram média variabilidade, enquanto que o valor de CV para a variável argila indicou média variabilidade, na camada estudada. Os valores de CV encontrados neste estudo corroboram com os observados com Andrade et. al (2014), que estudaram a variabilidade espacial das classes texturais em Neossolo Flúvico e obtiveram como resultados baixa variabilidade para a fração argila, enquanto a fração silte apresentou média variabilidade, para a camada 0,00 – 0,20 m, apenas a fração areia divergiu do resultado encontrado pelos autores, apresentando baixa variabilidade. Já Souza et. al (2008), também trabalhando em lote irrigado pertencente a um vale aluvial no semiárido pernambucano, apresentaram resultados semelhantes, os autores obtiveram baixa variabilidade apenas para argila, enquanto que Areia e silte apresentaram variabilidade média. A maior variabilidade, para a fração silte pode estar relacionada com a sua maior mobilidade no solo de um vale aluvial de rio intermitente (MONTENEGRO e MONTENEGRO, 2006).

A variável condutividade elétrica apresentou média variabilidade. Alcântara et. al (2012), estudando a variabilidade espacial da condutividade elétrica em um plantio de milho no estado de Goiás, encontraram média variabilidade espacial para a CE do solo na camada 0,00 – 0,20 m, com CV de 17,7%. Montenegro et. al (2010) trabalhando no

mesmo vale aluvial no período de abril a julho de 2007, que corresponde ao período chuvoso para a região, observaram resultados semelhantes para a condutividade elétrica do solo, com CV igual a 31%, para a camada de 0,00 – 0,30 m.

Para as variáveis Carbono e Matéria Orgânica também foram observadas média variabilidade espacial com valores de coeficiente de variação de 13,80 e 13,79, respectivamente. Corado Neto et. al (2015) avaliaram o estoque de carbono em um Neossolo no estado do Piauí, também no período chuvoso para a região, na camada 0,00 – 0,20 m e encontraram média variabilidade espacial para este atributo. Chig et al. (2008), também avaliando o estoque de carbono do solo em uma malha semelhante, com 34 pontos, para diferentes classes de solo encontrou CV (%) variando entre 10,77% e 15,59% obtendo média variabilidade para todos os tipos de solo observados, na camada de 0,00 – 0,20, resultados semelhantes ao encontrado nesses estudo. Silva et. al (2013) encontraram moderada variabilidade para o teor de matéria orgânica do solo em um Neossolo Flúvico em malha com espaçamento de 4 x 4. Hu et. al (2014) realizando estudo em um Neossolo Flúvico no nordeste da china obteve coeficientes de variação (CV) para matéria orgânica do solo, variando de 29% para 35%, correspondendo a um grau médio de variabilidade. Resultados semelhantes também foram encontrados por Hu et al. (2007) e Zhang et al. (2009).

A temperatura do solo apresentou baixa variabilidade para os 3 instantes de medição. Com CV(%) de 6,06%, 4,10% e 3,53% para T1, T2 e T3 respectivamente. Nota-se que a variação diminui à medida que as horas do dia vão passando e conseqüentemente a temperatura atmosférica diminui, portanto a temperatura do solo também é menor, havendo uma diminuição de 42,75 % no coeficiente de variação. Panosso et. al (2009) estudando a variabilidade espacial da temperatura do solo em plantio de Soja irrigado observaram que os CV (%) apresentaram pequena variação de com valores no intervalo de 3 a 6% para diferentes instantes de medição.

Analisando-se o gráfico de "box-plot" (Figura 3) para os teores de areia, argila e silte, verifica-se moderada simetria para argila e silte, enquanto que para aos valores de areia, pode ser notada a ocorrência de uma dispersão maior dos dados para os valores do quartil superior (assimetria positiva). Para argila e silte a assimetria foi negativa. O intervalo interquartílico para areia e silte apresentou maior amplitude quando comparados à fração argila, fator este que pode explicar a baixa variabilidade espacial para esta variável.

Observa-se que para a variável condutividade elétrica houve assimetria positiva e a distribuição dos dados se dá na maioria para valores sobre o quartil superior. Os teores de carbono e matéria orgânica do solo apresentaram assimetria positiva de modo que há maior concentração dos dados no quartil superior. Os coeficientes de assimetria e curtose apontaram este pequeno desvio para o quartil superior e uma maior concentração dos dados em torno da média, entretanto, as medidas descritivas e o teste de Kolmogorov-Smirnov (KS) indicaram que os dados de carbono orgânico e matéria orgânica seguem uma distribuição normal.

A distribuição de frequência para a temperatura do solo (Figura 3) apresentou uma inclinação negativa com coeficientes de assimetria de -0,09, -0,28 e -0,09, para T1, T2 e T3, respectivamente. No entanto, os testes para normalidade revelaram que os dados de medições da temperatura do solo são Normais.

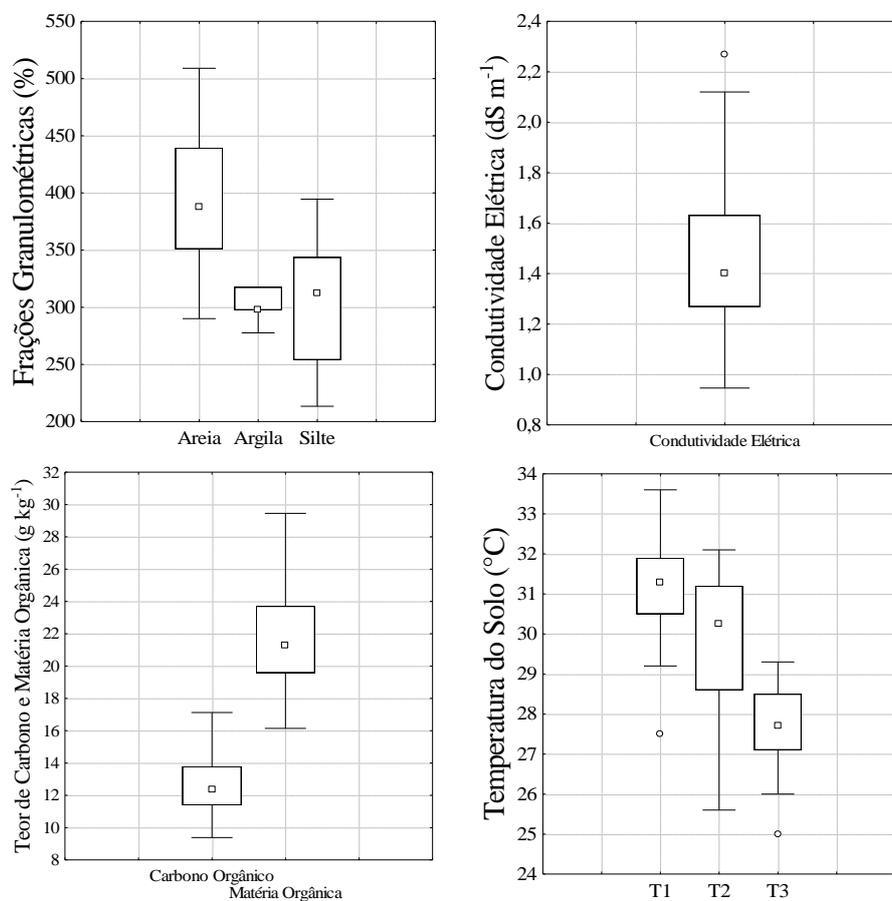


Figura 3. Gráficos "Box-Plot" para as variáveis químicas e físicas do solo.

Na Tabela 3 pode ser visualizado o resultado da análise geostatística com o modelo de melhor ajuste dos semivariogramas e com os seus respectivos parâmetros (efeito pepita - Co; patamar - Co + C1 e alcance - A), grau de dependência (GD) e

coeficiente de determinação = R^2 , para as variáveis frações granulométricas, condutividade elétrica, carbono orgânico, matéria orgânica e temperatura do solo. Os semivariogramas experimentais mostraram a existência de uma estrutura de dependência espacial. Os modelos escolhidos foram os que apresentaram, seus ajustes com média mais próxima a zero e desvio padrão próximo a um segundo a técnica de validação cruzada de Jack-Knifing, detalhada por Montenegro e Montenegro (2006).

Tabela 3. Parâmetros do semivariograma, para os atributos químicos e físicos do solo na profundidade de 0,20 m.

Parâmetros Semivariograma	C_0	$C_0 + C_1$	A(m)	GD (%)	Modelo	R^2	Parâmetros da Validação dos Semivariogramas	
							Média	Desvio Padrão
Areia ($g\ kg^{-1}$)	0,006	5,18	14,45	0,11	Exp.	0,93	0,019	0,990
Argila ($g\ kg^{-1}$)	0,054	258,28	8,17	0,02	Exp.	0,92	0,022	1,010
Silte ($g\ kg^{-1}$)	0,022	8,50	12,11	0,25	Gaus.	0,91	0,024	0,992
CE ($dS\ m^{-1}$)	0,004	0,07	15,90	5,19	Exp.	0,91	0,019	1,001
COS ($g\ kg^{-1}$)	0,249	3,85	8,05	6,45	Exp.	0,91	0,017	0,993
MOS ($g\ kg^{-1}$)	0,305	11,05	10,18	2,75	Exp.	0,90	0,023	0,991
T1 ($^{\circ}C$)	0,196	3,37	18,01	5,80	Exp.	0,91	0,031	1,009
T2 ($^{\circ}C$)	0,030	1,44	18,13	2,08	Exp.	0,91	0,029	1,012
T3 ($^{\circ}C$)	0,003	1,10	18,00	0,27	Exp.	0,91	0,028	1,005

Para as frações granulométricas argila e areia, o modelo que melhor se ajustou foi o exponencial com alcances de 14,45 e 8,17 m, respectivamente. Já a variável silte apresentou melhor ajuste ao modelo gaussiano, com alcance de 12,11 m. Os teores de areia, argila e silte se caracterizam por apresentar forte dependência espacial, já que apresentaram, conforme Cambardella et al. (1994), graus de dependência espacial de 0,11; 0,02 e 0,25% respectivamente. Castione et al. (2015) estudando a variabilidade espacial das frações granulométricas em lote irrigado com feijão (*Phaseollus vulgaris* L.) em sucessão a cultura da soja (*Glycine max* L.), observaram graus de dependência espacial de 0,3, 0,03 e 0,2 e ajuste aos modelos exponencial, exponencial e gaussiano para areia, argila e silte, respectivamente, concordando com os resultados encontrados nesse estudo. Santos et al. (2012) trabalhando no mesmo vale aluvial do semiárido pernambucano ajustaram para as frações areia e silte os modelos gaussianos e esféricos com alcances excessivamente elevados, superiores às dimensões do domínio, optando por considerar o modelo exponencial, com base, inclusive, nos resultados de Montenegro e Montenegro (2006), que ajustaram e validaram modelos exponenciais para classes de textura, na mesma área aluvial. Os autores comentam ainda que o lote

irrigado em que o estudo foi desenvolvido pertence a um vale aluvial, e a dependência espacial do silte pode está associada a processos geomorfológicos, já que ocorrem pela acumulação e distribuições desuniformes de sucessivos depósitos de materiais oriundos de outros lugares, proporcionados pela posição topográfica que ocupam, além do manejo a que são submetidos.

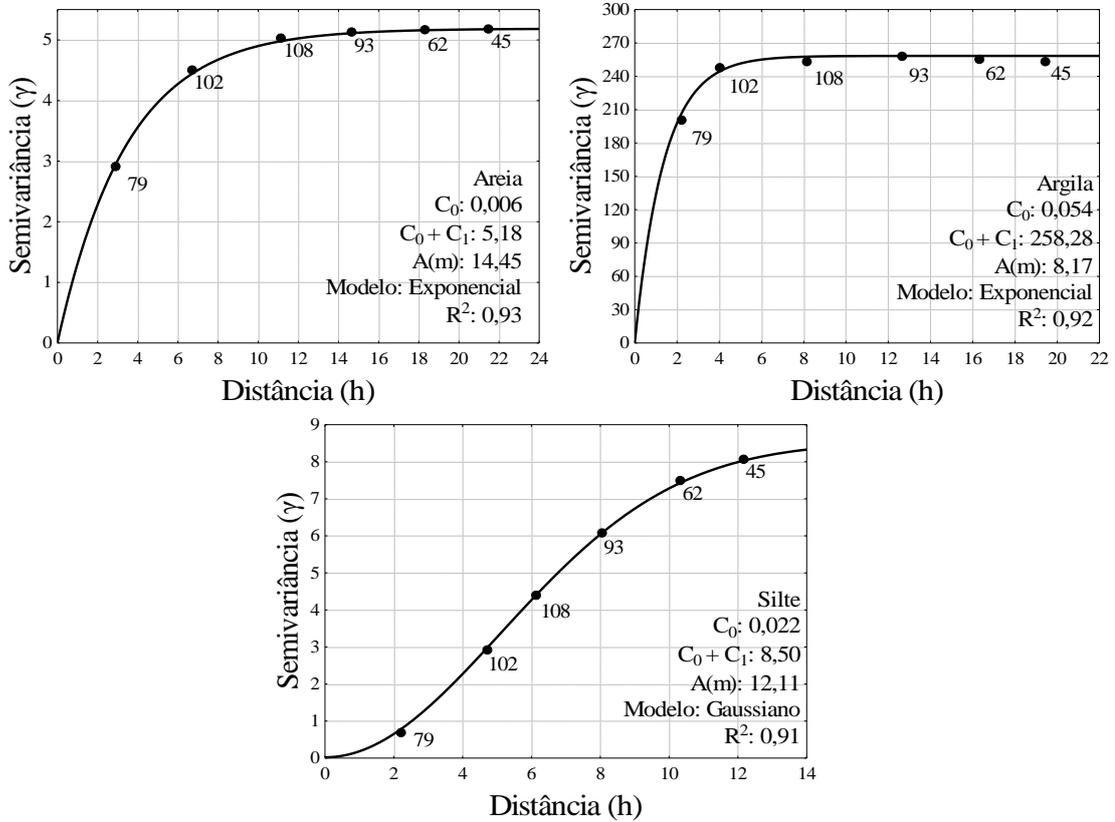


Figura 4. Semivariogramas ajustados para as variáveis frações granulométricas do solo ($g\ kg^{-1}$).

Verifica-se que a distribuição superficial da areia registra seus menores teores na posição inferior do lado esquerdo da imagem (Figura 5). Contrastando com a distribuição observada para os teores de argila e de silte, que se distribuem em maior quantidade nas áreas em que o teor de areia é menor. O comportamento dos teores de argila e silte foram contrários aos da fração areia na profundidade 0,00-0,20 m, com os maiores teores concentrados na parte superior direita para argila e superior esquerda para o silte.

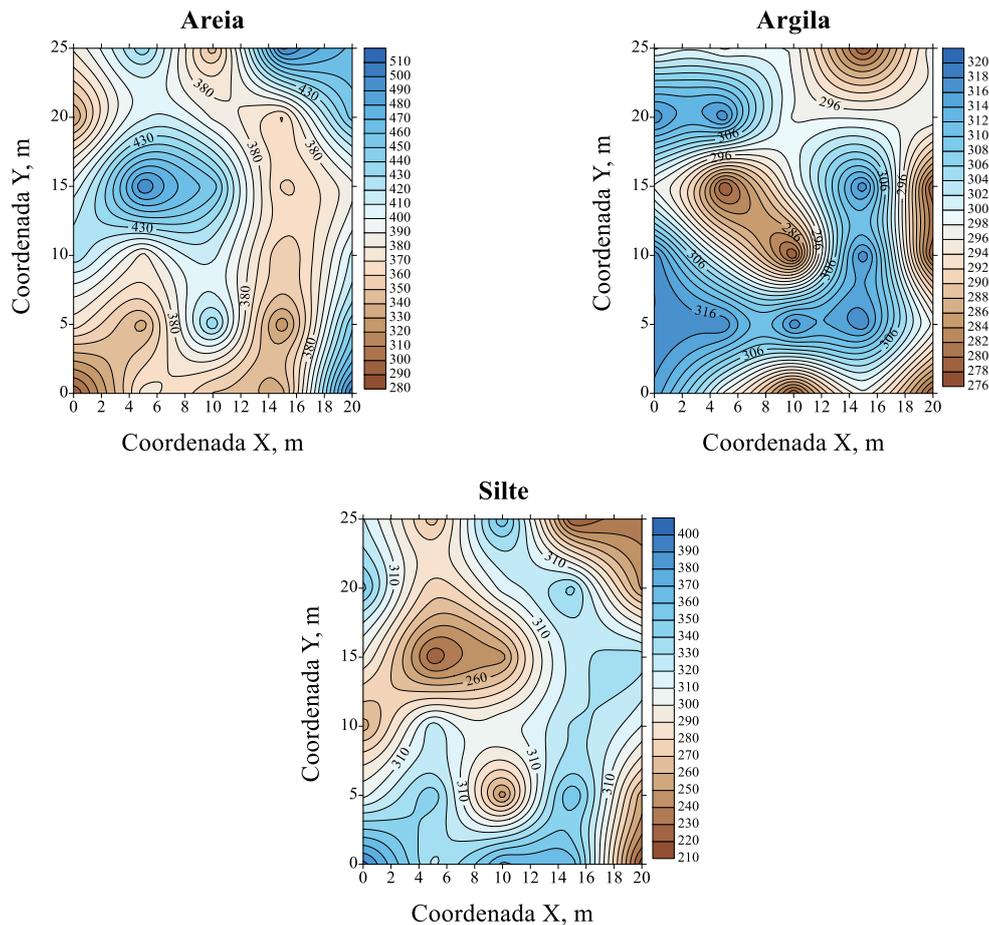


Figura 5. Mapas de isolinhas ajustados para as variáveis frações granulométricas do solo (g kg^{-1}).

Na figura 6 observa-se o semivariograma e o mapa para a condutividade elétrica do solo. O modelo que melhor se ajustou a esta variável foi o exponencial com alcance de 15,90 m. Foi encontrado grau de dependência espacial de 5,19%, sendo classificado como forte dependência espacial. Montenegro et al. (2010) avaliando a CE em Neossolo Flúvico ajustaram modelo exponencial aos dados de condutividade elétrica com alcance de 30 metros e grau de dependência moderado, com valor de 58%. Silva et al. (2010) e Souza et al. (2008) trabalhando com solos aluviais em lotes irrigados observaram ausência de dependência espacial para a camada de solo 0,00-0,20 m, caracterizando assim Efeito Pepita Puro.

O mapa de salinidade (CE) está representado, também na Figura 6, podendo-se notar maiores gradientes de salinidade na região superior central do lote estudado. A salinidade é uma variável importante para o crescimento e desenvolvimento produtivo das culturas, portanto o mapeamento da área é importante, permitindo o manejo específico de água, solo e de práticas agrícolas, consequentemente aumentando a eficiência de aplicação de insumos, diminuição dos custos de produção e redução dos impactos sobre o ambiente. Em lotes irrigados com água moderadamente salina como

este em que o estudo foi realizado, os métodos de manejo da irrigação, como a prática de aplicação de lâminas de lixiviação, podem apresentar maior eficiência de posse desses mapas de isolinhas.

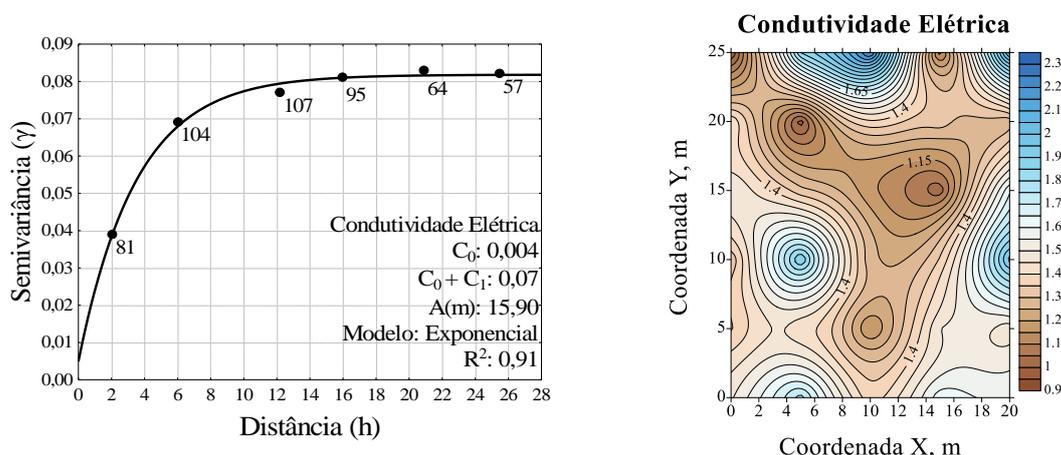


Figura 6. Semivariograma e Mapa de isolinhas ajustados para a variável condutividade elétrica do solo ($dS\ m^{-1}$).

Os semivariogramas e os mapas para o carbono orgânico e a matéria orgânica do solo podem ser observados na figura 7. O modelo que melhor se ajustou para estes atributos foi o exponencial com alcances de 8,05 e 10,18 m para carbono e matéria orgânica respectivamente. Foi encontrado grau de dependência espacial de 6,45% para o carbono e 2,75% para a matéria orgânica do solo, sendo, ambos classificados como forte dependência espacial. Zhang e Shao (2014), avaliando a variabilidade espacial do carbono orgânico em planície aluvial no sudoeste da china encontraram melhor ajuste dos semivariogramas ao modelo exponencial, com forte grau de dependência espacial. Silva Neto et al. (2012) estudando a variabilidade espacial do carbono orgânico em um Neossolo, em uma área de 900 m² (30 x 30 m) que continham 36 pontos de amostragem dispostos em malha de 5 x 5m, as áreas investigadas apresentaram estrutura espacial com dependência classificada como forte e moderada, os semivariogramas se ajustaram aos modelos esférico e exponencial, com alcances variando entre 5,32 e 59,87 m na profundidade de 0,00-0,20 m.

Lima et al. (2014), estudando a variabilidade espacial de atributos do solo em uma micro bacia no estado de Minas Gerais em diferentes classes de solos, com presença de Neossolo Flúvico, obtiveram melhor ajuste para o modelo exponencial, encontrando razão de dependência espacial de 54,38%. Gontijo et al. (2012) verificaram variação no teor de matéria orgânica do solo ocasionada por ação antrópica indicando dependência espacial deste atributo.

Os mapas confeccionados (Figura 7) permitem identificar que os maiores teores de carbono e matéria orgânica no solo se concentraram no lado esquerdo em uma faixa contínua, enquanto que do meio para o lado direito são observados os menores teores desses elementos. Essa regionalização surge como ferramenta para auxiliar na definição de zonas homogêneas destes atributos, auxiliando e facilitando o manejo e o monitoramento de diferentes áreas em função da real situação da cultura plantada na área, permitindo assim a reposição de nutrientes extraídos do solo para melhorar a produção vegetal. Portanto, práticas de manejo como adubação e reincorporação de matéria orgânica, devem ser adotadas nas áreas com nível mais baixo de carbono e matéria orgânica com intuito de aumentar a homogeneidade da produção, pois estes atributos estão diretamente ligados com a qualidade e a fertilidade do solo.

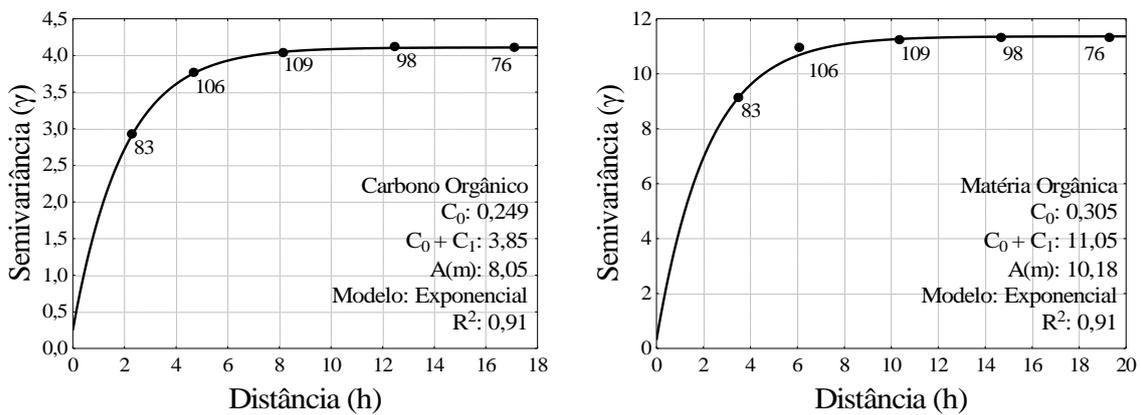


Figura 7. Semivariogramas ajustados para as variáveis carbono orgânico do solo (g kg^{-1}) e matéria orgânica do solo (g kg^{-1}).

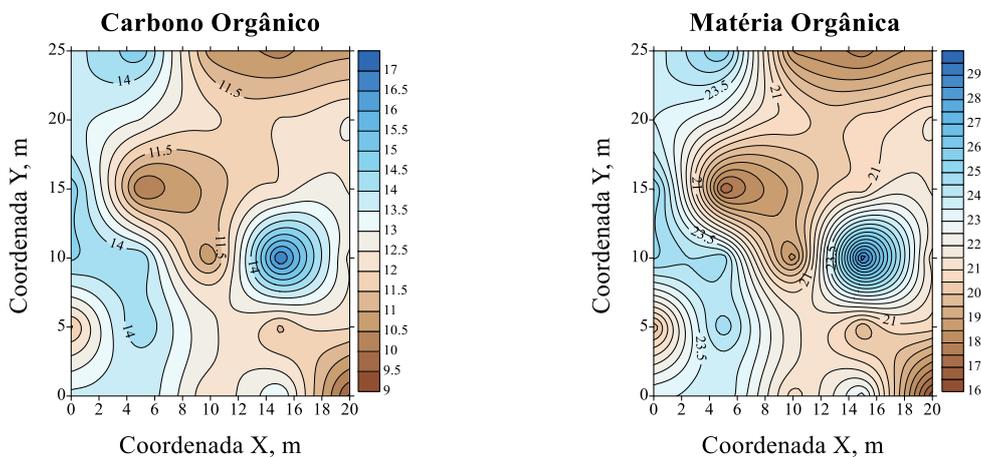


Figura 8. Mapas de Isolinhas ajustados para as variáveis carbono orgânico (g kg^{-1}) e matéria orgânica do solo (g kg^{-1}).

Na figura 8 apresentam-se os semivariogramas para os 3 instantes de medição de temperatura do solo T1, T2 e T3, respectivamente.

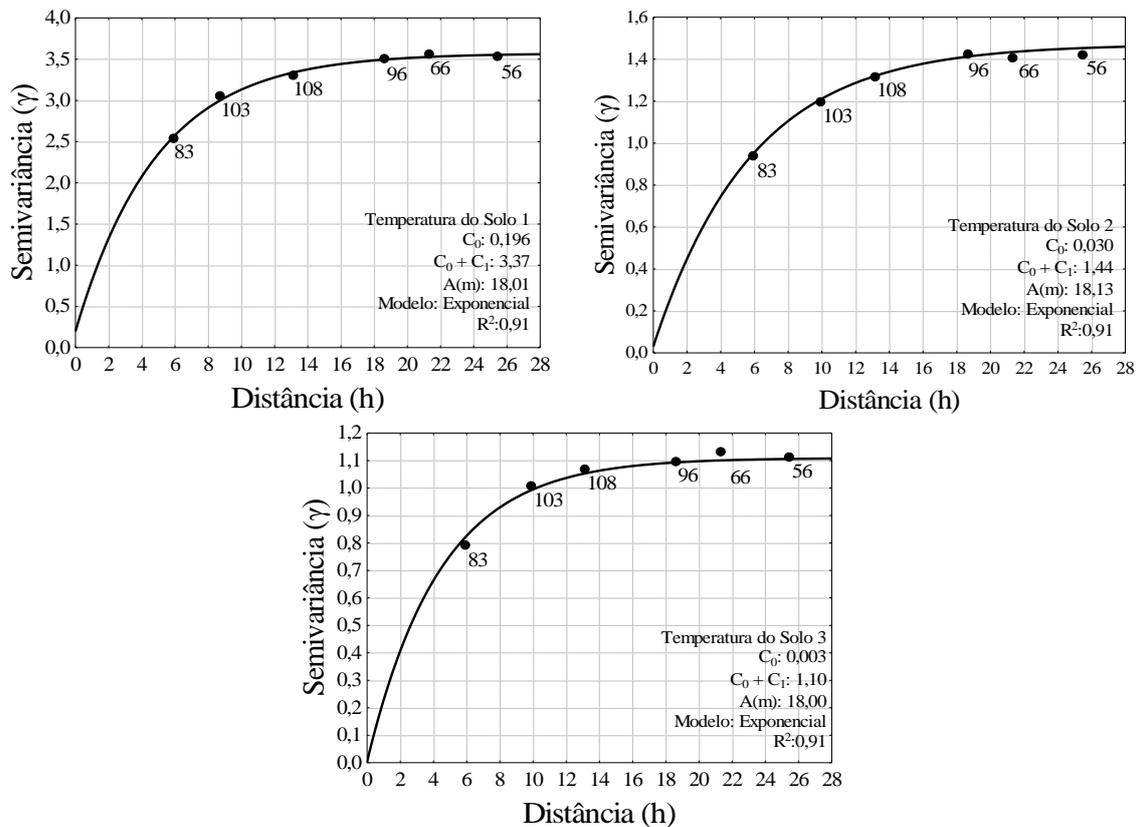


Figura 9. Semivariogramas ajustados para a variável temperatura do solo ($^{\circ}C$), sendo: Temperatura do solo ($^{\circ}C$) no instante de medição 1; Temperatura do solo ($^{\circ}C$) no instante de medição 2; Temperatura do solo no instante de medição 3 (c).

O modelo que melhor se ajustou para os 3 momentos foi o exponencial com alcances de 18,01, 18,13, 18,00 m, respectivamente. Percebe-se que o fator tempo apresentou pouca influência na variação dos alcances, de modo que ao longo do dia o alcance máximo foi de 18,13 m para T2, no horário de maior temperatura média e o menor alcance observado foi de 18,00 m no instante T3, no horário de medição em que se teve menor temperatura média. Vale ressaltar que todas as medições de temperatura do solo ($^{\circ}C$) foram realizadas após a irrigação. Quando se trata do grau de dependência espacial, para todos os momentos de medição, foi observada forte dependência espacial com coeficientes de 5,80% para T1, 2,08% para T2 e 0,27% para T3. Esta variabilidade espacial da temperatura do solo encontrada pode ser explicada através interação solo-atmosfera e das suas características físico-hídricas superficiais. Estudando a variabilidade espacial da temperatura do solo Shein et al. (2009) e Lehnert et al. (2015) descreveram que há variabilidade na temperatura do solo nas camadas superficiais de até $1^{\circ}C$ e $1,5^{\circ}C$, respectivamente, em solos com textura predominantemente arenosa.

Os mapas de temperatura do solo (Figura 9) permitem identificar que os maiores valores de temperatura do solo estão concentrados nas áreas centrais dos mapas em uma

faixa contínua, mostrando que há uma grande homogeneidade da temperatura do solo na área de estudada. E esta homogeneidade tende a aumentar com o passar do tempo, no instante de medição T1, percebe-se que há uma faixa no lado direito do mapa com valores mais baixos de temperatura, enquanto que no instante T3 observa-se grande homogeneidade da temperatura do solo, em grande parte da área e pouca variação no espaço de modo que grande parte da temperatura do solo na área concentra-se no intervalo de 26 a 27,2 °C. O mapa no instante T2 apresenta alta homogeneidade e a menor amplitude de temperatura, com valores variando entre 27 e 29,8 °C. O comportamento da temperatura do solo também pode ser explicado pela distribuição espacial das frações granulométricas, de modo que, os pontos mais arenosos tendem a apresentar maiores amplitudes térmicas nas camadas superficiais. Isso ocorre pelo fato dos solos arenosos terem maior porosidade, havendo um menor contato entre as partículas dos solos, dificultando assim o processo de condução. Os pontos que apresentam maior teor de argila, por sua vez, apresentam maior eficiência na condução de calor, tendo menor amplitude térmica diária.

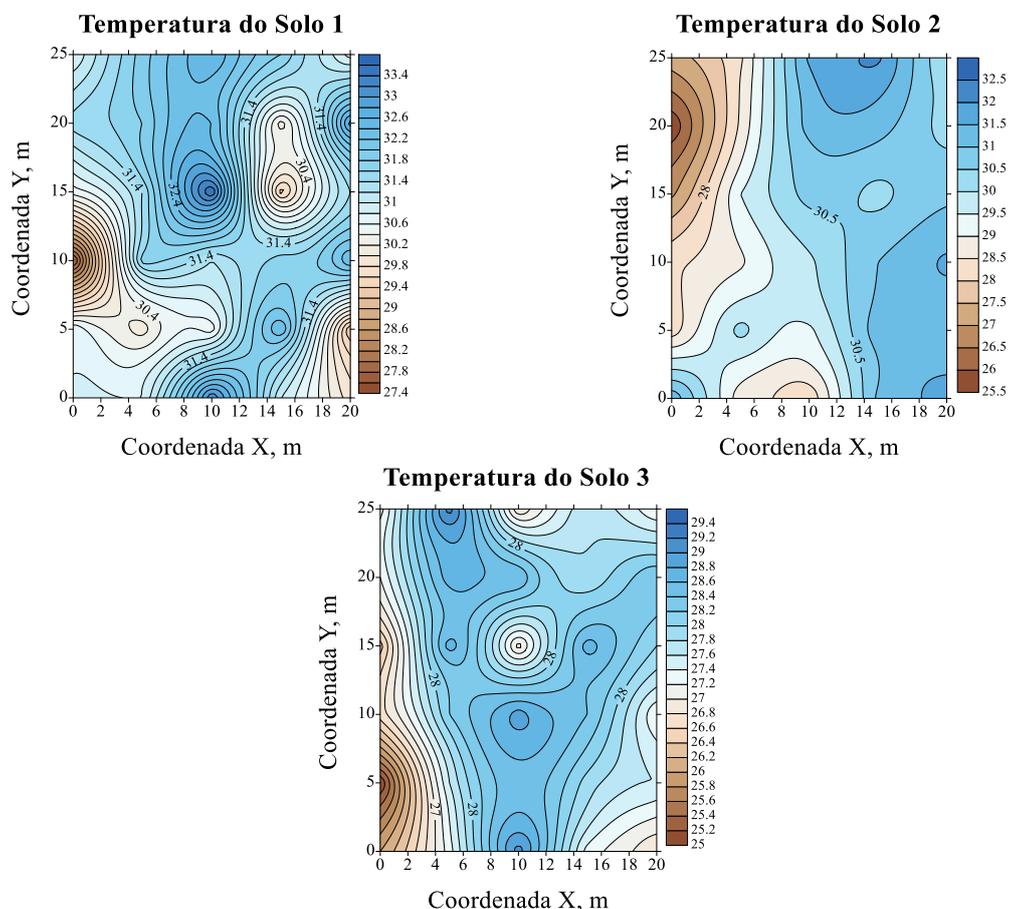


Figura 10. Mapas de isolinhas ajustados para a variável temperatura do solo (°C), sendo: Temperatura do solo (°C) no instante de medição 1 (a); Temperatura do solo (°C) no instante de medição 2 (b); Temperatura do solo (°C) no instante de medição 3 (c).

Com base nas análises das frações granulométricas do solo, Figura 5, foi possível observar que o teor de argila foi o que apresentou menor intervalo de valores, sendo a componente da textura do solo que apresentou maior homogeneidade na área de estudo. Como a textura do solo é uma variável chave que rege o movimento de água no solo, é possível relacionar a disposição desses atributos com a dinâmica de água no solo.

Observa-se que há uma relação entre os teores de argila e matéria orgânica, sendo encontradas na região. Onde há maior teor de argila, há também maior teor de matéria orgânica. Entretanto, esta mesma região apresenta-se com baixo teor de areia. A matéria orgânica possui efeitos benéficos no suprimento dos nutrientes para as plantas, na estrutura, e na capacidade de retenção de água. A distribuição espacial da argila também apresenta relação com os dados de CE do solo (Figura 6), quando comparadas essa distribuição, além do teor de sais encontrados na água de irrigação, a dinâmica espacial da CE do solo pode ser atribuída aos diferentes conteúdos de argila na área de estudo, destacando a propriedade da argila de reter mais água e também de conduzir mais eletricidade que areia ou silte (MOLIN e RABELLO, 2011).

O estudo se desenvolveu em um lote irrigado com água moderadamente salina (Souza et al., 2008), com condutividade elétrica (CE) média para o período de estudo de $1,12 \text{ dS m}^{-1}$. A condutividade elétrica média do solo para a área foi de $1,46 \text{ dS m}^{-1}$. Segundo a classificação de Richards (1974), os solos salinos apresentam CE superior a $4,0 \text{ dS m}^{-1}$, os valores de CE para a área de estudo variaram de $0,95$ à $2,27 \text{ dS m}^{-1}$, não evidenciando processo de salinização do solo ao fim do estudo. Entretanto, Lacerda et al. (2011), estudando o híbrido AG 1051 irrigado com água de diferentes níveis salinos durante a estação seca em Fortaleza, CE, verificaram que houve redução da produtividade a partir da irrigação com água de $2,2 \text{ dS m}^{-1}$. O milho é uma espécie moderadamente sensível a salinidade possuindo salinidade limiar tolerância de $1,7 \text{ dS m}^{-1}$ (AYERS e WESTCOT, 1999). O mapeamento da área torna-se uma estratégia de manejo importante, o controle específico da aplicação de água no solo e das práticas agrícolas. Dessa forma, as práticas de manejo da irrigação, como a prática de aplicação de lâminas de lixiviação, podem apresentar maior eficiência. De posse dos mapas de isolinhas, podem ser identificadas as regiões onde as CE são superiores à limiar. Nessas regiões, a aplicação do manejo da irrigação com lâminas de lixiviação se faz necessário.

O carbono e a matéria orgânica do solo apresentaram valores médios de $12,60$ e $21,67 \text{ g kg}^{-1}$. Segundo EMBRAPA (2002), solos com teor de matéria orgânica no

intervalo de 16-30 g kg⁻¹ são classificados como solos com médio teor de matéria orgânica, segundo classificação para solos do Estado de Pernambuco. Nas regiões com menores temperaturas e maior umidade, menor é a taxa de decomposição da matéria orgânica e, portanto, maiores teores de matéria orgânica são encontrados no solo. Os teores de matéria orgânica variam em função das condições de temperatura e umidade. Dessa forma, o carbono também está diretamente ligado a esses atributos de modo que, no solo, o teor de carbono está diretamente em equilíbrio com a vegetação e é dependente da taxa de decomposição da matéria orgânica. De posse dos mapas de isolinhas é possível adotar práticas de manejo como adubação e reincorporação de matéria orgânica, devendo ser adotadas nas áreas com nível mais baixo de carbono e matéria orgânica com intuito de aumentar a homogeneidade da produção, pois estes atributos estão diretamente ligados com a qualidade e a fertilidade do solo.

O comportamento da temperatura do solo é determinado pelo aquecimento da superfície pela radiação solar e transporte, por condução. Nos horários de maior temperatura do dia, a superfície se aquece, gerando um fluxo de calor para o interior. E à medida que a temperatura aumenta, ocorrendo o resfriamento da superfície, o sentido do fluxo é invertido, que agora passa a ser do solo para a superfície. A textura do solo apresentou influências significativas na temperatura do solo. De modo que os pontos amostrados que apresentaram maior teor de areia apresentaram maiores amplitudes térmicas diárias nas camadas superficiais. Este comportamento pode ser explicado pelo fato dos solos arenosos terem maior macroporosidade, havendo um menor contato entre as partículas do solo, dificultando assim o processo de condução.

CONCLUSÕES

1. As variáveis analisadas obedecem à distribuição normal de frequência e que possuem baixa e média variabilidade;
2. Para as frações granulométricas Argila e Areia, o modelo que melhor se ajustou foi o exponencial com alcances de 14,45 e 8,17 m, respectivamente. Já a variável silte apresentou melhor ajuste ao modelo gaussiano, com alcance de 12,11 m;
3. O modelo que melhor se ajustou para variável condutividade elétrica foi o exponencial com alcance de 15,90 m e grau de dependência espacial de 5,19%, sendo classificado como forte;
4. O modelo que melhor se ajustou para carbono e matéria orgânica foi o exponencial com alcances de 8,05 e 10,18 m, respectivamente e foi encontrado grau de

- dependência espacial de 6,45% para o carbono e 2,75% para a matéria orgânica do solo, sendo, ambos classificados como forte dependência espacial;
5. Há uma relação entre a distribuição espacial da argila com os teores de matéria orgânica, carbono orgânico e CE do solo, sendo encontrados os maiores teores desses atributos nas mesmas regiões;
 6. Os valores de CE para a área de estudo variaram de 0,95 à 2,27 dS m⁻¹, não evidenciando processo de salinização do solo ao fim do estudo;
 7. Através dos mapas de isolinhas é possível identificar regiões onde se faz necessário adotar a prática de aplicação de lâminas de lixiviação;
 8. O carbono e a matéria orgânica do solo apresentaram valores médios de 12,60 e 21,67 g kg⁻¹, sendo o solo classificado com médio teor de matéria orgânica, sendo necessária a incorporação de matéria orgânica no solo em regiões com baixos teores;
 9. O modelo que melhor se ajustou para os 3 momentos foi o exponencial, foram observados alcances de 18,01, 18,13, 18,00 m, para os 3 instantes de medição de temperatura do solo T1, T2 e T3, respectivamente;
 10. A textura do solo apresentou influências significativas na temperatura do solo. De modo que os pontos amostrados que apresentaram maior teor de areia apresentaram maiores amplitudes térmicas diárias nas camadas superficiais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. 300p. (FAO. Irrigation and drainage paper, 56).

ALCÂNTARA, G. R.; REIS, E. F.; QUEIROZ, D. M. produtividade de culturas correlacionada com condutividade elétrica aparente de um solo sob plantio direto. **Revista Agrotecnologia**, v.3, n.2, p.62-72, 2012.

ANDRADE, C. W. L.; SILVA, J. S.; MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; TAVARES, U. E. Variabilidade espacial da textura em solo aluvial sob o cultivo de cenoura (*Daucus Carota* L.). **Revista Pernambucana de Tecnologia**, v.2, p.59-67, 2014.

AQUINO, R. E.; CAMPOS, M. C. C.; OLIVEIRA, I. A.; MARQUES JÚNIOR, J.; SILVA, D. M. P.; SILVA, D. A. P. Variabilidade espacial de atributos físicos de solos

antropogênico e não antropogênico na região de Manicoré, AM. **Bioscience Journal**, v.30, n.4, p.988-997, 2014.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. A qualidade da água na agricultura. Trad. H. R. GHEYI et al., Campina grande: UFPB, 1999. 153p.

CAJAZEIRA, J. P.; ASSIS JÚNIOR, R. N. Variabilidade espacial das frações primárias e agregados de um Argissolo no Estado do Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, v.42, n.2, p.258-267, 2011.

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 America Journal**, v.58, p.1501-1511, 1994.

CAMPOS, M. C. C.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; MONTARI, R.; SIQUEIRA, D. S. Variabilidade espacial da textura de solos de diferentes materiais de origem em Pereira Barreto, SP. **Revista Ciência Agronômica**, v.38, n.2, p.149-157, 2007.

CARDOSO, E. J. B. N.; VASCONCELLOS, R. L. F.; BINI, D.; MIYAUCHI, M. Y. H.; SANTOS, C. A.; ALVES, P. R. L.; PAULA, A. M.; NAKATANI, A. S.; PEREIRA, J. M.; CARVALHO, S. R. L.; VILAS BOAS, G. S.; FADIGAS, F. D. S. Variabilidade espacial de atributos físicos e químicos em solos originados nos sedimentos da formação Barreiras. **Cadernos de Geociências**, v.7, n.2, p.63-79, 2010.

CARVALHO, J. F.; MONTENEGRO, A. A. A.; SOARES, T. M.; SILVA, E. F. F.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Produtividade do repolho utilizando cobertura morta e diferentes intervalos de irrigação com água moderadamente salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.256-263, 2011.

CASTIONE, G. A. F.; SOUZA, Z. M.; SILVA, R. B.; CAMPOS, M. C. C.; CUNHA, J. M. Variabilidade espacial da textura do solo em área irrigada por pivô central em diferentes posições na paisagem. **Revista Agroambiente On-line**, v.9, n.3, p.219-226, 2015.

CEFS – Comissão Estadual de Fertilidade do Solo. Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco. (2ª aproximação) 3. ed. revisada. Recife: Instituto Agronômico de Pernambuco - IPA, 212p. 2008.

CHIG, L. A.; COUTO, E. G.; NOVAES FILHO, J. P.; RODRIGUES, L. C. M.; JOHNSON, M. S.; WEBER, O. L. S. Distribuição espacial da granulometria, cor e carbono orgânico do solo ao longo de um transecto em microbacias na Amazônia meridional. **Acta Amazônica**, v.38, n.4, p.715-722, 2008.

CORADO NETO, F. C.; SAMPAIO, F. M. T.; VELOSO, M. E. C.; MATIAS, S. S. R.; ANDRADE, F. R.; LOBATO, M. G. R. Variabilidade espacial dos agregados e carbono orgânico total em Neossolo Litólico Eutrófico no município de Gilbués, PI. **Revista de Ciências Agrárias**, v.58, n.1, p.75-83, 2015.

CRUZ, J. S.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; MATIAS, S. S. R.; CAMACHOTAMAYO, J. H. Spatial variability of an Alfisol cultivated with sugarcane. **Ciencia e Investigación Agraria**, v.38, n.1, p.155-164, 2011.

DE BAETS, S.; MEERSMANS, J.; VANACKER, V.; QUINE, T.A.; VAN OOST, K. Spatial variability and change in soil organic carbon stocks in response to recovery following land abandonment and erosion in mountainous drylands. **Soil Use and Management**, v.29, p.65–76, 2013.

DE LIMA, J. L. M. P.; ABRANTES, J. R. C. B. Can infrared thermography be used to estimate soil surface microrelief and rill morphology?. **Catena**, v.113, p.314-322, 2014.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. Yield response to water. Rome: FAO, Irrigation and Drainage Paper, 33. 1986.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, 2013. 247p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Adubação e Correção do Solo: Procedimentos a Serem Adotados em Função dos Resultados da Análise do Solo, 2002. 32p.

- GONTIJO, I.; NICOLE, L. R.; PARTELLI, F. L.; BONOMO, R.; SANTOS, E. O. J. Variabilidade e correlação espacial de micronutrientes e matéria orgânica do solo com a produtividade da pimenta do reino. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.1093-1102, 2012.
- HÄRING, V.; FISCHER, H.; STAHR, K. Erosion of bulk soil and soil organic carbon after land use change in northwest Vietnam. **Catena**, v.122, p.111–119, 2014.
- HOAGLIN, D. C.; MOSTELLER, F.; TUKEY, J. W. Análise exploratória de dados: Técnicas robustas. Lisboa: Edições Salamandra. 1992. 446p.
- HU, K. L.; LI, H.; LI, B. G.; HUANG, Y. F. Spatial and temporal variability of soil organic matter in the urban–rural transition zone of Beijing. **Geoderma**, v.141, p.302–310, 2007.
- HU, K.; WANG, S.; LI, H.; HUANG, F.; LI, B. Spatial scaling effects on variability of soil organic matter and total nitrogen in suburban Beijing. **Geoderma**, v.226–227, p.54–63, 2014.
- JOURNEL, A. G. Fundamentals of geostatistics in five lessons. Washington: American Geophysical Union, 1989. 40p.
- LACERDA, C. F.; SOUSA, G. G.; SILVA, F. L. B.; GUIMARÃES, F. V. A.; SILVA, G. L.; CAVALCANTE, L. F. Soil salinization and maize and cowpea yield in the crop rotation system using saline waters. **Engenharia Agrícola**, v.31, p.663-675. 2011.
- LAGANIERE, J.; ANGERS, D. A.; PARE, D. Carbon accumulation in agricultural soils after afforestation: a meta-analysis. **Global Change Biology**, v.16, p.439–453, 2010.
- LANDIM, P. M. B. Análise estatística de dados geológicos. 2.ed. São Paulo: UNESP. 2003. 253p.
- LEÃO, M. G. A.; MARQUES JÚNIOR, J.; SOUZA, Z. M.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial da textura de um latossolo sob cultivo de citros. **Ciência e Agrotecnologia**, v.34, n.1, p.121-131, 2010.

LEÃO, M. G. A.; MARQUES JUNIOR, J.; SOUZA, Z. M.; SIQUEIRA, D.; PEREIRA, G. T. Terrain forms and spatial variability of soil properties in an area cultivated with citrus. **Engenharia Agrícola**, v.31, n.4, p.644-651, 2011.

LEHNERT, M.; VYSOUDIL, M.; KLADIVO, P. Semi-stationary measurement as a tool to refine understanding of the soil temperature spatial variability. **International Agrophysics**, v.29, p.449-457, 2015.

LIMA, G. C.; SILVA, M. L. N.; OLIVEIRA, M. S.; CURI, N.; SILVA, M. A.; OLIVEIRA, A. H. Variabilidade de atributos do solo sob pastagens e mata atlântica na escala de microbacia hidrográfica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v.18, n.5, p.517-526, 2014.

LIU, S.; AN, N.; YANG, J.; DONG, S.; WANG, C.; YIN, Y. Prediction of soil organic matter variability associated with different land use types in mountainous landscape in southwestern Yunnan province, China. **Catena**, v.133, p.137-144, 2015.

MANN, K. K.; SCHUMANN, A. W.; OBREZA, T. A.; HARRIS, W. G.; SHUKLA, S. Spatial variability of soil physical properties affecting Florida citrus production. **Soil Science**, v.175, n.2, p.487-499, 2010.

MOLIN, J. P.; RABELLO, L.M. Estudos sobre a mensuração da condutividade elétrica do solo. **Engenharia Agrícola**, v.31, n.1, p.90-101, 2011.

MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Variabilidade espacial de classes de textura, salinidade e condutividade hidráulica de solos em planície aluvial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, p.30-37, 2006.

MONTENEGRO, A. A. A.; COSTA NETTO, M. L.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SILVA, E. F. F.; FONTES JUNIOR, R. V. P. Avaliação da salinidade de Neossolo usando-se dispositivo de indução eletromagnética. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.608-617, 2010.

OLIVEIRA, S. S.; FIDELES FILHO, J.; OLIVEIRA, S. V.; ARAÚJO, T. S. Difusividade térmica do solo de Campina Grande para dois períodos do ano. **Revista de Geografia**, v.27, n.2, p.179-189, 2010.

PANOSSO, A. R.; RIBEIRO, C. E. R.; ZANINI, J. R.; PAVANI, L. C.; PEREIRA, G. T.; SCALA JÚNIOR, N. L. Variabilidade espacial da emissão de CO₂, da temperatura e umidade de um latossolo desprovido de vegetação sob diferentes lâminas de molhamento. **Semina: Ciências Agrárias**, v.30, suplemento 1, p.1017-1034, 2009.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; SILVA, V. R. Propriedades físicas de solos em sistema de plantio direto irrigado. In: CARLESSO, R.; PETRY, M.T.; ROSA, G.M. e CERETTA, C.A. eds. Irrigação por aspersão no Rio Grande do Sul. Santa Maria, RS, 2001, 165p.

RAN, L. S.; LU, X. X.; XIN, Z. B. Erosion-induced massive organic carbon burial and carbon emission in the Yellow River basin, China. **Biogeosciences**, v.11, p.945–959, 2014.

RICHARDS, L. A. Diagnostico y rehalitacion de suelos salinos y sódicos. Mexico, Editorial Limusa. 1974.

SANTOS, K. S.; MONTENEGRO, A. A. A.; ALMEIDA, B. G.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; FONTES JUNIOR, R. V. P.; ANDRADE, T.S. Variabilidade espacial de atributos físicos em solos de vale aluvial no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.828-835, 2012.

SEELY, B.; WELHAM, C.; JUAN, A. Blanco Towards the application of soil organic matter as an indicator of forest ecosystem productivity: deriving thresholds, developing monitoring systems, and evaluating practices. **Ecological Indicators**, v.5 n.10, p.999–1008, 2010.

SHEIN, E. V.; BANNIKOV, M. V.; TROSHINA, O. V.; CHURKINA, O. A. The example of the Vladimir opolie region. **Eurasian Soil Science**, v.42, n.2, p.129-136, 2009.

SILVA, J. S.; MONTENEGRO, A. A. A.; SILVA, E. F. F.; ANDRADE, C. W. L.; SILVA, J. R. L. Distribuição Espacial da Condutividade Elétrica e Matéria Orgânica em Neossolo Flúvico. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.6, n.4, p.764-776, 2013.

SILVA, J. J. N.; MONTENEGRO, A. A. A.; SILVA, E. F. F.; FONTES JUNIOR, R. V. P.; SILVA, A. P. N. Variabilidade espacial de parâmetros de crescimento da mamoneira

e de atributos físico-químicos em neossolo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.9, p.921-931, 2010.

SILVA NETO, S. P.; SANTOS, A. C.; LEITE, R. L. L.; DIM, V. P.; NEVES NETO, D. N.; DA CRUZ, R. S. Dependência espacial em levantamentos do estoque de carbono em áreas de pastagens de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. **Acta Amazônica**, v.42, n.4, p.547-556, 2012.

SIQUEIRA, G. M.; SILVA, E. F. F.; DAFONTE, J. D. Distribuição espacial da condutividade elétrica do solo medida por indução eletromagnética e da produtividade de cana-de-açúcar. **Bragantia**, v.74, n.2, p.215-223, 2015.

SIX, J.; PAUSTIAN, K. Aggregate-associated soil organic matter as an ecosystem property and a measurement tool. **Soil Biology e Biochemistry**, v.68, p. A4–A9, 2014.

SOUZA, E. R.; MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SANTOS, T. E. M.; ANDRADE, T. S.; PEDROSA, E. R. Variabilidade espacial das frações granulométricas e da salinidade em um Neossolo Flúvico do semiárido. **Ciência Rural**, v.38, n.2, p.698-704, 2008.

VIEIRA, S. R. Uso da geoestatística em estudos de variabilidade espacial. In: Curso de atualização em conservação do solo. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1995.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. **Environmental soil physics**. New York: Academic. p.655-675, 1998.

ZHANG, J. J.; LI, F. Z.; HU, K. L.; ZHANG, Q.; GUO, C. X.; HUANG, Y. F. Spatial characteristics and impact factors of soil total nitrogen and soil organic matter in Taiyuan. **Acta Ecologica Sinica**, v.29, p.3163–3172, 2009.

ZHANG, P.; SHAO, M. Spatial variability and stocks of soil organic carbon in the gobi desert of northwestern China. **Plos one**, v.9, n.4, p.1-12, 2014.

ZUCOLOTO, M.; DE SOUZA, J. S.; COELHO, R. I. Correlação e variabilidade espacial de atributos químicos do solo e produção de bananeira prata-anã. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.1, n.2, p.479-484, 2011.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos dados analisados para a umidade volumétrica do solo, observou-se que esta variável apresentou dependência espacial para a profundidade de 0,00 – 0,20 m, durante o período de monitoramento. Por se tratar de um lote irrigado a dinâmica espacial da umidade do solo é influenciada pela uniformidade de aplicação da lâmina de irrigação influenciando o padrão espacial de armazenamento de água no solo, evidenciando que o manejo da irrigação aliado a fatores intrínsecos do solo definiram estes padrões, o qual apresenta forte estabilidade espaço-temporal. A alta uniformidade de aplicação de água pelo sistema de gotejamento provocou um decréscimo da variabilidade espacial da umidade do solo, apresentando maiores CV (%) para os momentos antes da irrigação, condição de umidade do solo mais crítica para a produção agrícola, diminuindo em 56% e 28% a variabilidade espacial na área, para os momentos após a irrigação, condição de umidade do solo mais favorável para a produtividade. Através do uso da técnica da diferença relativa identificaram-se pontos no espaço amostral que representam a média da umidade do solo com elevado grau de confiabilidade e baixa incerteza ao longo do estudo realizado.

Usando a técnica da estabilidade temporal foi possível identificar, através da técnica da diferença relativa, pontos representassem a média da umidade do solo. O ponto de amostragem 10 foi o que se mostrou mais estável durante o período de estudo, podendo ser escolhido para representar a área, sendo o ponto de amostragem representativo da área no monitoramento de água no solo para fins de manejo de irrigação.

O solo no ponto 10 possui como características físicas e químicas: 501 g kg⁻¹ de areia, 277,6 g kg⁻¹ de argila, 221,4 g kg⁻¹ de silte, 9,92 g kg⁻¹ de carbono orgânico, 17,06 g kg⁻¹ de matéria orgânica, condutividade elétrica de 1,31 mS m⁻¹ e temperatura média para o dia de avaliação 29,86 °C.

Observa-se que há uma relação entre os teores de argila e matéria orgânica, sendo que onde há maior teor de argila, há também maior teor de matéria orgânica. Entretanto, esta mesma região apresenta-se com baixo teor de areia. A matéria orgânica possui efeitos benéficos no suprimento dos nutrientes para as plantas, na estrutura, e na capacidade de retenção de água.

A distribuição espacial da argila também apresenta relação com os dados de CE do solo, quando comparadas essa distribuição, além do teor de sais encontrados na água

de irrigação, a dinâmica espacial da CE do solo pode ser atribuída aos diferentes conteúdos de argila na área de estudo, destacando a propriedade da argila de reter mais água e também de conduzir mais eletricidade que areia ou silte. A condutividade elétrica média do solo para a área foi de $1,46 \text{ dS m}^{-1}$, os valores de CE para a área de estudo variaram de $0,95$ à $2,27 \text{ dS m}^{-1}$, não evidenciando processo de salinização do solo ao fim do estudo.

O carbono e a matéria orgânica do solo apresentaram valores médios de $12,60$ e $21,67 \text{ g kg}^{-1}$. Solos com teor de matéria orgânica no intervalo de $16-30 \text{ g kg}^{-1}$ são classificados como solos com médio teor de matéria orgânica. Através dos mapas de isolinhas é possível adotar práticas como adubação e reincorporação de matéria orgânica, devendo ser aplicado nas áreas com nível mais baixo de carbono e matéria orgânica com intuito de aumentar a homogeneidade da produção, de modo que estes estão diretamente ligados com a qualidade e a fertilidade do solo.

A textura do solo também influenciou a temperatura do solo de modo que os pontos amostrados que apresentaram maior teor de areia apresentaram maiores amplitudes térmicas diárias nas camadas superficiais.

Mediante as condições que o cultivo foi submetido, ao fim do ciclo da cultura foi possível a obtenção de aproximadamente 945 espigas de milho, com peso médio da espiga com a palha de $0,3 \text{ kg}$, resultando em uma produtividade de 3.150 kg ha^{-1} . Apesar da produtividade satisfatória a planta teve seu desenvolvimento afetado ao fim do ciclo, obtendo diâmetro médio do colmo de $18,73 \text{ mm}$; número médio de folhas 10 ; altura média das plantas $1,57$ metros; diâmetro médio da espiga com a palha $54,70 \text{ mm}$; diâmetro médio da espiga sem a palha $44,35 \text{ mm}$; comprimento médio da espiga com a palha $28,26 \text{ cm}$; comprimento médio da espiga sem a palha $18,63 \text{ cm}$; peso médio da espiga com a palha $0,30 \text{ kg}$; peso médio da espiga sem a palha $0,20 \text{ kg}$; e o número médio de fileiras de grãos $14,67$.