



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

Ailton Alves de Carvalho

**DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DA UMIDADE DO SOLO
EM ÁREA DE CULTIVO DE PALMA FORRAGEIRA SOB
DIFERENTES REGIMES HÍDRICOS E SISTEMAS DE
PLANTIO**

JUAZEIRO - BA
2016

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

Ailton Alves de Carvalho

**DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DA UMIDADE DO SOLO
EM ÁREA DE CULTIVO DE PALMA FORRAGEIRA SOB
DIFERENTES REGIMES HÍDRICOS E SISTEMAS DE
PLANTIO**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Vale do São Francisco-UNIVASF, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Prof. Orientador: Dr. Thieres George Freire da Silva

JUAZEIRO - BA
2016

	Carvalho, Ailton Alves de.
C331d	Dinâmica espaço-temporal da umidade do solo em área de cultivo de palma forrageira sob diferentes regimes hídricos e sistemas de plantio / Ailton Alves de Carvalho. -- Juazeiro, 2016.
	57 f. : il. 29 cm.
	Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Juazeiro, Juazeiro -BA, 2016.
	Orientador: Prof. Dr. Thieres George Freire da Silva.
	1. Forragem. 2. Suplementação animal. 3. Palma irrigada. I. Título. II. Silva, Thieres George Freire da Silva. III. Universidade Federal do Vale do São Francisco
	CDD

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Integrado de Biblioteca SIBI/UNIVASF

UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
MESTRADO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

FOLHA DE APROVAÇÃO

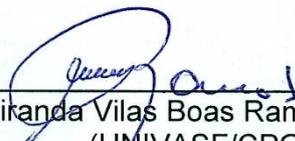
Ailton Alves de Carvalho

**“DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DA UMIDADE DO SOLO
EM ÁREA DE CULTIVO DE PALMA FORRAGEIRA SOB
DIFERENTES REGIMES HÍDRICOS E SISTEMAS DE
PLANTIO”**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação *Strito Sensu* em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF, como requisito parcial para obtenção do título de mestre.



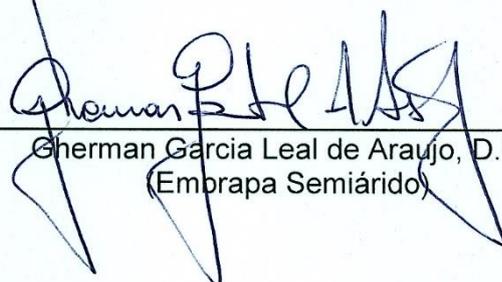
Thieres George Freire da Silva, Prof. D.Sc.
(UFRPE/UAST – UNIVASF/CPGEA)



Mário de Miranda Vilas Boas Ramos Leitão, Prof. D.Sc.
(UNIVASF/CPGEA)



Magna Soelma Beserra de Moura, Profa. D.Sc.
(Embrapa Semiárido – UNIVASF/CPGEA)



Gherman Garcia Leal de Araujo, D.Sc.
(Embrapa Semiárido)

Dedicatória

A toda a minha família, em especial a meus pais: Adailton e Maria da Penha, por todo incentivo e confiança que me foi dada.

Dedico.

Agradecimentos

A Deus por todo apoio, força e fé concedida em minha caminhada, principalmente nos momentos difíceis, guiando nos melhores caminhos.

A meus pais, Adailton e Maria da Penha, pelo amor e apoio oferecido em todos os momentos.

A meus irmãos, Amilton e Anailton pela compreensão e carinho dedicado em minha caminhada.

A minha noiva Onáira pelo amor, dedicação e incentivo em toda a minha jornada acadêmica.

A meus avós e demais familiares pelo apoio e incentivo em todas as horas.

A meu tio Zí pelo apoio e incentivo em minha jornada acadêmica na cidade de Petrolina.

Ao curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Vale do São Francisco, pela oportunidade e infraestrutura concedida.

A meu orientador Prof. Dr. Thieres George Freire da Silva, pelo apoio, confiança, motivação e orientação oferecida durante minha carreira acadêmica. Serei sempre grato.

Ao Prof. Dr. Mário de Miranda Vilas Boas Ramos Leitão pelos conselhos, incentivo e apoio concedido para minha vida profissional e acadêmica.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro.

A todos os demais professores do colegiado de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pelos conselhos e ensinamentos.

À Secretária do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Carolina Torres, e ao Engenheiro Agrônomo Hideo apoio e amizade.

Ao Grupo de Agrometeorologia do Semiárido (GAS), no apoio integral na condução do experimento.

Ao amigo Rodolfo pela amizade e incentivo a busca intensa pelo conhecimento e aprimoramento do saber na profissional.

A todos os demais colegas e amigos, aos que aqui não citei, mas que de alguma forma direta ou indireta contribuíram para a conclusão deste trabalho, só tenho a agradecer de coração.

... Meus sinceros agradecimentos.

CARVALHO, A. A. Dinâmica espaço-temporal da umidade do solo em área de cultivo de palma forrageira sob diferentes regimes hídricos e sistemas de plantio. 2016. 57f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF. Juazeiro-BA.

RESUMO

A palma é um importante recurso forrageiro para o Semiárido brasileiro visto a sua adaptabilidade às condições edafoclimáticas, que se encontra difundida em todo Semiárido brasileiro. Porém, a sua produtividade é considerada muito abaixo do seu potencial produtivo, devido principalmente ao reduzido nível tecnológico empregado. A falta de conhecimento sobre as condições de umidade do solo ideais para o desenvolvimento da cultura limita o manejo adequado em diferentes condições de cultivo. Neste contexto, buscou-se compreender as alterações hidrodinâmicas no solo cultivado com palma forrageira sob distintos sistemas de plantio e condições de disponibilidade hídrica no Semiárido brasileiro. O experimento foi conduzido no Instituto Agrônomo de Pernambuco, município de Serra Talhada, PE. O clone de palma utilizado foi a Orelha de Elefante Mexicana (gênero *Opuntia*) com e sem cobertura morta sobre o solo, e em sistema consorciado. O delineamento foi em blocos ao acaso, em arranjo fatorial 5 x 3, com quatro repetições, em que as parcelas foram composta por quatro lâminas de irrigação no momento da diferenciação, aplicadas de acordo com a evapotranspiração de referência, sendo elas: 8,75%, 17,5%, 26,25% e 35% da ETo e uma testemunha, onde não foi aplicado nenhuma lâmina 0%, e as subparcelas, três sistemas de plantio: palma exclusiva, consorciada (palma + sorgo forrageiro, cv. IPA 2501), e com cobertura morta. A umidade do solo foi medida em 60 pontos (tubos de acesso) espaçados 7 x 7 m. A partir dos dados de umidade avaliou-se a estabilidade temporal, a diferença relativa, e a distribuição espaço-temporal da umidade ao longo do perfil. A umidade do solo no palma forrageira se manteve baixa na aplicação de lâminas de até 6 mm, e apresentou coeficiente de variação mediano. Com base na matriz de correlação de Spearman, detectou-se estabilidade temporal da umidade do solo em todas as camadas, porém foi mais forte a partir de 0,30 m. As lâminas de irrigação e os sistemas de plantio não promoveram variação espaço-vertical da umidade do solo.

Palavras-chave: estatística, forragem, palma irrigada, *Opuntia*.

CARVALHO, A. A. Dinâmica espaço-temporal da umidade do solo em área de cultivo de palma forrageira sob diferentes regimes hídricos e sistemas de plantio. 2016. 57f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF. Juazeiro-BA.

ABSTRACT

The cactus forage is an important forage resource for the Brazilian semi-arid region and its adaptability to soil and climate conditions, which is widespread in all Brazilian semi-arid regions. However, its productivity is considered far below their productive potential, due mainly to the low technological level employed. The lack of knowledge about soil moisture conditions ideal for the development of crop limits the proper management in different growing conditions. In this context, we sought to understand the hydrodynamic changes in soil cultivated with cactus forage under different planting systems and conditions of water availability in the Brazilian semi-arid region. The experiment was conducted at the Agronomic Institute of Pernambuco, in municipality of Serra Talhada, State of Pernambuco. The clone used was the Orelha de Elefante Mexicana (genus *Opuntia*) with and without mulch on the soil, and intercropping system. The experimental design was randomized blocks in 5 x 3 factorial arrangement with four replicates, where the plots were composed of four irrigation blades at the time of differentiation, applied according to the reference evapotranspiration, being they: 8.75%, 17.5%, 26.25% and 35% of the E_{To} and a witness, where there was no blade 0%, and the subplots, three systems of planting: cactus forage exclusive, consortium (cactus forage + sorghum forage, cv. IPA 2501), and mulch. Soil moisture was measured at 60 points (access pipes) spaced 7 x 7 m. From the data of moisture was evaluated the temporal stability, the relative difference and spatio-temporal distribution of moisture along the soil profile. Soil moisture in the cactus forage remained low in application of up to 6 mm blades, and coefficient of variation median. Based on the array of Spearman correlation was detected soil moisture temporal stability in all layers, but was stronger from 0.30 m. The blades of irrigation and planting systems not promoted vertical-space variation in soil moisture.

Keywords: statistical, forage, cactus forage irrigated, *Opuntia*.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
2.1. Palma como recurso forrageiro no Semiárido brasileiro	2
2.2. A umidade no solo e a interação solo-planta-atmosfera	3
2.3. Variação espaço-temporal da umidade do solo.....	4
2.4. Estabilidade temporal da umidade do solo	5
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	6
4. ARTIGOS	11
4.1 Artigo 1 - Estabilidade temporal e variabilidade espacial da umidade do solo em um cultivo de palma forrageira no Semiárido brasileiro.....	11
4.2 Artigo 2 - Variação da umidade do solo cultivado com palma forrageira sob lâminas de irrigação e sistemas de plantio	30

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a palma visa à subsistência dos rebanhos, sendo considerada como uma das principais forrageiras das estações secas da região Nordeste, sobretudo em Alagoas e Pernambuco. Apesar do seu ótimo desempenho em regiões com baixo nível pluviométrico, o uso de irrigação torna-se uma ótima opção para incrementar expressivamente o rendimento anual da cultura. Essa prática em associação com outras como consorciação e uso de cobertura morta pode ainda mais maximizar a produção de forragem.

Logo, o acompanhamento da variação espaço-temporal da umidade do solo é fundamental para o estabelecimento de estratégias de manejo de irrigação, visando melhorar o uso das reservas de água. Esse monitoramento é essencial para gerar informações de quando e quanto irrigar. Além disso, em diferentes sistemas de cultivo, o estudo da dinâmica da água no solo torna-se ainda mais recomendado.

Em tais condições, a umidade do solo necessita ser medida em vários locais para representar a área. Assim, a análise das tendências temporais ao longo do perfil e no espaço permite melhorar a compreensão dos fatores de produção.

Nesse sentido, a aplicação de técnicas como a estabilidade espaço-temporal e a modelagem hidrodinâmica da umidade do solo ao longo do desenvolvimento da palma forrageira em diferentes condições de cultivo e disponibilidade hídrica pode fornecer respostas para adequação do manejo da cultura ao longo do ciclo, de forma a minimizar os custos de produção.

Deste modo, os objetivos deste trabalho foram: avaliar a variabilidade espaço-temporal da umidade do solo em cultivos de palma forrageira; analisar a variação da umidade ao longo do perfil do solo; e, identificar fatores atuantes na umidade do perfil do solo com cultivos de palma forrageira.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Palma como recurso forrageiro no Semiárido brasileiro

O Semiárido brasileiro é a região que possui maior área plantada de palma forrageira do mundo (600.000 hectares), a qual possibilita a suplementação de rebanhos bovinos, caprinos e ovinos, sobretudo no período de estiagem (LOPES et al., 2010). Antigamente a variedade gigante (*Opuntia ficus indica*) era a mais cultivada no Nordeste, em destaque para os estados de Pernambuco, Paraíba, Alagoas, Rio Grande do Norte, Ceará, Sergipe e Bahia (LOPES et al., 2009). No entanto, de acordo com Lopes et al. (2010), desde de 2001 esta espécie vem sofrendo grande redução de suas áreas, devido ao ataque da praga cochonilha-do-carmim (*Dactylopius opuntiae*).

Desta forma, a melhor alternativa ao cultivo foi o uso de clones resistentes (VASCONCELOS et al., 2009). Mais recentemente, o Instituto Agrônomo de Pernambuco lançou o clone Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta*) como alternativa às variedades susceptíveis a essa praga.

A estacionalidade da oferta de alimento nas áreas semiáridas não está associada apenas à variação na distribuição das chuvas, mas também à baixa capacidade de regeneração de muitas espécies e o baixo valor nutritivo. Desta forma, uma alternativa viável é a utilização de espécies que apresentem resistência à seca, promovendo disponibilidade de alimento volumoso durante todo ano. Assim, a busca por alimento de elevado valor nutritivo, ao mesmo tempo econômico e com elevada produtividade, torna-se importante para a manutenção do equilíbrio entre a oferta e a demanda de nutrientes aos ruminantes (CIRNE et al., 2013; JIMÉNEZ et al., 2013).

A palma pertence à Divisão Embryophyta, Subdivisão Angiospermea, Classe Dicotyledoneae, Subclasse Archiclamideae, Ordem Opuntiales e família das cactáceas (SILVA e SANTOS, 2007), sendo os principais gêneros *Opuntia* e *Nopalea* (ARAÚJO, 2009). Esses gêneros são originários do México, e se adaptaram bem às condições edafoclimáticas da região semiárida, devido às suas características anatômicas, morfológicas e bioquímicas (CÂNDIDO et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2010). A *Opuntia stricta* e a *Nopalea cochonillifera* Salm Dyck (IPA Sertânia e Orelha de Elefante Mexicana) possuem características da família das cactáceas, com Metabolismo Ácido das Crassuláceas, que possibilita melhorar a eficiência no uso da

água e aumenta a sua capacidade de suportar as adversidades edafoclimáticas das regiões áridas e semiáridas (ARAÚJO, 2009; OLIVEIRA et al., 2010).

A palma é uma cultura semiperene de colheita bienal, quando conduzida em condições de sequeiro, no entanto em condições de ambiente modificado sob irrigação seu ciclo pode sofrer modificações no crescimento e no desenvolvimento em resposta às alterações sazonais e interanuais (SILVA et al., 2015a).

2.2. A umidade no solo e a interação solo-planta-atmosfera

A água é o elemento mais abundante na planta e o que ela mais necessita para o seu desenvolvimento, exercendo funções vitais na regulação energética nos tecidos vegetais (LACERDA, 2007).

A umidade do solo exerce fundamental importância para o suprimento de água às plantas, logo é um fator limitante para o desenvolvimento das culturas agrícolas (SANTOS et al., 2012). Portanto, em solos cultivados a umidade deve ser estudada, já que seu conhecimento é necessário para entendimento dos processos de infiltração, redistribuição e suprimento de água as culturas (KLEIN e LIBARDI, 2002), bem como, para um correto manejo e uso de técnicas de conservação do solo (NOGUEIRA et al., 2013).

O fluxo de água no solo varia em volume, velocidade, direção e profundidade, em função de fatores como topografia, condições prévias de umidade, condições atmosféricas (temperatura, umidade, radiação, vento), cobertura vegetal e sistema radicular (NOGUEIRA et al., 2013; CHEN et al., 2007). À medida que a água infiltra no solo, as camadas superiores umedecem alterando gradativamente o perfil da umidade. Sob condições de campo, a água que infiltra pode fluir tanto na vertical, como na horizontal, dependendo do tipo de solo, cobertura vegetal e declividade (OLIVEIRA, 2015).

Assim, o entendimento de como a planta utiliza a água e os fatores que afetam os seus fluxos no contínuo solo-planta-atmosfera é importante nos processos de transferência de energia do sistema em resposta às variações climáticas (ROSADO, 2011).

A partir do momento em que a água começa a infiltrar no solo, os poros vão sendo preenchidos, com isso pode-se observar constantes movimentações da água

em todas as direções em função dos diferentes potenciais, com tendência de movimento dos locais de maior energia para o de menor, buscando sempre o equilíbrio no sistema solo-planta-atmosfera (LACERDA, 2007).

Na medida em que a água entra na planta por meio da absorção pelo sistema radicular seu movimento vai variar em função das condições atmosféricas, do tipo de célula, tecido vegetal e da fisiologia da planta. Com isso, a umidade na planta depende do nível de atividade metabólica, das condições climáticas, da transpiração e do potencial da água no solo, exigindo que ela seja maior do que a das raízes (TRAUTMANN et al., 2014; LACERDA, 2007).

A umidade do solo também exerce grande efeito nas condições microclimáticas, com destaque para a magnitude da temperatura de superfície em sua marcante influência no armazenamento de energia térmica, e sua mudança no solo promove alterações significativas no balanço de energia da superfície (SILVA et al., 2015b).

Assim, para um melhor manejo de irrigação é importante o conhecimento da dinâmica do processo água-solo no cultivo da palma forrageira.

2.3. Variação espaço-temporal da umidade do solo

O solo é um meio poroso e heterogêneo, cujas propriedades físico-hídricas podem ser alteradas de forma espaço-temporal de acordo com o manejo aplicado (PANACHUKI, 2003). A mensuração da umidade do solo é relevante para a solução de problemas relacionados a áreas de irrigação e drenagem, e conservação de água no solo (OLIVEIRA et al., 2013).

Os agroecossistemas para que sejam eficientes no sistema de produção é necessário que se considerem os elementos naturais, que induzam ao desenvolvimento das plantas. Com isso, o conhecimento sobre condições de clima e solo é estratégico para o sucesso de um empreendimento agrícola. O solo sem dúvida constitui um meio extremamente importante para o crescimento de uma planta. Além de ser a sua estrutura física para fixação é considerada a principal fonte de nutrientes, como também um importante reservatório de água. A quantidade de água no solo está diretamente ligada às suas características, logo a capacidade de armazenar água, é variável no espaço e no tempo. A variação ocorrida na umidade do solo deve-se na

maioria dos casos a solos com alta heterogeneidade, principalmente no que se refere às suas características físicas (SOUZA et al., 2006).

Estudos de dinâmica da água no solo em condições de campo mostram que o fluxo de água na zona radicular da cultura é menos frequente e bastante complexo (TORMENA et al., 1999). Estudos mais detalhados do comportamento da água no solo, durante o desenvolvimento de uma cultura, fornecem elementos essenciais ao estabelecimento ou aprimoramento de práticas de manejo agrícola que visem à otimização da produtividade.

Em virtude de um melhor manejo da produção, o estudo da distribuição espacial da umidade do solo em ambiente cultivado é de extrema importância (SANTOS et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2013; COSTA et al., 2014; SILVA, 2013).

A distribuição espacial por meio da geoestatística está associada a uma classe de técnicas que permite analisar e inferir valores de uma ou mais variáveis distribuída no espaço e no tempo (CASTRO et al., 2010), mapeando, quantificando e modelando fenômenos contínuos, por meio da interpolação dos pontos amostrados no espaço e no tempo (SOUZA et al., 1998).

2.4. Estabilidade temporal da umidade do solo

O movimento da água no solo é muito heterogêneo e depende da ação de diversos fatores relacionados ao clima, solo, topografia e vegetação, resultando na grande variabilidade espacial e temporal (ÁVILA et al., 2010).

O conhecimento da variabilidade espacial torna-se importante para o manejo racional da água e a maximização da produtividade, sobretudo em locais que necessitam de tratamento diferenciado (MOREIRA et al., 2014).

Para a análise espaço-temporal é necessário a distribuição de pontos fixos na área de estudo, logo em muitos casos, a quantidade destes podem ser elevados, aumentando os custos de produção. Desta forma, Vachaud et al. (1985) propuseram a redução do número de amostras para um monitoramento adequado, sem prejudicar a distribuição dos dados por meio de duas técnicas: a primeira, denomina-se de diferença relativa (δ_{ij}), a qual faz uma análise dos desvios entre os valores observados de forma individual no espaço e a média entre eles; quando a diferença relativa apresenta pequena variação temporal entre as posições há indicação de estabilidade temporal (ÁVILA et al., 2011; MOREIRA et al., 2014), permitindo identificar uma ou

mais posições que representam a média geral da umidade no campo, assim como mostram os valores sub e superestimados. Desta forma, quanto menor for o desvio padrão, maior a confiabilidade da utilização deste ponto para análise média geral (LEMOS FILHO, 2010); a segunda técnica aplicada é o teste não paramétrico de Spearman, que indica o grau de concordância da variabilidade espacial medida em diferentes tempos; o coeficiente de correlação quanto mais próximo de 1, maior a estabilidade existente entre os tempos (MELO FILHO e LIBARDI, 2005; LEMOS FILHO, 2010).

A teoria da estabilidade temporal tem sido empregada na hidrologia em diferentes lugares, com destaque para Penna et al. (2013) que observaram a persistência da organização espacial da umidade do solo e a sua estabilidade temporal em diferentes profundidades, em encostas com cobertura vegetal e constataram alta relação com a porosidade do solo. Por sua vez, Brocca et al. (2012) verificaram uma alta variabilidade da umidade com aumento da distância e independente da extensão da área teve estabilidade temporal da umidade do solo nas camadas superficiais em bacia hidrográfica na França. Gonçalves et al. (1999) investigaram a umidade do solo até 0,3 m de profundidade em área irrigada em São Paulo, e constataram estabilidade da umidade ao longo do tempo e variação em profundidade.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAUJO, A. M. **Interação entre: adubação fosfatada e espaçamento no cultivo da palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill) no estado da Paraíba.** 2009. 67f. (Dissertação de Mestrado em Zootecnia – Sistemas Agrosilvopastoris do Semiárido).
- ÁVILA, L. F.; MELLO, C. R. D.; SILVA, A. M. D. **Estabilidade temporal do conteúdo de água em três condições de uso do solo, em uma bacia hidrográfica da região da Serra da Mantiqueira, MG.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, 2010.
- BROCCA, L.; TULLO, T.; MELONE, F.; MORAMARCO, T.; Morbidelli, R. **Catchment scale soil moisture spatial–temporal variability.** Journal of hydrology, v. 422, p. 63-75, 2012.

- CÂNDIDO, M. J. D.; GOMES, G. M. F.; LOPES, M. N.; LUCIANO, J. F. X. **Palma forrageira para mitigar a escassez de forragem em regiões semiáridas**. Informe Rural, ano VII, n.3, 2013.
- CASTRO, F. S.; PEZZOPANE, J. E. M.; CECILIO, R. A.; PEZZOPANE, J. R. M.; XAVIER, A. C. **Avaliação do desempenho dos diferentes métodos de interpoladores para parâmetros do balanço hídrico climatológico**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.14, n.8, p.871–880, 2010.
- CHEN, L.; HUANG, Z.; GONG, J.; FU, B.; HUANG, Y. **The effect of land cover/vegetation on soil water dynamic in the hilly area of the loess plateau, China**. Catena, v.70, p.200-208, 2007.
- CIRNE, L.G.A.; BARONI, M.R.; OLIVEIRA, G.J.C.; JAEGER, S.M.P.L.; BAGALDO, A.R.; LEITE, M.C.P.; MARQUES, J.A.; CARVALHO, G.G.P. **Características de carcaça de não componentes da carcaça de cordeiros suplementados com sal forrageiro de *Gliricidia sepium* (Jacq.) Walq**. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, v.65, n.1, p.289-293, 2013.
- COSTA, V. L.; MARIA, I. C.; CAMARGO, O. A.; GREGO, C. R.; MELO, L. C. A. **Distribuição espacial de fósforo em Latossolo tratado com lodo de esgoto e adubação mineral**. Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.18, n.3, p.287–293, 2014.
- GONÇALVES, A. C. A.; FOLEGATTI, M. V.; 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.
- JIMÉNEZ, A. C.; SALARTE, W. N.; VON-HESSBERG, C. H. **Características forrageiras de la espécie *Gliricidia sepium* (jacq.) Stend, Fabaceae**. bol.cient.mus.hist.nat. n.17, v1, p.33-45, 2013.
- KLEIN, V.A. & LIBARDI, P.L. **Condutividade hidráulica de um Latossolo Roxo, não-saturado, sob diferentes sistemas de uso e manejo**. Revista Ciência Rural, v.32, n.6, p.945-953, 2002.
- LACERDA, C.F. **Relações solo-água-plantas em ambientes naturais e agrícolas do nordeste brasileiro**. Recife, 2007. 79p. (Apostila).
- LEMO FILHO, L. C. A. **Estabilidade temporal e análise espacial do armazenamento de água no solo arenoso da região de Petrolina – PE**. 2010. 163 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Lavras- Minas Gerais, 2010.

- LOPES, E. B.; BRITO, C. H.; ALBUQUERQUE, I. C.; BATISTA, J. L. **Seleção de genótipos de palma forrageira (*Opuntia* spp.) e (*Nopalea* spp.) resistentes à cochonilha-do-carmim (*Dactylopius opuntiae* Cockerell, 1929) na Paraíba, Brasil.** Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal, v. 7, n. 1, p. 204-215, jan./mar. 2010.
- LOPES, E. B.; BRITO, C. H.; ALBUQUERQUE, I. C.; BRITO, C. H.; BATISTA, J. L. **Velocidade de dispersão de *Dactylopius opuntiae* em palma gigante (*Opuntia ficus-indica*).** Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal, v. 6, n. 2, p. 644-649, mai/ago 2009.
- 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.
- MOREIRA, N. B.; LIBARDI, P. L.; SALVADOR, M. M. S.; SOUSA, H. H. F. **Análise espaço-temporal de componentes do balanço hídrico em um Latossolo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo. v.38, n.1, p.60-72, 2014.
- NOGUEIRA, M. L.; ARANHA, P. R. A.; AUGUSTIN, C. H. R. R. **Estudo da dinâmica da água infiltrada com o auxílio de método geofísico-Gouveia, Espinhaço Meridional, Minas Gerais, Brasil.** Revista Geografias, v. 9, n. 2, p. 21-37, 2013.
- OLIVEIRA, F. T.; SOUTO, J. S.; SILVA, R. P.; ANDRADE FILHO, F. C.; PEREIRA JUNIOR, E. B. **Palma forrageira: adaptação e importância para os ecossistemas áridos e semiáridos.** Revista Verde (Mossoró – RN – Brasil) v.5, n.4, p. 27 – 37, 2010.
- OLIVEIRA, I. A.; CAMPOS, M. C. C.; SOARES, M. D. R.; AQUINO, R. E.; MARQUES JÚNIOR, J.; NASCIMENTO, E. P. **Variabilidade espacial de atributos físicos em um Cambissolo Háplico, sob diferentes usos na Região Sul do Amazonas.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.37, p.1103-1112, 2013.
- PANACHUKI, E. **Infiltração de água no solo e erosão hídrica, sob chuva simulada, em sistema de integração agricultura-pecuária.** 2003. 67 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Mato Grosso do Sul, 2003.
- PENNA, D.; BROCCA, L.; BORGA, M.; DALLA FONTANA, G. Soil moisture temporal stability at different depths on two alpine hillslopes during wet and dry periods. Journal of hydrology, v. 477, p. 55-71, 2013.
- ROSADO, B. H. P. **Ecologia funcional de árvores na mata atlântica: o papel de atributos morfológicos, grau de exposição da copa e altitude sobre o uso da**

- água das espécies.** 2011. 163 f. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Biologia. São Paulo, 2011.
- SANTOS, K. S.; MONTENEGRO, A. A. A.; ALMEIDA, B. G.; MONTENEGRO, S. M. G. L. ANDRADE, T. S.; FONTES JUNIOR, R. V. P. **Variabilidade espacial de atributos físicos em solos de vale aluvial no semiárido de Pernambuco.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.16, n.8, p.828–835, 2012.
- SILVA, C. C. F.; SANTOS, L. C. **Palma Forrageira (*Opuntia Ficus- Indica* Mill) como alternativa na alimentação se ruminantes.** Revista electrónica de Veterinaria, v.8, n.5, 2007.
- SILVA, J. M. **Análise espacial de atributos físicos em um latossolo cultivado em plantio direto.** Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal, v. 10, n. 3, p. 27-38, 2013.
- SILVA, J. R. L.; MONTENEGRO, A. A. A.; MONTEIRO, A. L. N.; SILVA JUNIOR, V. P. **Modelagem da dinâmica de umidade do solo em diferentes condições de cobertura no semiárido pernambucano.** Brazilian Journal of Agricultural Sciences/Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v. 10, n. 2, 2015b.
- SILVA, T. G. F.; ARAUJO PRIMO, J. T.; MORAIS, J. E. F.; DINIZ, W. J. S.; SOUZA, C. A. A.; SILVA, M. C. **Crescimento e produtividade de clones de palma forrageira no semiárido e relações com variáveis meteorológicas.** Revista Caatinga, Mossoró, v.28, n.2, p.10 – 18, 2015a.
- SOUZA, L. S.; COGO, N. P.; VIEIRA, S. R. **Variabilidade de fósforo, potássio e matéria orgânica em relação a sistemas de manejo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 22, p.77-86, 1998.
- SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. MONTANARI, R. **Otimização amostral de atributos de Latossolos considerando aspectos solo-relevo.** Ciência Rural, v.36, n.3, p. 829-836, 2006.
- TORMENA, C. A.; SILVA, A. D.; GONÇALVES, A. C. A.; FOLEGATTI, M. V. **Intervalo ótimo de potencial da água no solo: Um conceito para avaliação da qualidade física do solo e manejo da água na agricultura irrigada.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 3, n. 3, p. 286-292, 1999.
- TRAUTMANN, R.R.; LANA, W. DO C.; GUIMARÃES, V.F.; GONÇALVES JR., A.C.; STEINER, F. **Potencial de água do solo é adubação com boro no crescimento e absorção do nutriente pela cultura da soja.** Revista Brasileira Ciência do Solo, v.38, p.240-251, 2014.

VACHAUD. G.; 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.

VASCONCELOS, A.G.V.; LIRA, M.A.; CAVALCANTI, V.L.B.; SANTOS, M.V.F.; WILLADINO, L. **Seleção de clones de palma forrageira resistentes à cochonilha-do-carmin (*Dactylopius sp.*).** Revista Brasileira de Zootecnia, v. 38, n. 5, p. 827-831, 2009.

4. ARTIGOS

4.1 Artigo 1 - Estabilidade temporal e variabilidade espacial da umidade do solo em um cultivo de palma forrageira no Semiárido brasileiro

Resumo - A umidade do solo é uma variável de suma importância para o manejo de água em cultivos agrícolas. O uso de irrigação em áreas de palma forrageira induz o aumento de informações para a tomada de decisão de quando e quanto irrigar. Assim, objetivou-se avaliar a estabilidade temporal e a variabilidade espacial da umidade do solo em cultivo de palma forrageira no Semiárido brasileiro. O experimento foi conduzido no município de Serra Talhada, PE, em uma área de palma forrageira (*Opuntia stricta*), onde medidas da umidade no perfil do solo foram efetuadas a cada 0,10 m, em seis camadas, de 60 pontos, três dias por semana durante 41 dias da fase inicial de crescimento da cultura. Calculou-se a diferença relativa e a matriz de correlação de Spearman para análise da estabilidade temporal da umidade do solo, e aplicou-se geoestatística na avaliação da dependência espacial. A umidade do solo se manteve baixa, mesmo após a ocorrência de eventos de irrigação ou precipitação, e apresentou coeficiente de variação mediano. A matriz de correlação de Spearman detectou estabilidade temporal da umidade do solo em todas as camadas, porém foi mais forte nas maiores profundidades.

Palavras-chave: geoestatística, palma forrageira, estabilidade temporal.

Introdução

O aumento das áreas cultivadas com palma irrigada induz a necessidade de mensuração da umidade do solo como uma estratégia de manejo de água no sistema de produção.

A umidade do solo é uma variável fundamental no controle da troca de água e de energia entre a superfície terrestre e a atmosfera (Vereecken et al., 2014). Do ponto de vista hidrológico

e ecológico condiciona os processos de escoamento superficial, infiltração, armazenamento, drenagem e transpiração das plantas (Zhang e Shao, 2013). Além disso, auxilia no manejo de irrigação e na previsão da produtividade, sobretudo em áreas sob alta demanda evaporativa, onde é preciso utilizar-se de técnicas de conservação do solo e da água (Souza et al., 2011; Ávila et al., 2011).

Apesar de importante, a mensuração da umidade do solo pode ser realizada de maneira inadequada por falta de conhecimento dos pontos que melhor representam sua distribuição no tempo e no espaço (Mion et al., 2012; HU et al., 2010).

A umidade do solo depende da quantidade de água armazenada, logo o conhecimento dos pontos que melhor representam a área de estudo possibilita a diminuição da amostragem e do erro na estimativa de variáveis como o armazenamento de água no solo. A distribuição do teor de água no solo pode dispor de estabilidade temporal (Vachaud et al., 1985), de modo que possibilita a identificação de pontos com comportamento semelhante ao valor médio; dado esse relevante no planejamento de programas de monitoramento hidrológico e na melhoria da qualidade da pesquisa (Ávila et al., 2010).

Inúmeros trabalhos foram conduzidos sobre a estabilidade temporal em áreas agrícolas, com destaque para variáveis de umidade do solo e propriedades físicas (Ávila et al., 2011; Melo Filho e Libardi, 2005; Hu et al., 2010; Rötzer et al., 2015; Zhang e Shao, 2013). Porém, não existem trabalhos que demonstrem a estabilidade temporal da umidade do solo em áreas de cultivo de palma forrageira.

Neste intuito, objetivou-se avaliar a estabilidade temporal e a variabilidade espacial da umidade do solo em cultivo de palma forrageira com suplementação hídrica no Semiárido brasileiro.

Material e métodos

O experimento foi realizado na estação experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco - IPA (município de Serra Talhada, 7°57' S, 38°11' O e 506 m, no Semiárido do Estado de Pernambuco). O clima da região é semiárido do tipo BSw^h, segundo a classificação de Köppen, com os meses mais quentes ocorrendo os maiores índices de chuva e os meses frios sendo os mais secos (Silva et al., 2015a). A precipitação média anual é de 642 mm, concentrada entre os meses de janeiro a abril e com temperatura média de 24,8°C (Silva et al., 2015b). O solo na área de estudo é caracterizado como Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico franco arenoso conforme a classificação da Embrapa (2013). Na Tabela 1 são apresentados as propriedades físicas avaliadas na área de estudo.

Tabela 1. Propriedades físicas do solo cultivado com palma forrageira, em Serra Talhada, Estado de Pernambuco, Semiárido brasileiro

Camada M	d(solo) kg dm ⁻³	d(partícula) kg dm ⁻³	P(total) %	Areia(total) g kg ⁻¹	Silte g kg ⁻¹	Argila g kg ⁻¹
0,00-0,10	1,52	2,55	40,48	719,80	263,40	16,80
0,10-0,20	1,62	2,57	37,11	719,20	247,30	33,60
0,20-0,30	1,59	2,60	38,92	710,80	248,30	40,80
0,30-0,40	1,54	2,55	39,48	645,20	279,10	75,80
0,40-0,50	1,49	2,59	42,58	607,00	297,90	95,10
0,50-0,60	1,42	2,63	46,00	575,00	304,60	120,40

* **Siglas:** d(solo) – densidade do solo; d(partícula) – densidade da partícula; P(total) – porosidade total.

A área foi implantada com clone Orelha de Elefante Mexicana IPA 200016 (*Opuntia stricta*) em março de 2011, no espaçamento de 1,6 m x 0,4 m, conduzida sob sistema de plantio exclusivo até 05/2012, quando foi realizado um corte de uniformização, mantendo-se apenas os cladódios basais. A partir de 01/06/2012, iniciou-se o experimento do presente estudo, sendo conduzido até 11/07/2012, totalizando 41 dias. A umidade volumétrica do solo (θ) foi coletada a cada 0,10 m até a profundidade de 0,60 m, em 60 pontos espaçados em 7,00 x 7,00 m, a fita gotejadora foi espaçada 0,15 m da planta e dos pontos de medidas da umidade (Figura 1).

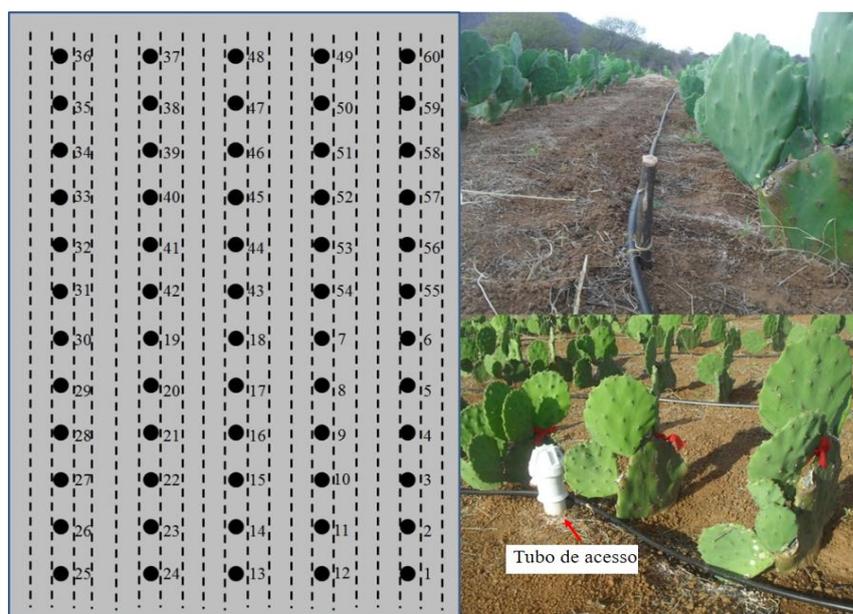


Figura 1. Esquema da disposição dos tubos de acesso na área e sua localização em relação as plantas de palma forrageira na área experimental.

* (●) Tubos de acesso (pontos de monitoramento da umidade do solo).

A irrigação foi realizada entre 18 e 41 dias do período experimental, com pouca variação lâminas de água, todas próximas de 6 mm, para suprir a deficiência hídrica gerada pelos baixos índices pluviométricos.

O monitoramento das variáveis meteorológicas foi realizado por meio de uma estação meteorológica localizada a 700 m da área experimental, pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Para o monitoramento da umidade do solo foi usado sensor capacitivo (Diviner 2000[®]), calibrado nas condições locais por Primo et al. (2015), conforme equação 1:

$$\theta = 0,4453FR^{2,9403} \quad (1)$$

em que θ é a Umidade Volumétrica e FR a Frequência Relativa.

As leituras foram feitas em frequência relativa e, convertidas automaticamente em umidade do solo de cada 0,10 m de profundidade, até 0,6 m. As leituras foram feitas em dias específicos da semana (segunda feira, quarta feira e sexta feira).

Para analisar a estabilidade temporal no período de estudo quanto à umidade do solo (θ) foi utilizada a técnica proposta por Vachaud et al. (1985) e o coeficiente de correlação de Spearman, usado para comparar os valores pontuais e seus desvios padrão em relação a média em todos os pontos, pela seguinte equação 2:

$$\delta_{ij}(\theta) = \frac{\theta_{ij} - \bar{\theta}_{ij}}{\bar{\theta}_{ij}} \times 100 \quad (2)$$

em que $\delta_{ij}(\theta)$ é a diferença relativa média 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 i no tempo j , determinado pela equação 3.

$$\bar{\theta}_{ij} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \theta_{ij} \quad (3)$$

em que: θ_{ij} é a umidade do solo medido no local i no tempo j e N é o número de observações.

O coeficiente de correlação de Spearman (r_s) foi empregado para avaliar o grau de correlação da variabilidade espacial do conteúdo de água no solo em diferentes tempos de amostragem. O coeficiente de correlação de Spearman é definido pela equação 4:

$$r_s = 1 - 6 \times \frac{\sum_{i=1}^n (\theta_{ij} - \theta_{ij'})^2}{n(n^2 - 1)} \quad (4)$$

em que: θ_{ij} é a umidade do solo medido no local i no tempo j , $\theta_{ij'}$ é a umidade do solo medido no local i , na mesma posição, mas no tempo j' , n é o número de observações.

O coeficiente de correlação de Spearman (r_s) reflete a eficiência do ajuste, quando mais próximo de 1 mais estável é o processo. Quando a diferença relativa apresentar pequena variação temporal entre as posições, há indicação de estabilidade temporal. A média no tempo dessa diferença relativa para cada posição i , associado ao respectivo desvio-padrão no tempo e classificados em ordem crescente, permite identificar as posições que representam a média geral do conteúdo de água no solo com alto nível de confiabilidade. Desta forma, quanto maior a

similaridade entre as datas de leitura, maior a confiabilidade de se utilizar o referido ponto para estimar a média geral (Avila et al., 2011).

Os dados foram analisados de acordo com a estatística descritiva, verificando a distribuição normal de acordo com o teste de Kolmogorov-Smirnov. O grau de variabilidade dos valores de coeficiente de variação (CV) foram classificados de acordo com Gomes (Lorentz et al., 2004), onde considera o coeficiente de variação (CV) baixo, quando inferior a 10%, médio de 10 a 20% e altos de 20 a 30% e muito altos quando superior a 30%.

A geoestatística foi utilizada para análise da existência da dependência espacial da umidade do solo, por meio da elaboração de semivariogramas nos quais a semivariância ($\gamma(h)$) foi estimada pela equação 5:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N_i(h)} \sum_{j=1}^{2N_i(h)} [Z(S_i) - Z(S_i+h)]^2 \quad (5)$$

em que: $N_i(h)$ é o número de pares de pontos $z(s_i)$ e $z(S_i+h)$ separados por distância h .

O ajuste do modelo matemático para os semivariogramas de cada variável forneceu os parâmetros: efeito pepita (C_0), valor de γ quando h se estabiliza próximo a um valor constante, considerado o limite da dependência espacial da grandeza medida; patamar (C_0+C), valor que possibilita identificar a estacionaridade dos pares de pontos, confirmados com a semivariância (γ), quando o valor é constante e próximo da variância dos dados; e, o Alcance (A), medida que indica a distância máxima em que uma variável está correlacionada espacialmente (Lima et al., 2014; Matias et al., 2015). Após a seleção do semivariograma que apresentava dependência espacial foi possível gerar os mapas por meio da interpolação geoestatística (Krigagem).

Resultados e Discussão

Os valores médios da umidade do solo para todas as camadas, o coeficiente de variação, a precipitação + a irrigação e a evapotranspiração são apresentados na Figura 2. Verifica-se que

a umidade média do solo nas camadas (0,50-0,60 m; 0,40-0,50 m; 0,20-0,30 m; 0,10-0,20; 0,00-0,10) foram mais elevados (Figura 2A) em ordem da mais profunda para a menos, com valores médios de θ (0,095; 0,090; 0,086; 0,078; 0,072 e 0,076 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) respectivamente. Nas camadas de 0,30-0,40 a 0,50-0,60 m, quase não ocorreu variação de θ e do CV. Lier e Libardi (1999) observaram esse mesmo comportamento da umidade em condições e épocas similares no estado de São Paulo, no perfil de um metro de profundidade. Este fato deve estar associado ao elevado conteúdo de argila (75,80, 95,10 e 120,40 g kg^{-1}) e silte (279,10, 297,90 e 304,60 g kg^{-1}), aliado as porcentagens mais altas de porosidade total (39,48, 42,58 e 46,00%) nas camadas mais profundas (0,30-0,40, 0,40-0,50, 0,50-0,60 m), conforme pode ser observado na Tabela 1.

A umidade do solo apresentou dispersão média de acordo com a classificação de Gomes (Lorentz et al., 2004) para quase todo período de estudo, exceto quando começa adicionar água via irrigação (6 mm), depois do dia 19/06/2012, na qual a camada de 0,0-0,10 m respondeu de forma mais expressiva à umidade, resultando em maior valor de CV (Figura 2B).

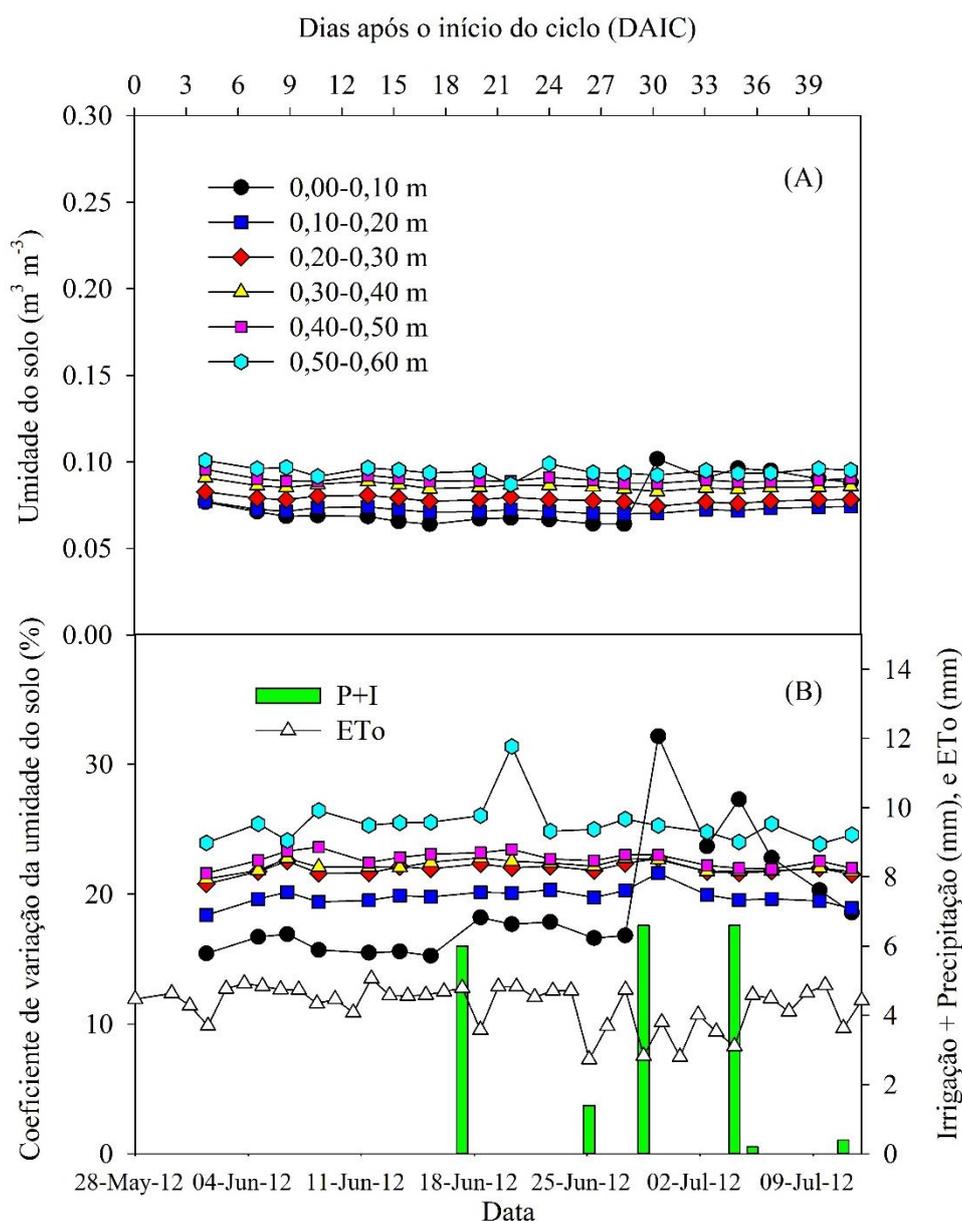


Figura 2. Variação da umidade do solo (θ) e coeficiente de variação nas profundidades (0,55; 0,45; 0,35; 0,25; 0,15 e 0,05 m), evapotranspiração e precipitação (B), ao longo do experimento de palma forrageira cultivados em Serra Talhada, PE.

A umidade do solo apresentou normalidade por meio do teste de Kolmogorov-Smirnov, ao nível de 5% de probabilidade, em todas as datas, apenas nas profundidades 0,30 a 0,60 m (Tabela 2). Siqueira et al. (2015), trabalhando com a umidade no perfil do solo até a mesma profundidade, mas a cada 0,20 m, observaram normalidade dos dados em todas as camadas.

Tabela 2. Nível de significância do Teste de Normalidade de Kolmogorov-Smirnov (Lilliefors) para os dados de umidade do solo monitorados em seis camadas do solo durante 18 datas em uma área de cultivo de palma forrageira no Semiárido brasileiro.

DAIC	0,00-0,10 m	0,10-0,20 m	0,20-0,30 m	0,30-0,40 m	0,40-0,50 m	0,50-0,60 m
1	0,025	0,039	0,001	0,200*	0,200*	0,200*
4	0,014	0,011	0,000	0,200*	0,200*	0,200*
6	0,200*	0,047	0,000	0,200*	0,200*	0,200*
8	0,027	0,069	0,003	0,200*	0,200*	0,200*
11	0,059	0,031	0,000	0,200*	0,200*	0,200*
13	0,200*	0,045	0,001	0,200*	0,200*	0,200*
15	0,200*	0,085	0,000	0,200*	0,200*	0,200*
18	0,004	0,078	0,001	0,200*	0,200*	0,200*
20	0,023	0,021	0,000	0,200*	0,200*	0,088
22	0,037	0,025	0,000	0,200*	0,200*	0,086
25	0,055	0,014	0,000	0,200*	0,200*	0,200*
27	0,200*	0,029	0,001	0,200*	0,200*	0,200*
29	0,000	0,191	0,001	0,200*	0,200*	0,200*
32	0,000	0,088	0,000	0,200*	0,200*	0,200*
34	0,000	0,073	0,000	0,200*	0,200*	0,200*
36	0,000	0,031	0,000	0,200*	0,200*	0,200*
39	0,000	0,035	0,000	0,200*	0,200*	0,200*
41	0,007	0,005	0,000	0,200*	0,200*	0,200*

DAIC - dias após início do ciclo

$p > 0,05$ não rejeita-se H_0 : Normalidade dos dados

* Limite inferior para a verdadeira significância de normalidade

Para a umidade do solo (Figura 3), os locais que apresentaram a menor diferença relativa e conseqüente menor dispersão foram os seguintes pontos: o 18 na camada de 0,00-0,10 m (Figura 3A); o 19 na camada de 0,10-0,20 m (Figura 3B); o 52 na camada de 0,20-0,30 m (Figura 3C); o 57 na camada de 0,30-0,40 m (Figura 3D); o 51 na camada de 0,40-0,50 m (Figura 3E) e o ponto 6 na camada de 0,50-0,60 m (Figura 3F). Para todos os pontos, não houve coincidência de posições representativas para a estimativa da média, revelando a ausência de qualquer tendência para concentração de valores em qualquer direção. Melo Filho e Libardi (2005) afirmam que este é um aspecto importante para o planejamento de amostragem, tendo em vista que revelam uma dependência entre a estabilidade temporal e a profundidade de amostragem. Moreira et al. (2014) completam que para o monitoramento futuro da umidade do solo, os pontos com menor diferença relativa são os que deverão ser averiguados.

Melo Filho e Libardi (2005) ressaltam a importância da diferença relativa (DR) na identificação visual dos pontos que apresentam os valores mais próximos da média em qualquer época de leitura, juntamente com o desvio padrão (DP) que informa a confiabilidade da medida da DR, logo quanto menor o DP mais confiáveis são as medidas no ponto.

Na Figura 3A, observa-se que o ponto 12 foi o que mais subestimou e o ponto 15 foi o que mais superestimou a umidade do solo (θ), com valores de 58,41 e 30,29%, nessa ordem. Na Figura 3B isso ocorre para os pontos 12 (subestimou) e 42 (superestimou), com valores de 94,74 e 41,45%, respectivamente. Na Figura 3C, os pontos 12 e 45 foram, respectivamente os que mais subestimaram e superestimaram θ , com valores de 97,37 e 48,70%. O ponto 17 foi inferior 82,42% e ponto 45 superior 52,42% da umidade média do solo (Figura 3D). Na camada de 0,40 a 0,50 m (Figura 3E), os pontos 17 e 42 foram os que mais subestimaram e superestimaram θ com valores de 78,40 e 60,49% respectivamente. Na Figura 3F, os pontos 17 e 59 foram os que mais subestimaram e superestimaram a umidade do solo com valores de 71,82 e 89,30% respectivamente. Percebe-se que em geral, os pontos 12 e 17 foram os que mais subestimaram a umidade do solo, influenciando de forma negativa na umidade do solo e os pontos 42 e 45 foram os que superestimaram.

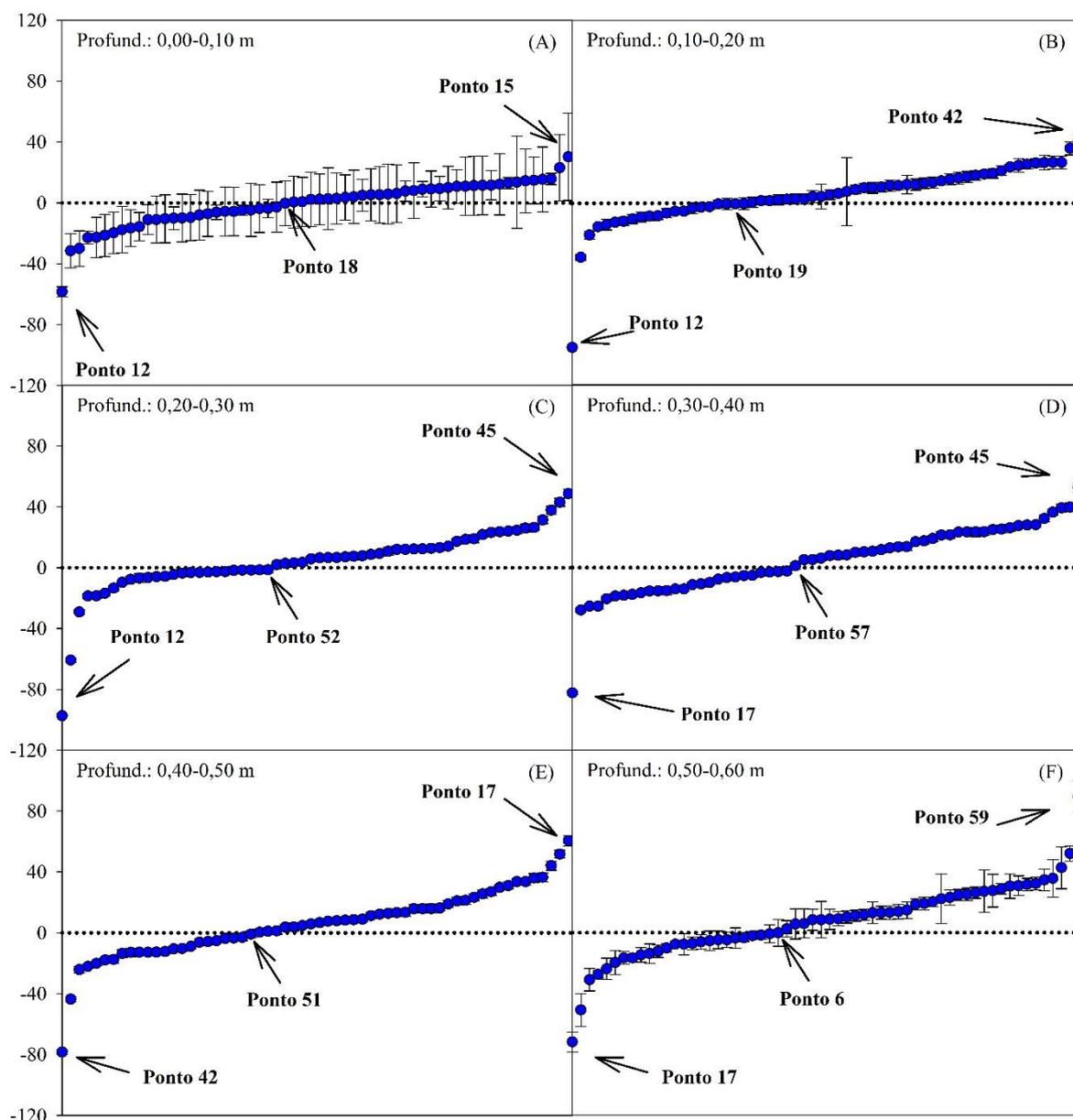


Figura 3. Diferença relativa média intertemporal e o desvio padrão para a umidade do solo (θ), em seis profundidades em solo cultivado com palma forrageira.

Na Tabela 3, encontram-se os coeficientes de correlação de Spearman entre as diferentes datas e avaliação da umidade do solo para as seis camadas em área de cultivo de palma forrageira estudado. Na camada de 0,00-0,10 m, desde o início do experimento até o dia 27 todos os valores foram altamente significativos, após esta data as correlações foram baixas. Todos os valores para as cinco camadas no intervalo de 0,10 a 0,60 m apresentaram correlações altamente significativas, com a maioria dos valores próximo de 1 ($p < 0,01$), indicando desta

forma uma forte estabilidade temporal. Estes resultados são consistentes com o de outros autores (Salvador et al., 2012; Moreira et al., 2014; Souza et al., 2011).

Os valores dos coeficientes de correlação de Spearman foram altos entre os intervalos de medições, indicando dependência temporal da umidade ao longo de todo período. As relações altamente significativas nas camadas mais profundas, indicando uma persistência do solo de armazenar água, devido a maior presença de argila em profundidade (Tabela 1), fornecendo padrões temporais mais estáveis de umidade do solo, com destaque a partir da camada 0,10 m (Tabela 3). Este resultado também é destaque no trabalho desenvolvido por Zhang e Shao (2013), no qual encontraram maior capacidade de armazenamento de água ao longo da profundidade.

Tabela 3. Coeficientes de correlação de Spearman da umidade do solo, por camada, entre as datas de monitoramento em uma área de cultivo de palma forrageira no Semiárido brasileiro. Todas as correlações significativas pelo menos a 5%.

Camada	DAIC	4	6	8	11	13	15	18	20	22	25	27	29	32	34	36	39	41
0,00- 0,10	1	0,965	0,953	0,961	0,943	0,911	0,912	0,874	0,873	0,879	0,888	0,871	0,324	0,356	0,377	0,389	0,405	0,419
	4		0,969	0,975	0,960	0,939	0,933	0,893	0,897	0,912	0,905	0,893	0,276	0,315	0,311	0,327	0,353	0,369
	6			0,981	0,963	0,944	0,936	0,886	0,884	0,901	0,902	0,891	0,274	0,311	0,301	0,316	0,345	0,368
	8				0,986	0,972	0,968	0,914	0,921	0,931	0,932	0,924	0,311	0,349	0,318	0,339	0,371	0,386
	11					0,988	0,984	0,915	0,922	0,942	0,948	0,944	0,317	0,350	0,310	0,337	0,365	0,379
	13						0,988	0,915	0,929	0,951	0,957	0,957	0,291	0,325	0,272	0,298	0,334	0,345
	15							0,919	0,934	0,951	0,965	0,963	0,333	0,363	0,307	0,336	0,369	0,379
	18								0,991	0,966	0,955	0,955	0,376	0,419	0,358	0,389	0,430	0,443
	20									0,980	0,974	0,970	0,358	0,402	0,333	0,362	0,405	0,419
	22										0,978	0,977	0,292	0,336	0,275	0,303	0,344	0,358
	25											0,992	0,351	0,385	0,322	0,350	0,388	0,403
	27												0,357	0,391	0,331	0,359	0,397	0,408
	29													0,982	0,944	0,955	0,960	0,955
	32														0,941	0,958	0,969	0,962
	34															0,994	0,981	0,979
	36																0,990	0,986
	39																	0,989
Camada	DAIC	4	6	8	11	13	15	18	20	22	25	27	29	32	34	36	39	41
0,50- 0,60	1	0,753	0,689	0,774	0,778	0,766	0,763	0,770	0,721	0,750	0,740	0,749	0,751	0,769	0,752	0,745	0,784	0,752
	4		0,788	0,942	0,963	0,982	0,979	0,980	0,876	0,909	0,970	0,983	0,961	0,980	0,968	0,988	0,983	0,966
	6			0,787	0,824	0,812	0,808	0,823	0,790	0,843	0,821	0,808	0,796	0,821	0,803	0,800	0,804	0,780
	8				0,933	0,953	0,955	0,950	0,884	0,896	0,923	0,949	0,972	0,948	0,968	0,943	0,941	0,959
	11					0,968	0,975	0,975	0,872	0,936	0,945	0,968	0,960	0,975	0,957	0,964	0,969	0,943
	13						0,984	0,985	0,884	0,931	0,961	0,987	0,965	0,986	0,972	0,976	0,976	0,958
	15							0,994	0,901	0,916	0,970	0,992	0,981	0,991	0,973	0,985	0,985	0,965
	18								0,902	0,924	0,972	0,994	0,977	0,996	0,975	0,979	0,990	0,969
	20									0,837	0,928	0,896	0,905	0,902	0,906	0,882	0,886	0,897
	22										0,886	0,915	0,899	0,928	0,913	0,910	0,921	0,897
	25											0,974	0,952	0,971	0,949	0,972	0,975	0,954
	27												0,976	0,995	0,975	0,981	0,986	0,968
	29													0,974	0,987	0,965	0,970	0,979
	32														0,976	0,984	0,989	0,966
	34															0,963	0,967	0,982
	36																0,984	0,961
	39																	0,973

DAIC - dias após início do ciclo

A comparação entre a média geral da θ e a Diferença Relativa (DR) para todas as 60 posições (tubos), em todas as profundidades, são encontrados na Figura 4. Pode-se observar que as posições com estabilidade temporal apresentam valores de θ e DR muito próximo da média geral, no entanto, foi observada maior DR nas camadas de 0,30-0,40 m, 0,40-0,50 m e 0,50-0,60 m, resultante do período de irrigação e da maior capacidade de armazenar água. Desta forma, a medida em que adiciona água via irrigação tem maior diferença relativa da umidade nas camadas a partir de 0,30 m.

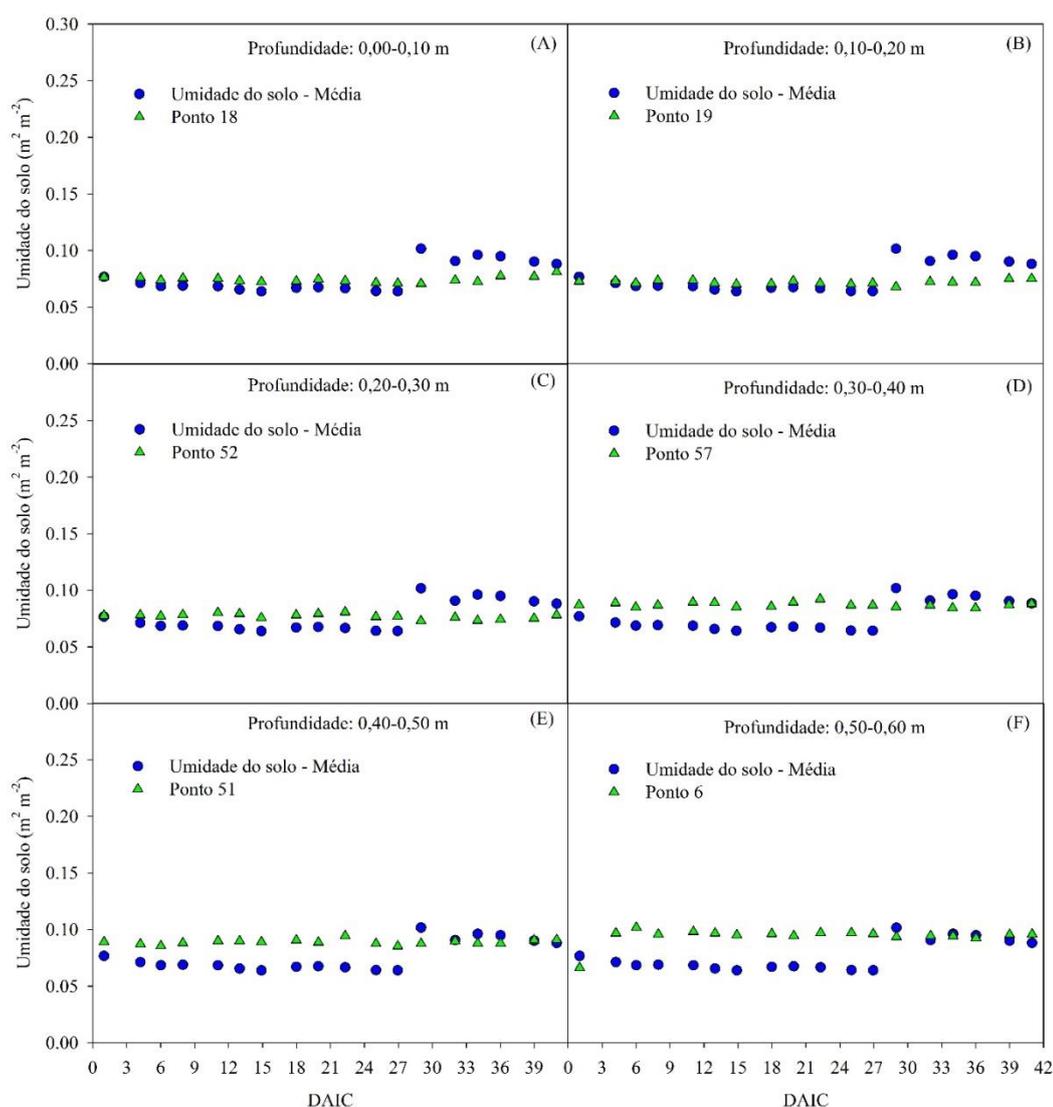


Figura 4. Comparação entre a umidade média do solo e os teores de água nas posições com estabilidade temporal.

* DAIC - dias após início do ciclo

As curvas representativas dos pontos estáveis ficam mais afastadas da média geral até o momento do começo da irrigação para todas as camadas, mas em maior magnitude a partir de 0,30 m de profundidade. Esta variação certamente está associada a fatores como textura e porosidade total do solo, que certamente influenciaram a variabilidade espacial da umidade do solo. Para Melo Filho e Libardi (2005), a técnica de Vachaud et al. (1985) possibilita melhorar a escolha da posição com estabilidade temporal, por meio da comparação gráfica (Figura 4), pois uma posição pode apresentar uma diferença relativa próximo de zero, no entanto, não reproduzir a mesma tendência da média, como observado nos pontos 57, 51 e 6.

Os semivariogramas obtidos para a umidade do solo (Tabela 4) foram do modelo Gaussiano e exponencial, e todos apresentaram forte dependência espacial. Observa-se que os alcances obtidos diferiram muito entre si, com valor mais baixo na camada de 0,00-0,10 m (70,49 m) e mais alto na camada de 0,40-0,50 m (632,70 m). As camadas de 0,20-0,30 m e 0,40-0,50 m, tiveram maior correlação espacial pois apresentaram alcances de 605,40 m e 632,70 m, respectivamente. De acordo com Oliveira Filho et al. (2015) e Matias et al. (2015), dos valores dos semivariogramas, o alcance ganha destaque, pois indica a máxima distância em que uma variável está correlacionada espacialmente.

Tabela 4. Parâmetros dos semivariogramas utilizados na interpolação por Krigagem da umidade do solo em uma área de cultivo de palma forrageira no Semiárido brasileiro.

Camada (m)	Modelo	C0	C0 + C	a (m)	R ²
0,00-0,10	Gaussian	3,20E-05	2,22E-04	70,49	0,971
0,10-0,20	Gaussian	4,40E-05	4,40E-05	127,83	0,925
0,20-0,30	Exponencial	1,00E-06	2,10E-03	605,40	0,932
0,30-0,40	Gaussian	5,30E-05	1,12E-03	105,14	0,987
0,40-0,50	Exponencial	1,00E-06	2,89E-03	632,70	0,953
0,50-0,60	Gaussian	9,40E-05	1,76E-03	119,68	0,940

C0: Efeito pepita; C0 + C: Patamar; A: Alcance (m); R²: Coeficiente de determinação do modelo.

Os mapas da distribuição espacial da umidade do solo permitem visualizar as mudanças no comportamento da umidade ao longo do perfil do solo (Figura 5). Notou-se que os maiores teores de umidade encontram-se a partir da camada de 0,30 m, com destaque para o canto inferior direito do mapa, onde apresentou uma continuidade das tendências de maior umidade, com valores superiores a $0,120 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, decorrente de uma diferença de cota de 0,5 m. De acordo com Ávila et al. (2010), este comportamento dos maiores percentuais de umidade do solo nas regiões de menores altitudes, podem estar associados à contribuição dos fluxos de água, oriundos das áreas elevadas.

A umidade na camada superficial (0,00-0,10 m) foi inferior as demais camadas, este fato está associado a maior exposição aos fatores meteorológicos (temperatura, radiação, vento) e a presença em grande volume do sistema radicular. Observa-se uma maior estabilidade na umidade após a camada 0,30 m, em decorrência do solo possuir uma maior capacidade de armazenar água e consequente uma maior dependência espacial.

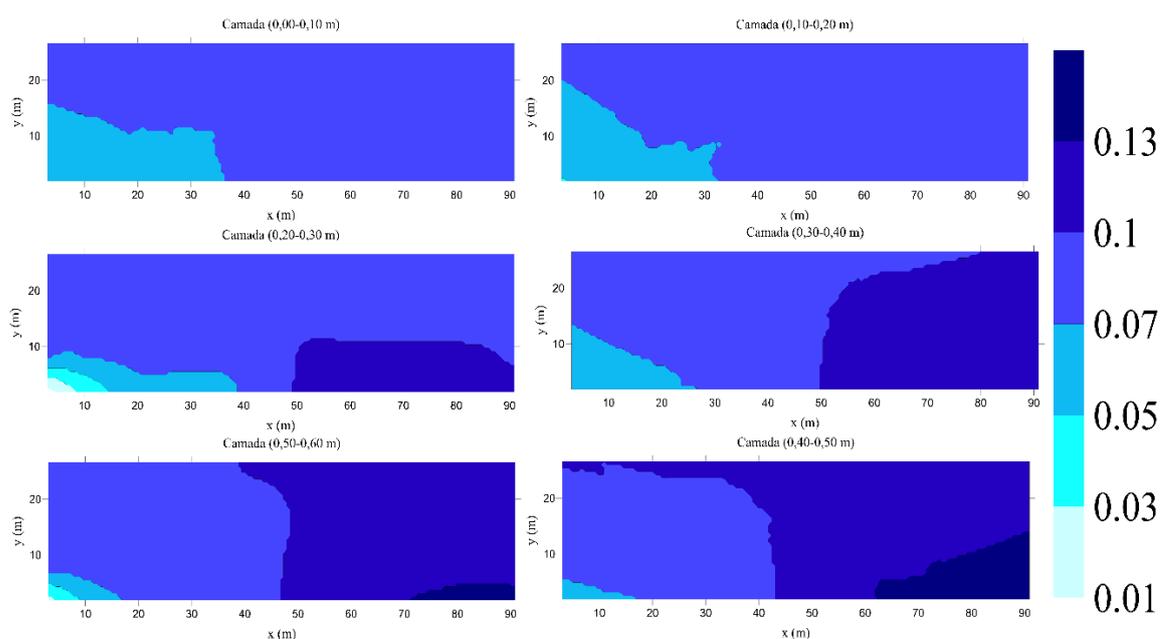


Figura 5. Mapas de Krigagem da umidade do solo da superfície até a profundidade de 0,6 m, em uma área de cultivo de palma forrageira no Semiárido brasileiro.

Pode-se observar que os pontos que foram mais temporalmente estáveis estão localizados na porção inferior da área (Figura 1 e 3), onde se teve uma maior umidade do solo de forma espacial (Figura 5). Este fato deve estar associado a melhor distribuição da umidade ao longo do perfil do solo, na qual apresentaram valores próximos de teores de areia. Zhang e Shao (2013), trabalhando com estabilidade temporal em área desertificada no noroeste da China, confirmaram que locais com conteúdo relativamente elevados de areia tendem a ter uma estabilidade temporal mais pronunciada.

Conclusões

A umidade do solo em um cultivo de palma forrageira se manteve baixa, mesmo após a ocorrência de eventos de irrigação ou precipitação, e apresentou coeficiente de variação mediano. Com base na matriz de correlação de Spearman, detectou-se estabilidade temporal da umidade do solo em todas as camadas, sobretudo nos pontos de menor cota, porém foi mais forte nas maiores profundidades. A geoestatística revelou dependência espacial da umidade do solo, variando conforme profundidade.

Referências

ÁVILA, 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 Ciência do Solo. v.35, n.5, p.1801-1810, 2011.

ÁVILA, L. F.; MELLO, C. R.; SILVA, A. M. Estabilidade temporal do conteúdo de água em três condições de uso do solo, em uma bacia hidrográfica da região da serra da Mantiqueira.

MG. **Revista Brasileira Ciência do Solo.** v.34, p.2001-2009, 2010.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sistema brasileiro de classificação de solos. **Embrapa Solos.** 3.ed. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353p.

- HU, W.; SHAO, M.; HAN, F.; REICHARDT, K.; TAN, J. Watershed scale temporal stability of soil water content. **Geoderma**. v.158, p.181–198, 2010.
- LIER, Q. J.; LIBARDI, P. L. Variabilidade dos parâmetros da equação que relaciona a condutividade hidráulica com a umidade do solo no método do perfil instantâneo. **Revista brasileira de ciência do solo**. v. 23, n.4, p.1005-1014, 1999.
- LIMA, G. C.; SILVA, M. L. N.; OLIVEIRA, M. S.; CURTI, 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 e Ambiental**. v.18, n.5, p.517–526, 2014.
- LORENTZ, L. H., LUCIO, A. D., STORCK, L., LOPES, S. J., BOLIGON, A. A., & CARPES, R. H. Variação temporal do tamanho de amostra para experimentos em estufa plástica. **Ciência Rural**, v. 34, n. 4, p.1043-1049, 2004.
- MATIAS, S. S. R.; NÓBREGA, J. C. A.; NÓBREGA, R. S. A.; ANDRADE, F. R.; BAPTISTEL, A. C. Variabilidade espacial de atributos químicos em Latossolo cultivado de modo convencional com soja no cerrado piauiense. **Agro@mbiente On-line**, v. 9, n. 1, p. 17-26, 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.
- MION, R. L.; NASCIMENTO, E. M. S.; SALES, F. A. L.; SILVA, S. F.; DUARTE, J. M. L.; SOUSA, B. M. Variabilidade espacial da porosidade total. umidade e resistência do solo à penetração de um Argissolo amarelo. **Semina: Ciências Agrárias**. v.33, n.6, p.2057-2066, 2012.

MOREIRA, N. B.; LIBARDI, P. L.; SALVADOR, M. M. S.; SOUSA, H. H. F. Análise espaço-temporal de componentes do balanço hídrico em um Latossolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.38, n.1, p.60-72, 2014.

OLIVEIRA FILHO, F. X.; MIRANDA, N. D. O.; MEDEIROS, J. F.; SILVA, P. C.; MESQUITA, F. O.; COSTA, T. K. Zona de manejo para preparo do solo na cultura da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.19, n.2, p.186–193, 2015.

PRIMO, J. T. A.; SILVA, T. G. F.; SILVA, S. M. S.; MOURA, M. S. B.; SOUZA, L. S. B. Calibração de sondas capacitivas, funções físico-hídricas e variação do armazenamento de água em um argissolo cultivado com palma forrageira. **Revista Ceres**. v.62, p.20-29, 2015.

RÖTZER, K.; MONTZKA, C.; VEREECKEN, H. Spatio-temporal variability of global soil moisture products. **Journal of Hydrology**. v.522, p.187–202, 2015.

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.

SILVA, T. G. F.; ARAÚJO PRIMO, J. T.; MORAIS, L. E. F.; DINIZ, W. J. S.; SOUZA, C. A. A. Crescimento e produtividade de clones de palma forrageira no semiárido e relações com variáveis meteorológicas. **Revista Caatinga. Mossoró**. v.28, n.2. p.10 – 18, 2015a.

SILVA, T. G. F.; ARAÚJO PRIMO, J. T.; MOURA, M. S. B.; SILVA, S. M. S.; MORAIS, J. E. F.; PEREIRA, P. C.; SOUZA, C. A. A. Soil water dynamics and evapotranspiration of forage cactus clones under rainfed conditions. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 50, n. 7, p.515-525, 2015b.

SIQUEIRA, G. M.; DA SILVA, J. S.; BEZERRA, J. M. Estacionariedade do conteúdo de água de um Espodosolo Humilúvico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.19, n.5, p.439-448, 2015.

SOUZA, E. R.; MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G.; MATOS, J. D. A. Temporal stability of soil moisture in irrigated carrot crops in Northeast Brazil. **Agricultural water management**. v.99, n.1, p.26-32, 2011.

VACHAUD, G.; 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.

VEREECKEN, H.; HUISMAN, J. A.; PACHEPSKY, Y.; MONTZKA, C.; VAN DER KRUK, J.; BOGENA, H.; WEIHERMÜLLER, L.; HERBST, M.; MARTINEZ, G.; VANDERBORGHT, J. On the spatio-temporal dynamics of soil moisture at the field scale. **Journal of Hydrology**. v.516, p.76–96, 2014.

ZHANG, P.; SHAO, M. Temporal stability of surface soil moisture in a desert area of northwestern China. **Journal of Hydrology**. v.505, p.91–101, 2013.

4.2 Artigo 2 - Variação da umidade do solo cultivado com palma forrageira sob lâminas de irrigação e sistemas de plantio

Resumo: O conhecimento da variabilidade espaço-temporal da umidade do solo é imprescindível para o planejamento agrícola, logo que representa um importante fator dos processos hidrológicos. Diferentes regimes hídricos e sistemas de plantio podem promover alterações na dinâmica de água no solo. Neste trabalho, objetivou-se avaliar as modificações espacial e temporal da umidade do solo em cultivo de palma forrageira em decorrência da aplicação de diferentes lâminas de irrigação e usos do solo. O delineamento estatístico adotado foi em blocos ao acaso, compostos por cinco condições de disponibilidade hídrica, baseadas na evapotranspiração de referência (0%, 8,75%, 17,5%, 26,25% e 35% da E_{To}), e três condições de cultivo: Palma Exclusiva (PE) (*Opuntia stricta*), consorciado (Palma Forrageira + sorgo forrageiro (cv. IPA 2501)) (PS), e com cobertura morta (PC) com quatro repetições. A umidade do solo mostrou variabilidade espaço-vertical e ao longo do tempo, com destaque para a grande variação na profundidade de 0,05 m. Os resultados revelaram que a cultura absorve água em maior quantidade na camada intermediária (0,10 a 0,30 m). A irrigação não promove grande variação da umidade em relação ao perfil do solo comparado com a chuva, devido a esta ocasionar melhor distribuição da umidade em toda a área.

Palavras-chave: Conteúdo de água no solo, palma irrigada, cultivo consorciado.

Introdução

A água é um componente essencial para os processos biofísicos e hidrológicos, que sustentam as funções dos ecossistemas, particularmente em regiões áridas e semiáridas, onde existe forte relação entre a produtividade do ecossistema e a disponibilidade de água no solo

(Legates et al., 2011; Yang et al., 2014; Wang et al., 2012). É uma variável que possui grande variabilidade espaço-temporal (Ávila et al., 2010; Silva et al., 2015b).

A variabilidade espaço-temporal observada da umidade no solo é controlada por fatores associados a vegetação, fenômenos meteorológicos, topografia, textura do solo e atividade agrícola (Santos et al., 2011, Lei et al., 2011). Oliveira et al. (2005) observaram que a umidade do solo é influenciada pelo tipo de cobertura vegetal e pela profundidade. Yang et al. (2012) constataram que as condições de crescimento da planta podem afetar no padrão espacial e no perfil da umidade do solo ao longo do tempo. Além do mais, essa variação temporal da umidade pode estar relacionada com diferentes condições de plantio e de manejo do solo (Jost et al., 2012; Yang et al., 2014; Silva et al., 2015a; Ávila et al., 2010).

No Semiárido brasileiro, a água é um dos fatores limitantes da produção agrícola, devido as chuvas serem escassas e ter ampla distribuição espaço-temporal. Desta forma, em áreas onde a disponibilidade de água é restrita e existe também uma complementação hídrica, o monitoramento da umidade do solo cultivado com culturas agrícolas adquire maior significância, logo que permite a melhoria do uso dos recursos hídricos (Silva et al., 2015a).

A região Semiárida do Brasil é carente de informações de dinâmica de água sob diferentes condições de uso do solo. Dentro desse contexto, é importante o monitoramento da umidade em cultivo de palma forrageira.

A palma é uma cultura indispensável para suplementação animal no período mais crítico do ano, quando ocorre a falta de chuva (LOPES et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2010; NASCIMENTO et al., 2011). Apesar da adaptação da palma às condições edafoclimáticas do Semiárido brasileiro, os longos períodos de déficit hídrico ao longo do ano fazem com que a irrigação se torne uma prática viável em plantios de palma forrageira (Rego et al., 2014). No entanto, tais condições induzem à necessidade de estudos que relacione o desenvolvimento da cultura e a disponibilidade de água no solo (Queiroz et al., 2015).

O conhecimento da umidade do solo em cultivo de palma forrageira sob diferentes condições de cultivo pode fornecer subsídio para tomadas de decisão. Neste contexto, este trabalho objetivou avaliar o comportamento espaço-temporal da umidade do solo em cultivo de palma forrageira em diferentes condições de uso do solo e lâminas de irrigação.

Material e métodos

O experimento foi realizado na estação experimental do Instituto Agronômico de Pernambuco - IPA (município de Serra Talhada, 7°57' S, 38°11' O e 506 m, no Semiárido do Estado de Pernambuco). O clima da região é semiárido do tipo BSwH, segundo a classificação de Köppen, com os meses mais quentes apresentando os maiores índices de chuvas e os meses frios sendo os mais secos (Silva et al., 2015a). A precipitação média anual é de 642 mm, concentrada entre os meses de janeiro a abril e com temperatura média de 24,8°C (Silva et al., 2015b). O solo na área de estudo é caracterizado como Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico franco arenoso, conforme a classificação da Embrapa (2013) (Tabela 1).

Tabela 1. Propriedades físicas de um Argissolo Vermelho-Amarelo solo cultivado com palma forrageira, em Serra Talhada, Estado de Pernambuco, Semiárido brasileiro.

Camada	d(solo)	d(partícula)	P(total)	Areia(total)	Silte	Argila
M	kg dm ⁻³	kg dm ⁻³	%	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹
0,00-0,10	1,52	2,55	40,48	719,80	263,40	16,80
0,10-0,20	1,62	2,57	37,11	719,20	247,30	33,60
0,20-0,30	1,59	2,60	38,92	710,80	248,30	40,80
0,30-0,40	1,54	2,55	39,48	645,20	279,10	75,80
0,40-0,50	1,49	2,59	42,58	607,00	297,90	95,10
0,50-0,60	1,42	2,63	46,00	575,00	304,60	120,40

Siglas: d(solo) – densidade do solo; d(partícula) – densidade da partícula; P(total) – porosidade total.

O clone Orelha de Elefante Mexicana IPA 200016 (*Opuntia stricta*) foi implantado em março de 2011 com espaçamento de 1,6 m x 0,4 m, e cultivo conduzido sob sistema de plantio exclusivo até 05/2012, quando foi realizado um corte de uniformização, mantendo-se apenas os cladódios basais. A partir do dia 01 de junho de 2012, iniciou-se o segundo ciclo produtivo da palma forrageira, sendo conduzido até junho de 2013, totalizando 380 dias.

O delineamento estatístico adotado foi em blocos ao acaso em arranjo fatorial (5 x 3 x 4), composto por cinco condições de disponibilidade hídrica, baseadas na evapotranspiração de referência (0%, 8,75%, 17,5%, 26,25% e 35% da ETo), e três condições de cultivo: Palma Exclusiva (PE), consorciado (Palma Forrageira + sorgo forrageiro) (PS), e com cobertura morta (PC) (equivalente a 8,2 t/h) em quatro repetições.

O monitoramento das variáveis meteorológicas para o cálculo da evapotranspiração de referência foi realizado por meio de uma estação meteorológica localizada a 700 m da área experimental, pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

A cobertura morta foi implantada no dia 28/08/2012; o sistema consorciado com o sorgo forrageiro (cv. IPA 2501) começou a partir de 02/11/2012, e foi espaçado em 0,25 m da palma. O sorgo foi conduzido durante dois ciclos produtivos (planta e rebrota), o primeiro colhido em fevereiro de 2013, e o segundo em junho de 2013, totalizando 246 dias nos dois ciclos. Para suprir o baixo índice pluviométrico na área de cultivo foi realizada irrigação no período em que a precipitação pluviométrica acumulada no período de reposição de água ao solo foi inferior a ETo. O sistema de irrigação por gotejamento foi usado, com os gotejadores espaçados em 0,4 m. A lâmina de água aplicada ao do tempo (irrigação complementar) foi de 583, 655, 703, 759 e 809 mm ciclo⁻¹ (0%, 8,75%, 17,5%, 26,25% e 35% da ETo), compondo as lâminas L1 (583+393), L2 (655+393), L3 (703+393), L4 (759+393) e L5 (809+393).

As lâminas de irrigação foram idênticas para os três sistemas de plantio (com cobertura, sem cobertura e com consócio com sorgo forrageiro), até o dia 5 de dezembro de 2012, para

que não houvesse morte das plantas. A partir desta data começou a aplicação diferenciada das lâminas. Antes da diferenciação das lâminas de irrigação o solo foi colocado em capacidade de campo com a aplicação de 66 mm de água.

Para o monitoramento do conteúdo de água (θ) foi usado um sensor capacitivo (Diviner 2000®), calibrado para as condições locais, conforme Araújo Primo et al. (2015):

$$\theta=0,4453FR^{2,9403}$$

em que θ é a Umidade Volumétrica e FR a Frequência Relativa.

As leituras foram feitas em frequência relativa e, convertidas automaticamente em conteúdo de água da cada 0,10 m de profundidade, até a profundidade de 0,7 m. As leituras foram registradas em intervalos de dois dias, entre junho de 2012 a junho de 2013.

Para comparação estatística dos dados de umidade do solo, entre as diferentes condições de disponibilidade de água, verificou-se se os dados seguiam distribuição normal pelo teste de Kolmogorov-Sminorv (Lilliefors). O tratamento estatístico foi realizado por meio de estatística descritiva, sendo calculado os valores médios, o desvio padrão e o coeficiente de variação, sendo aplicada na umidade do solo nas diferentes condições de disponibilidade hídrica. Para realizar a matriz de correlação linear de Pearson e o desdobramento estatístico das interações foi adotado nível de 5% de significância ($p < 0,05$).

Resultados e Discussão

Os valores acumulados das lâminas de irrigação aplicadas mais a precipitação para os tratamentos são destacados na Figura 1. Durante o período do experimento a precipitação total foi de 393 mm. A irrigação de estabelecimento (até o dia 5 de dezembro) totalizou 583 mm, desta forma compondo as 5 lâminas, de acordo com a ETo (L1, L2, L3, L4 e L5). Comparando as lâminas aplicadas depois da diferenciação, pode-se observar que houve pouca diferença nos totais, este fato está relacionado à chegada do período chuvoso na região, que de acordo com

Moura et al. (2007), é de dezembro a abril. Desta forma, as lâminas totais de água (chuva + irrigação) foram muito semelhantes entre os tratamentos (Figura 1).

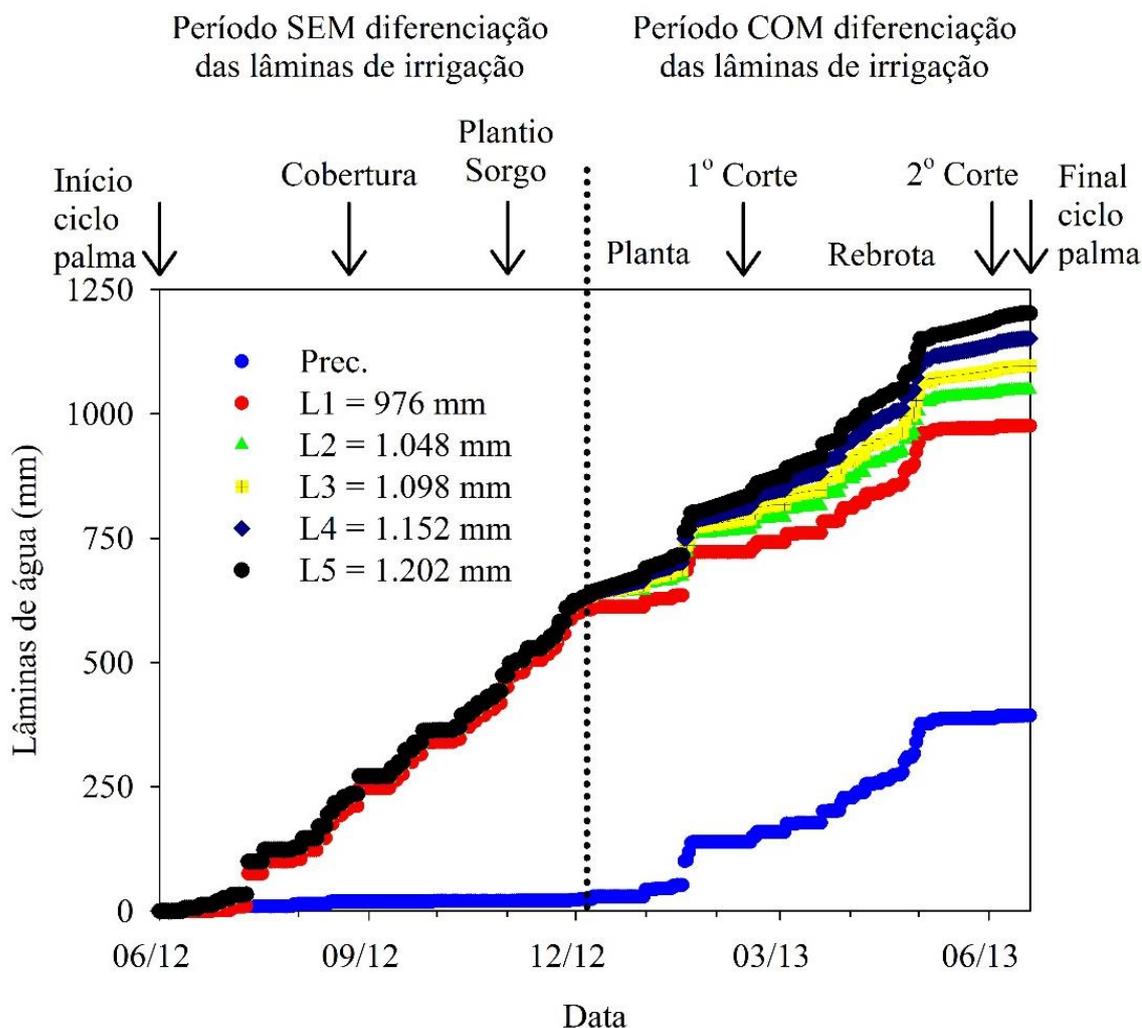


Figura 1. Lâminas de irrigação e precipitação pluviométrica acumuladas ao longo do ciclo da palma forrageira cultivada em Serra Talhada, PE, Semiárido brasileiro.

Na Figura 2 é apresentada a variação dos elementos meteorológicos e da irrigação ao longo do tempo. Os valores extremos de temperatura do ar foi de 21,5 e 30,7°C (Figura 2A). A amplitude térmica caracterizou condições adequadas ao cultivo da palma forrageira sem restrições, que segundo Souza et al. (2008), a cultura consegue bom desenvolvimento com amplitude térmica variando de 10 a 17,2°C. A temperatura média foi de 26,5°C um pouco maior do que a recomendada para a palma, que deve oscilar entre 16,1°C a 25,4°C (Souza et al., 2008). As maiores temperaturas ocorreram a partir de outubro, em resposta a elevação dos níveis de

radiação. A radiação solar global apresentou maior variação em extremos de junho a dezembro de 2012, resultante da grande variação de nuvens que ocorrem na região nesta época.

A umidade relativa média do ar (UR) durante o experimento foi de 51,9%, com máxima de 79,8% e mínima de 34,2% (Figura 2B). Houve uma redução nos valores de umidade relativa do ar a partir de dezembro. No que se refere a velocidade do vento (V_v), os maiores valores ocorreram a partir de novembro de 2012. A média geral foi de $2,8 \text{ m s}^{-1}$. A evapotranspiração de referência (ET_o) apresentou média de $5,3 \text{ mm dia}^{-1}$, com valores mais elevados ocorrendo entre novembro de 2012 e junho de 2013 (Figura 2B).

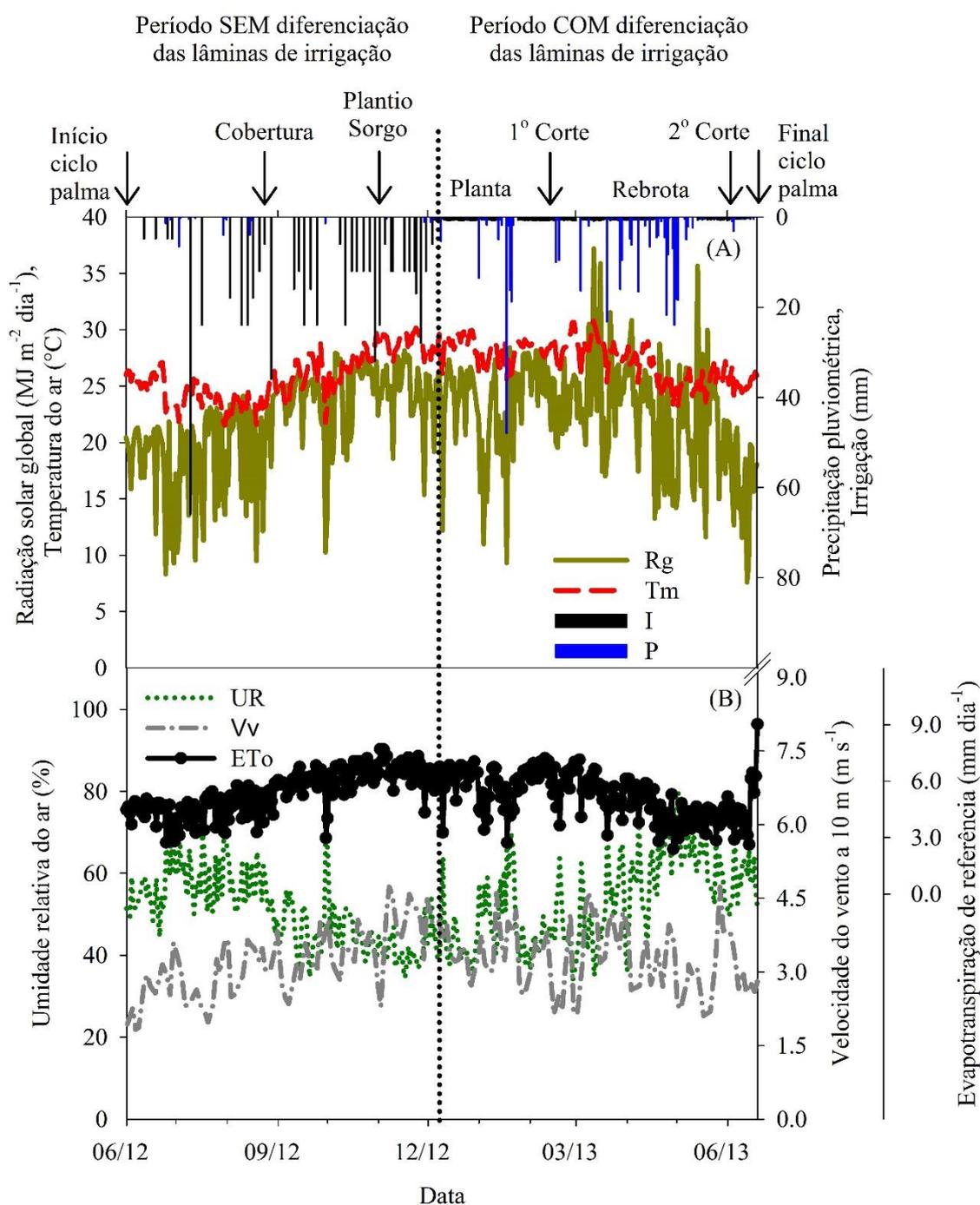


Figura 2. Irrigação (I), precipitação (P), radiação solar global (Rg) e temperatura do ar média diária (Tm) (A) e umidade relativa média diária (URm), velocidade do vento a 10 m de altura (u10m) e evapotranspiração de referência (ETo) (B), durante o período experimental da palma forrageira na área experimental do IPA, Serra Talhada, PE.

A Tabela 2 contém a média da umidade do solo, o desvio padrão (DP), o coeficiente de variação (CV) e o número de combinações (n) das variáveis (lâminas de irrigação, sistema de plantio, profundidade, período e nível de significância) entre os fatores avaliados. Houve apenas

efeito individual do fator período sobre os dados de umidade do solo ($p > 0,05$), em decorrência da sazonalidade da entrada de água na área de cultivo.

Na avaliação da interação, observa-se que a mesma foi significativa para as interações L x P; S x P; Pf x P; L x S x P; S x Pf x P; L x S x Pf x P), em função do fator Período.

O coeficiente de variação foi considerado bom para as lâminas 1096, 1152 e 1202 mm (CV de 17,7, 16,6 e 13%, respectivamente), enquanto as lâminas de 976 e 1048 mm apresentaram CV altos (21,4 e 21,9%), segundo a classificação de Gomes (Lorentz et al., 2004), que considera o coeficiente de variação (CV) baixo, quando inferior a 10%, médio de 10 a 20% e altos de 20 a 30% e muito altos quando superior a 30%. Em relação aos sistemas de plantio, o consórcio (P-S) apresentou coeficiente de variação alto (22,1%) em relação a θ e os sistemas palma exclusiva (P-E) e palma com cobertura (P-C) apresentaram CV médio de 16,6 e 15,7 respectivamente. Em relação a profundidade de 0,05 m, o CV foi alto, enquanto os demais apresenta bom CV médio. De acordo com Ferreira (1991), o coeficiente de variação é uma medida de variabilidade fundamental como indicador de precisão para avaliar a qualidade do experimento. Desta forma, observou-se que o coeficiente de variação dos parâmetros avaliados no experimento é considerado bom para os dados avaliados.

As lâminas e os sistemas de plantio não afetaram os valores de umidade do solo, por isso realizou-se a média entre os tratamentos (Figura 3A). A umidade do solo apresentou variação semelhante entre as profundidades. O maior conteúdo de umidade no solo foi associado com a precipitação, sobretudo depois do período em que não houve diferenciação das lâminas, com destaque para o mês de janeiro.

Tabela 2. Umidade média do solo ($m^3 m^{-3}$) e níveis de significância por fatores e suas interações em um experimento de palma forrageira sob cinco lâminas de irrigação (L) e três sistemas de plantio (S) (solteiro – P-E, com cobertura morta sobre o solo – P-C e consórcio palma-sorgo – P-S), em Serra Talhada, Estado de Pernambuco, Semiárido brasileiro, entre 05-dez-2012 a 19-jun-2013, quando ocorreu a diferenciação das lâminas de irrigação com a ocorrência simultânea dos sistemas de plantio.

		Média	DP	CV	n	
Lâmina (mm)	976	0,176	0,037	21,4	6120	
	1048	0,179	0,038	21,9	6120	
	1096	0,183	0,031	17,7	6120	
	1152	0,190	0,031	16,6	6120	
	1202	0,191	0,025	13,0	6120	
Sistema	P-E	0,189	0,031	16,6	10200	
	P-C	0,181	0,028	15,7	10200	
	P-S	0,181	0,039	22,1	10200	
Profundidade (m)	0,05	0,187	0,037	20,4	5100	
	0,15	0,175	0,031	18,3	5100	
	0,25	0,176	0,031	17,7	5100	
	0,35	0,182	0,032	17,5	5100	
	0,45	0,189	0,032	17,4	5100	
	0,55	0,193	0,033	17,3	5100	
Período	1	0,202	b	0,008	4,1	2520
	2	0,191	bcd	0,009	4,9	2160
	3	0,184	cde	0,007	4,0	2160
	4	0,223	a	0,021	9,4	2160
	5	0,191	bcd	0,015	8,3	2160
	6	0,173	fg	0,012	7,0	2160
	7	0,162	gh	0,008	5,1	2160
	8	0,163	gh	0,008	4,9	2160
	9	0,173	fg	0,019	11,1	2160
	10	0,177	def	0,010	5,8	2160
	11	0,200	b	0,032	16,5	2160
	12	0,193	bc	0,016	9,2	2160
	13	0,168	gh	0,012	7,4	2160
	14	0,155	h	0,009	5,6	2160
Nível de significância	Lâmina	(L)			0,691	
	Sistema	(S)			0,660	
	Profundidade	(Pf)			0,296	
	Período	(P)			< 0,0001	
	L x S				0,249	
	L x Pf				0,302	
	L x P				< 0,0001	
	S x Pf				0,540	
	S x P				< 0,0001	
	Pf x P				< 0,0001	
	L x S x Pf				0,026	
	L x S x P				< 0,0001	
	S x Pf x P				< 0,0001	
L x S x Pf x P				< 0,0001		

Os menores valores de θ ficaram por volta de $0,0727 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$ no mês de junho de 2012, fato condicionado ao começo do período seco na região e os maiores valores por volta de $0,2558 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$ nos meses de janeiro e abril de 2013, devido o período chuvoso na região (Figura 3A). A dinâmica da umidade do solo nas camadas superficiais no decorrer do período do ano, segundo Wang et al. (2015) está condicionada as variáveis meteorológicas como temperatura e radiação que resultam em uma maior evapotranspiração, desta forma, promove maior variação

temporal. Além do mais, é importante ressaltar que as raízes da palma e do sorgo encontram-se geralmente até a profundidade de 0,35 m absorvendo água e promovendo essa alta dinâmica espaço-vertical da umidade do solo, e logo após essa profundidade ocorreu uma menor variação. Este fato também foi constatado por Wang et al. (2015), que observaram uma maior estabilidade da umidade do solo com o aumento da profundidade.

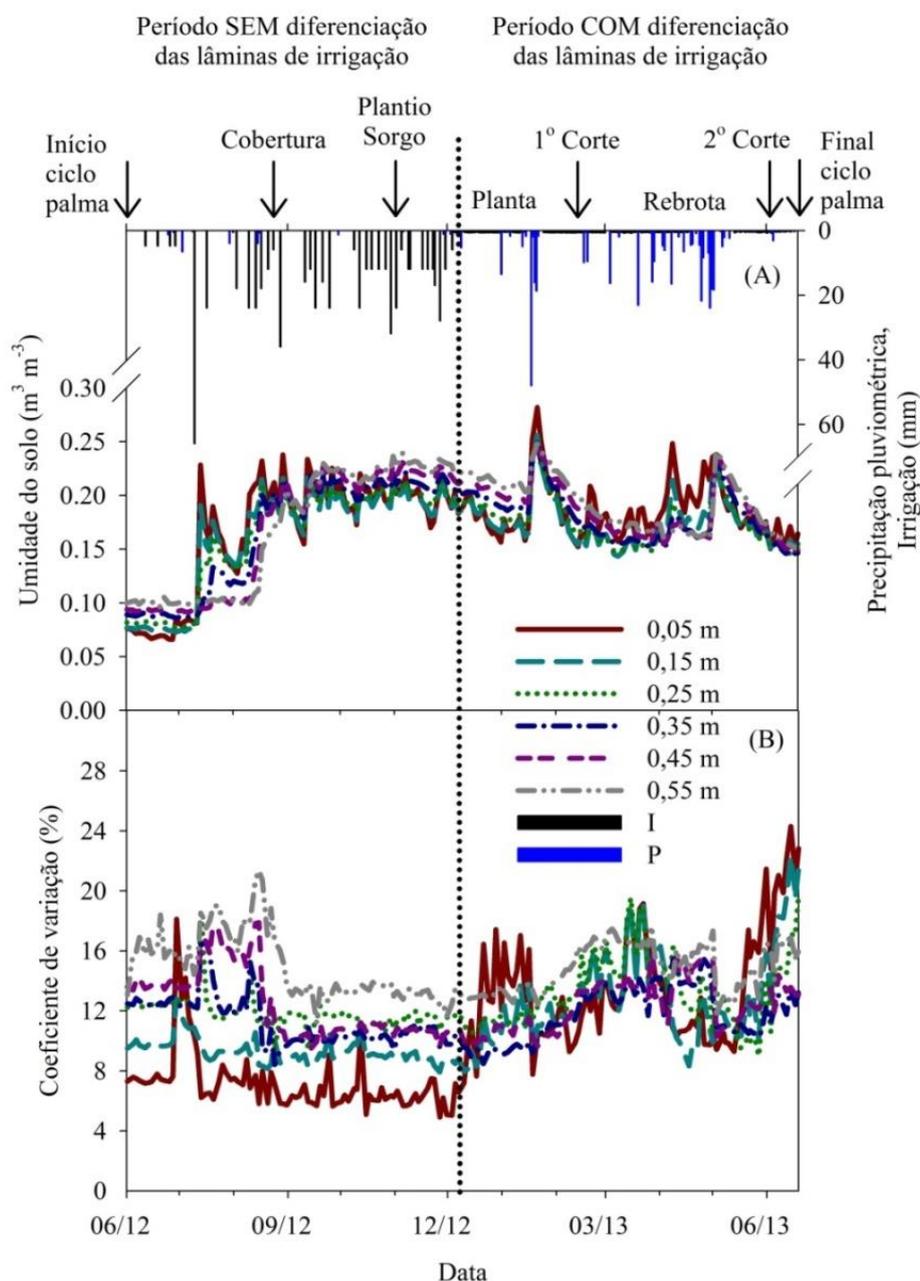


Figura 3. Variação temporal (A) e coeficiente de variação (B) da umidade do solo em diferentes profundidades de um Argissolo cultivado com palma forrageira (Orelha de Elefante Mexicana – *Opuntia* sp.), em Serra Talhada, PE.

O coeficiente de variação (CV) é mostrado na Figura 3B, e destaca-se para os meses de junho a dezembro de 2012, quando ocorreu grande alteração dos valores de umidade do solo em todas as profundidades, com os coeficientes de variação com menores valores nas profundidades de 0,15 m e 0,55 m. Mion et al. (2012), trabalhando em um Argissolo Amarelo no Ceará, evidenciaram o mesmo comportamento do CV.

A umidade do solo média em cada profundidade é demonstrada na Figura 4. O CV foi considerado médio (10 a 20%) para todas as profundidades. A baixa variabilidade da umidade do solo nas profundidades subsuperficiais é um fator importante para o plantio em áreas agrícolas (Fu et al., 2012), pois grande variação pode limitar a produção.

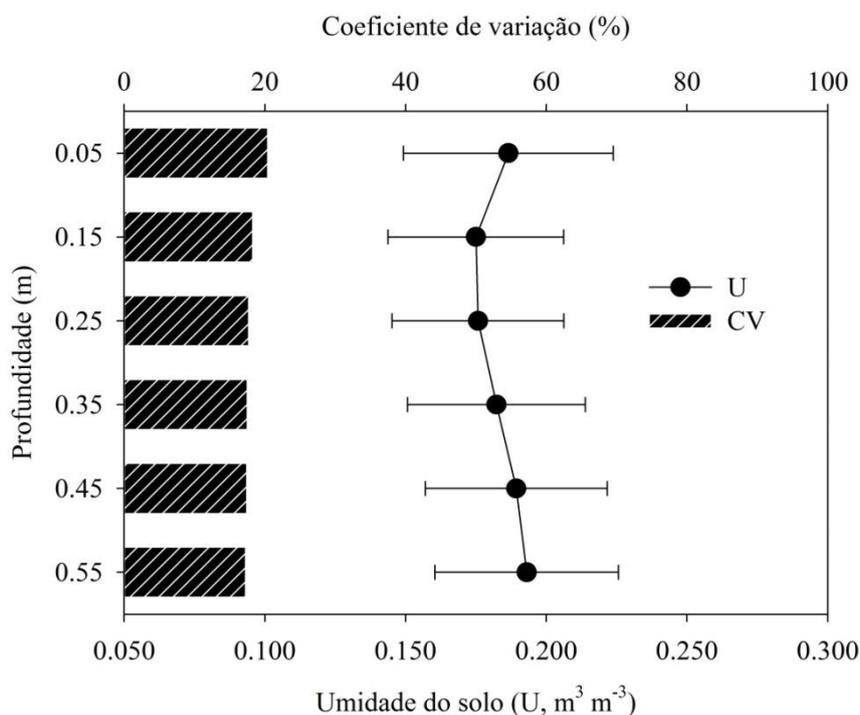


Figura 4. Distribuição vertical da média temporal da umidade e o coeficiente de variação no cultivo de palma forrageira (Orelha de Elefante Mexicana – *Opuntia* sp.) no Semiárido pernambucano.

A umidade do solo mostrou relação positiva com o aumento da porosidade total (P_{total}), enquanto tendeu a diminuir com a densidade do solo (d_{solo}) (Figura 5). A densidade do solo influencia na retenção de água, e conseqüente na porosidade total e na distribuição do tamanho dos poros (Tormena et al., 1998). Quando a densidade do solo é baixa, sua capacidade de

retenção de água é baixa, no entanto a distribuição da água no perfil é mais uniforme (Ramos et al., 2013). Desta forma, à medida que aumentou a densidade do solo a umidade média diminuiu, e quando a porosidade total foi elevada a retenção de água se prolongou por mais tempo.

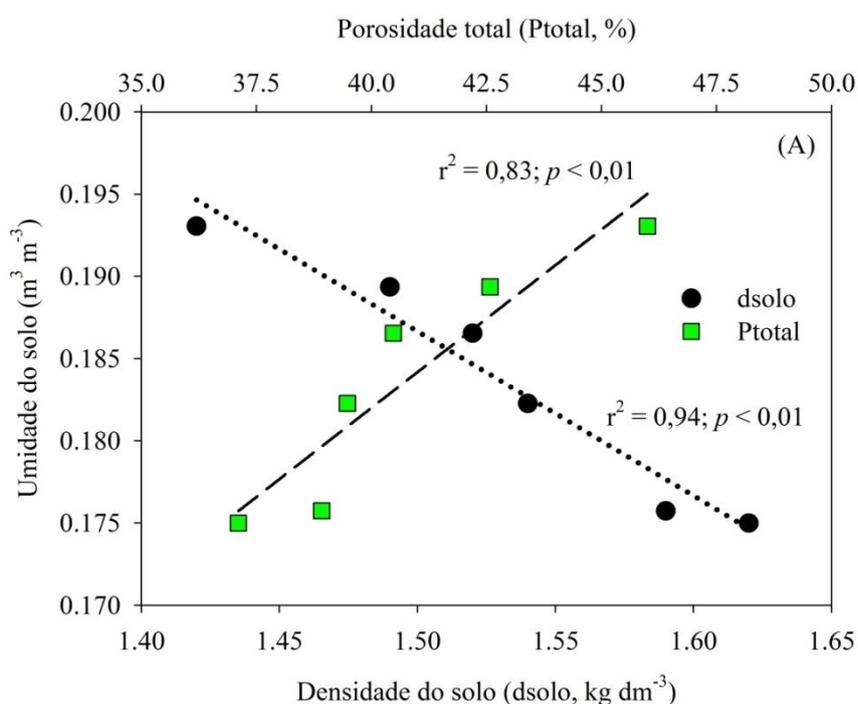


Figura 5. Relação entre a densidade do solo e a umidade do solo em um Argissolo Amarelo sob sistema de cultivo com palma forrageira, considerando as camadas de 0 a 0,60 m de profundidade.

Nas Figuras 6A e 6B são apresentadas as relações da umidade do solo com as frações granulométricas do solo, com e sem incluir os dados da profundidade de 0,05 m. A menor concentração de argila ocorreu na profundidade de 0,05 m e a maior foi na profundidade de 0,55 m, a mesma intuição também foi observada para a fração de silte. Considerando todas as profundidades, percebe-se que a relação da umidade do solo com as frações granulométricas foi significativa apenas para o silte (Figura 6A), em que à medida que a magnitude foi aumentando, a umidade do solo respondeu de forma positiva. Por outro lado, quando se desconsiderou a primeira profundidade, verificou-se que as três frações apresentaram relações significativas com a variação da umidade do solo ao longo do perfil (Figura 6B). O menor teor

de areia resultou em maior magnitude da umidade do solo. A profundidade de 0,05 m é mais sensível aos eventos de irrigação e a interação com as variáveis meteorológicas, o que proporciona alta variabilidade da umidade.

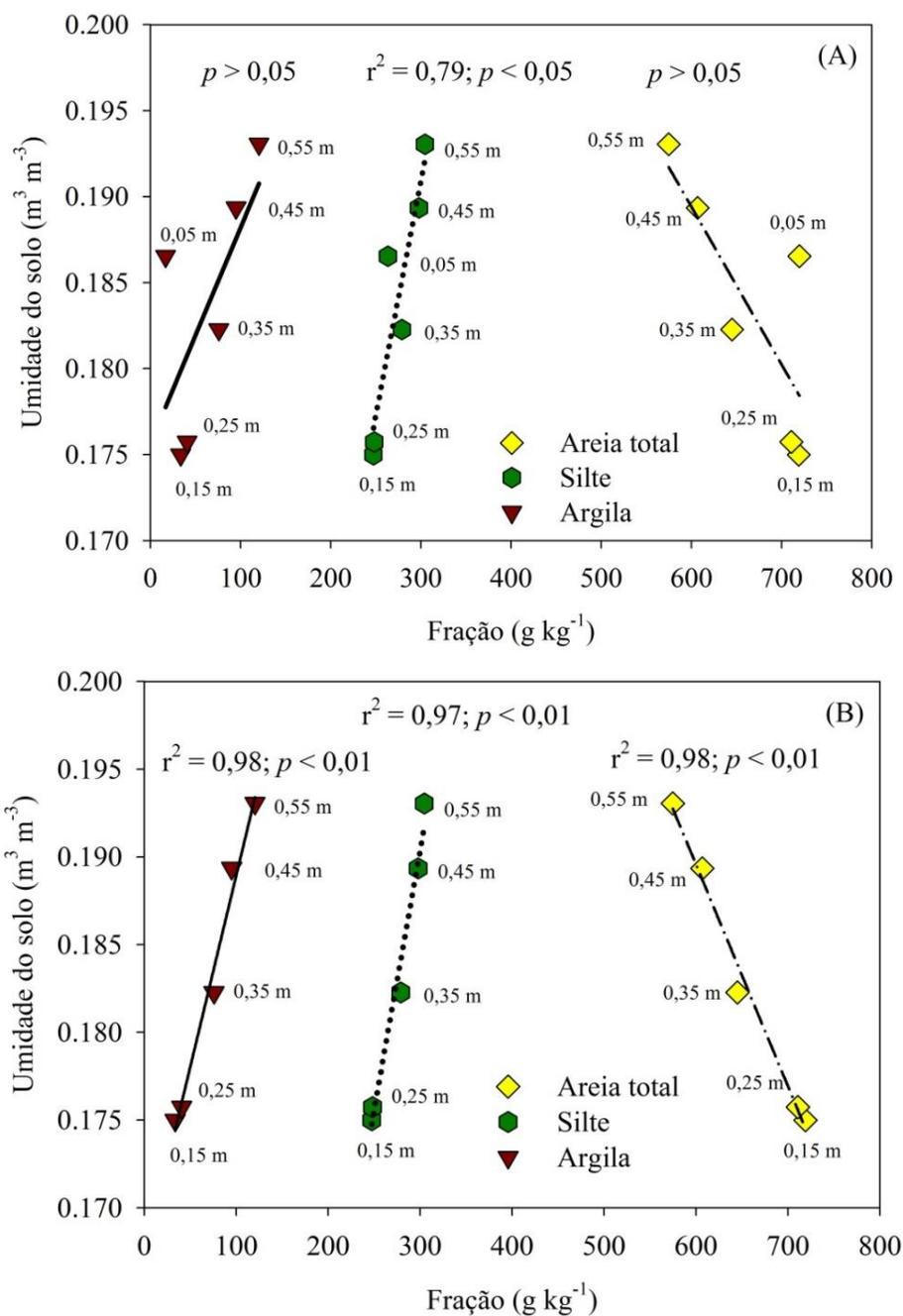


Figura 6. Relação da umidade do solo da profundidade de 0,05 a 0,55 m (A) e relação da umidade do solo da profundidade de 0,15 a 0,55 m (B) com a fração textural na área de cultivo de palma forrageira.

Na Tabela 3 é apresentada a matriz de correção entre os valores de variação do armazenamento de água (ΔA) das diferentes lâminas de água e sistemas de plantio, bem como com as variáveis meteorológicas e a lâmina de irrigação.

Tabela 3. Coeficientes de correlação de Pearson entre os valores da umidade média solo cultivado com palma forrageira sob diferentes lâminas de água e sistemas de plantio, e variáveis meteorológicas e lâminas acumuladas de irrigação. Obs.: Os valores em negrito não foram significativos a $p > 0,05$.

Variáveis	θ (0-PE)	θ (8,75-PE)	θ (17,5-PE)	θ (26,25-PE)	θ (35-PE)	θ (0-PC)	θ (8,75-PC)	θ (17,5-PC)
θ (8,75-PE)	0,960							
θ (17,5-PE)	0,950	0,960						
θ (26,25-PE)	0,900	0,900	0,960					
θ (35-PE)	0,820	0,820	0,890	0,890				
θ (0-PC)	0,970	0,980	0,950	0,890	0,860			
θ (8,75-PC)	0,920	0,900	0,930	0,890	0,890	0,920		
θ (17,5-PC)	0,920	0,900	0,920	0,820	0,830	0,950	0,900	
θ (26,25-PC)	0,860	0,880	0,910	0,870	0,820	0,860	0,850	0,830
θ (35-PC)	0,640	0,620	0,760	0,660	0,810	0,700	0,750	0,780
θ (0-PS)	0,980	0,970	0,950	0,900	0,840	0,960	0,950	0,890
θ (8,75-PS)	0,910	0,910	0,940	0,850	0,890	0,920	0,900	0,950
θ (17,5-PS)	0,960	0,950	0,930	0,840	0,800	0,970	0,920	0,930
θ (26,25-PS)	0,840	0,840	0,870	0,750	0,760	0,870	0,880	0,890
θ (35-PS)	0,900	0,930	0,900	0,790	0,780	0,920	0,900	0,870
URm	0,550	0,500	0,610	0,640	0,600	0,520	0,610	0,460
U	-0,450	-0,470	-0,610	-0,600	-0,600	-0,480	-0,560	-0,570
Prec.	0,640	0,730	0,810	0,700	0,710	0,690	0,700	0,710
I (8,75%)	0,640	0,730	0,810	0,700	0,710	0,690	0,690	0,710
I (17,5%)	0,640	0,730	0,810	0,700	0,700	0,680	0,690	0,710
I (26,25%)	0,630	0,720	0,810	0,700	0,700	0,680	0,680	0,710
I (35%)	0,620	0,710	0,810	0,690	0,690	0,670	0,670	0,710

Variáveis	θ (26,25-PC)	θ (35-PC)	θ (0-PS)	θ (8,75-PS)	θ (17,5-PS)	θ (26,25-PS)	θ (35-PS)
θ (35,00-PC)	0,780						
θ (0,00-PS)	0,880	0,640					
θ (8,75-PS)	0,900	0,780	0,910				
θ (17,5-PS)	0,900	0,720	0,960	0,910			
θ (26,25-PS)	0,880	0,880	0,840	0,860	0,920		
θ (35,00-PS)	0,910	0,740	0,930	0,900	0,970	0,940	
URm	0,690	0,680	0,600	0,510	0,580	0,630	0,590
U	-0,650	-0,730	-0,440	-0,660	-0,440	-0,630	-0,510
Prec.	0,840	0,820	0,680	0,810	0,730	0,830	0,810
I (8,75%)	0,830	0,820	0,680	0,800	0,720	0,830	0,800
I (17,5%)	0,830	0,820	0,670	0,800	0,720	0,830	0,790
I (26,25%)	0,820	0,820	0,660	0,800	0,710	0,820	0,780
I (35%)	0,810	0,820	0,650	0,790	0,700	0,820	0,780

Alta correlação entre os valores de θ indica a similaridade de resposta da umidade do solo sob as diferentes lâminas de água e sistemas de plantio. As lâminas de irrigação e precipitação também apresentaram alta correlação com os dados de θ , mostrando que foram as principais variáveis responsáveis pela variação da umidade no solo. Correlação moderada foi

verificada URm e Vv, que são as principais variáveis meteorológicas condicionadoras do déficit da pressão de saturação do vapor d'água na atmosfera.

Conclusões

A adoção de diferentes lâminas de água, L1 (583+393), L2 (655+393), L3 (703+393), L4 (759+393) e L5 (809+393) e sistemas de plantio (exclusivo, com cobertura morta sobre o solo) não afetou a variação temporal e espaço-vertical da umidade do solo cultivado com palma forrageira no Semiárido brasileiro. A sazonalidade dos eventos de precipitação pluviométrica afetou significativamente a variação temporal da umidade do solo. O armazenamento de água no solo variou principalmente devido aos eventos de irrigação e precipitação, e apresentou similaridade entre os diferentes tratamentos.

Referências

- ARAÚJO PRIMO, J. T.; SILVA, T. G. F.; SILVA, S. M. S.; MOURA, M. S. B.; SOUZA, L. S. B. Calibração de sondas capacitivas, funções físico-hídricas e variação do armazenamento de água em um argissolo cultivado com palma forrageira. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 62, n.1, p.020-029, 2015.
- 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.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sistema brasileiro de classificação de solos. **Embrapa Solos**. 3.ed. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353p.
- FU, W., HUANG, M., GALLICHAND, J., SHAO, M. Optimization of plant coverage in relation to water balance in the Loess Plateau of China. **Geoderma**, v. 173–174, p.134–144, 2012.
- JOST, G.; SCHUME, H.; HAGER, H.; MARKART, G.; KOHL, B. A hillslope scale comparison of tree species influence on soil moisture dynamics and runoff processes during intense rainfall. **Journal of Hydrology**. v.420–421, p.112–124, 2012.

- LEGATES, D.R., MAHMOOD, R., LEVIA, D.F., DELIBERTY, T.L., QUIRING, S.M., HOUSER, C., NELSON, F.E. Soil moisture: a central and unifying theme in physical geography. **Progress in Physical Geography**. V.35, n.1, p.65–86, 2011.
- LEI, Y.; LUBO, G.; HUAXING, B.; QINGKE, Z.; XIAOYAN, W. Spatiotemporal dynamics of soil moisture in silvopastoral system in the Loess Plateau of west Shanxi province. **Procedia Environmental Sciences**, v.8, p.153-160, 2011.
- LOPES, E. B.; BRITO, C. H.; ALBUQUERQUE, I. C.; BATISTA, J. L. Seleção de genótipos de palma forrageira (opuntia spp.) e (nopalea spp.) resistentes à cochonilha-do-carmim (dactylopius opuntiae cockerell, 1929) na Paraíba, Brasil. **Engenharia Ambiental** - Espírito Santo do Pinhal, v. 7, n. 1, p. 204-215, jan./mar. 2010.
- LORENTZ, L. H., LUCIO, A. D., STORCK, L., LOPES, S. J., BOLIGON, A. A., & CARPES, R. H. Variação temporal do tamanho de amostra para experimentos em estufa plástica. **Ciência Rural**, v. 34, n. 4, p.1043-1049, 2004.
- FERREIRA, P. V. Estatística experimental aplicada à agronomia. Maceió, **EDUFAL**. 437p, 1991.
- MION, R. L.; NASCIMENTO, E. M. S.; SALES, F. A. L.; SILVA, S. F. DUARTE, J. M. L.; SOUSA, B. M. Variabilidade espacial da porosidade total, umidade e resistência do solo à penetração de um Argissolo amarelo. Semina: **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 6, p. 2057-2066, 2012.
- MOURA, M. S. B.; GALVINCIO, J. D.; BRITO, L. T. L.; SOUZA, L. S. B.; SÁ, I. I. S.; SILVA, T. G. F. Clima e água de chuva no Semi-Árido. Capítulo em livro técnico-científico, **EMBRAPA**, cap. 2, p. 37-59, 2007.
- NASCIMENTO, J. P.; SOUTO, J. S.; SANTOS, E. S.; DAMASCENO, M. M.; RAMOS, J. P. F.; SALES, A. T.; LEITE, M. L. M. V. Caracterização morfométrica de Opuntia ficus-indica sob diferentes arranjos populacionais e fertilização fosfatada. **Revista Tecnologia & Ciência Agropecuária**. João Pessoa, v.5, n.3, p.21-26, 2011.
- OLIVEIRA, F. T.; SOUTO, J. S.; SILVA, R. P.; ANDRADE FILHO, F. C.; PEREIRA JUNIOR, E. B. Palma forrageira: adaptação e importância para os ecossistemas áridos e semiáridos. **Revista Verde** (Mossoró – RN – Brasil) v.5, n.4, p. 27 – 37, 2010.
- OLIVEIRA, MILSON L; RUIZ, HUGO A.; COSTA, LIOVANDO M. SCHAEFER, CARLOS E. G. R. Flutuações de temperatura e umidade do solo em resposta à cobertura vegetal. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.4, pp. 535-539, 2005.
- QUEIROZ, M. G.; SILVA, T. G. F.; ZOLNIER, S.; SILVA, S. M. S.; LIMA, L. R.; ALVES, J. O. Características morfofisiológicas e produtividade da palma forrageira em diferentes

lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.10, p.931–938, 2015.

RAMOS, B. Z.; PAIS, P. S. M.; FREITAS, W. A.; DIAS JUNIOR, M. S. Avaliação dos atributos físico-hídricos em um Latossolo Vermelho distroférico sob diferentes sistemas de manejo - Lavras/Minas Gerais/Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**. Minas Gerais, v.36, n.3, p. 440-446, 2013.

REGO, M. M. T.; LIMA, G. F. C.; SILVA, J. G. M.; GUEDES, F. X.; DANTAS, F. D. G.; LÔBO, R. N. B. Morfologia e Rendimento de Biomassa da Palma Miúda Irrigada sob Doses de Adubação Orgânica e Intensidades de Corte. **Revista Científica de Produção Animal**, v.16, n.2, p.118-130, 2014.

SANTOS, R. 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, n.7, p.670–679, 2011.

SILVA, T. G. F.; ARAÚJO PRIMO, J. T.; MORAIS, L. E. F.; DINIZ, W. J. S.; SOUZA, C. A. A. Crescimento e produtividade de clones de palma forrageira no semiárido e relações com variáveis meteorológicas. **Revista Caatinga. Mossoró**. v.28, n.2. p.10 – 18, 2015a.

SILVA, T. G. F.; ARAÚJO PRIMO, J. T.; MOURA, M. S. B.; SILVA, S. M. S.; MORAIS, J. E. F.; PEREIRA, P. C.; SOUZA, C. A. A. Soil water dynamics and evapotranspiration of forage cactus clones under rainfed conditions. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 7, p.515-525, 2015b.

SOUZA, L. S. B.; MOURA, M. S. B.; SILVA, T. G. F.; SOARES, J. M.; CARMO, J. F. A.; BRANDÃO, E. O. Indicadores climáticos para o zoneamento agrícola da palma forrageira (*Opuntia* sp.). In: Jornada de Iniciação Científica da Embrapa Semiárido, 3, 2008, Petrolina: **Embrapa Semiárido**, 2008. p.23-28. Documentos 210. Anais...

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.22, p.573-581, 1998.

WANG, L., D'ODORICO, P., EVANS, J.P., ELDRIDGE, D.J., MCCABE, M.F., CAYLOR, K.K., KING, E.G. Dryland ecohydrology and climate change: critical issues and technical advances. **Hydrology and Earth System Sciences**, 16, 2585–2603, 2012.

WANG, T.J., WEDIN, D.A., FRANZ, T.E., HILLER, J. Effect of vegetation on the temporal stability of soil moisture in grass-stabilized semi-arid sand dunes. **Journal of Hydrology**. p. 447–459, 2015.

YANG, L.; WEI, W.; CHEN, L.; CHEN, W.; WANG, J. Response of temporal variation of soil moisture to vegetation restoration in semi-arid Loess Plateau, China. **Catena**, v. 115, p. 123-133, 2014.

YANG, L.; WEI, W.; CHEN, L.; JIA, F.; MO, B. Spatial variations of shallow and deep soil moisture in the semi-arid Loess Plateau, China. **Hydrology and Earth System Sciences**, v.16, p.3199–3217, 2012.

YANG, L.; WEI, W.; CHEN, W.; WANG, J. Response of temporal variation of soil moisture to vegetation restoration in semi-arid Loess Plateau, China. **Catena**, v.115, p.123–133, 2014.