

## TEOR DE UMIDADE POR DIFERENTES MÉTODOS EM NEOSSOLO DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Rigoberto Moreira de Matos<sup>1</sup>, José Dantas Neto<sup>2</sup>, Antônio Suassuna de Lima<sup>1</sup>,  
Patrícia Ferreira da Silva<sup>3</sup>, Vitória Ediclécia Borges<sup>4</sup>, Thiago Galvão Sobrinho<sup>5</sup>

### RESUMO

O conhecimento da umidade do solo é relevante para a decisão de quando e quanto irrigar, para isto, são vários os métodos para determinação das condições hídricas em que o solo se encontra. Objetivou-se com este estudo comparar o teor de umidade obtido por diferentes métodos em Neossolo Flúvico do semiárido brasileiro. O experimento foi realizado em condições de campo no município de Santa Luzia – PB. Utilizou-se os métodos padrão da estufa, forno elétrico e sonda FDR, nas profundidades de 0,0-0,5 m com sete repetições. Os métodos foram comparados através de indicativos estatísticos e dos valores de umidade do solo obtidos pelo método padrão, com aqueles determinados pelos métodos testados. O teor de umidade obtido pelo forno elétrico foi muito próximo do obtido no método padrão, além de melhor ajustamento entre os dados e maior coeficiente de determinação, diferentemente, os valores obtidos pela sonda FDR proporcionou uma maior variação quando comparado ao método padrão. O forno elétrico proporcionou desempenho ótimo em relação ao método padrão, enquanto a sonda FDR foi classificada como mediano. O teor de umidade do solo determinada pelo forno elétrico é uma alternativa viável para o manejo da irrigação, por ser de baixo custo e menor tempo de obtenção dos resultados 0,58 h quando comparado ao padrão da estufa de 24 a 48 h.

**Palavras-chave:** conteúdo de água do solo; métodos alternativos; indicativos estatísticos.

## MOISTURE CONTENT BY DIFFERENT METHODS IN NEOSSOLO OF BRAZILIAN SEMIARID

### ABSTRACT

The knowledge of soil moisture is relevant to the decision of when and how much to irrigate, for this, there are several methods for determining the water conditions in which the soil is found. The objective of this study was to compare the moisture content obtained by different methods in the Neossolo Flúvico of the Brazilian semiarid. The experiment was carried out under field conditions in the municipality of Santa Luzia - PB. Was used the methods standard

<sup>1</sup> Doutorando em Engenharia Agrícola, UFCG, e-mails: rigobertomoreira@gmail.com; suassunaagro@gmail.com

<sup>2</sup> Doutor em Agronomia, Prof. Titular da UFCG, e-mail: zedantas1955@gmail.com

<sup>3</sup> Doutora em Engenharia Agrícola, UFCG, e-mail: patrycyafs@yahoo.com.br

<sup>4</sup> Mestranda em Engenharia Agrícola, UFCG, e-mail: edicleciaborges@gmail.com

<sup>5</sup> Graduando em Engenharia Agrícola, UFCG, e-mail: tgs\_galvao@hotmail.com

greenhouse, electric furnace and FDR probe, at depths of 0.0-0.5 m with seven replicates. The methods were compared by means of statistical indicatives and soil moisture values obtained by the standard method, with those determined by the methods tested. The moisture content obtained by the electric furnace was very close to that obtained in the standard method, besides a better fit between the data and a higher coefficient of determination, differently, the values obtained by the FDR probe provided a greater variation when compared to the standard method. The electric furnace provided optimum performance over the standard method, while the FDR probe was classified as medium. O teor de umidade do solo determinada pelo forno elétrico é uma alternativa viável para o manejo da irrigação, por ser de baixo custo e menor tempo de obtenção dos resultados 0,58 h quando comparado ao padrão da estufa de 24 a 48 h.

**Keywords:** soil water content; alternative methods; statistical indicative.

## INTRODUÇÃO

A determinação do teor de umidade do solo possui elevada importância para o fornecimento de informações, destinadas a resolver problemas relacionados com o manejo da irrigação, época de semeadura, determinação do consumo hídrico, processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera, além de ser essencial no planejamento dos sistemas de irrigação e drenagem (GONÇALVES et al., 2010; QUINTINO et al., 2015).

O monitoramento do teor de umidade do solo é fundamental, principalmente em regiões em que a disponibilidade de água no solo se torna restritiva como no semiárido brasileiro, sendo o uso racional dos recursos hídricos, um fator que impulsiona as pesquisas visando a determinação do teor de umidade nos solos por diferentes métodos (ELAIUY et al., 2009). Assim, a utilização de métodos alternativos de quantificação da umidade dos solos correlacionado com o método padrão da estufa, devem levar em consideração sua propriedade física, hídrica e produzir respostas direta, rápida, confiáveis e de baixo custo (RIVERA et al., 2008).

Dentre os métodos para a estimativa do teor de água no solo, o método direto, gravimétrico é o padrão (estufa), este é considerado preciso e de baixo custo, contudo é um método destrutivo e demanda de 12 até 72 horas para obtenção dos resultados (QUINTINO et al., 2015).

Os métodos alternativos utiliza um forno elétrico como equipamento e leva em torno de 5 minutos para aquecer e 30 na secagem da amostra de solo, sendo os dados de umidade do solo obtido de forma rápida, acessível e confiável (MIRANDA et al., 2012). Porém, ambos os métodos são destrutivos e não podem ser automatizados (SOUZA et al., 2016).

Já os métodos indiretos com a Reflectometria no Domínio da Frequência (FDR), também conhecido como método por capacitância, é um método que se baseia na constante dielétrica da matriz do solo, está ganhando destaque em relação aos demais, principalmente por ser um método rápido, não destrutivo, possibilitando a automação da aquisição dos dados (BIZARI et al., 2011). Este por sua vez, estima à umidade do solo levando em consideração as propriedades do solo, e permite que se façam várias leituras em um mesmo local, sem a necessidade de retirar amostras de solo (SOUZA et al., 2016).

Contudo, vale ressaltar, que a região do semiárido brasileiro é carente em informações, sobre a utilização de diferentes métodos visando a determinação do teor de umidade dos solos, especialmente os Neossolos que possuem lençol freático a pouca profundidade (BEZERRA et al., 2013).

Dada à relevância da temática, objetivou-se com este estudo comparar o teor de umidade obtido por diferentes

**TEOR DE UMIDADE POR DIFERENTES MÉTODOS  
EM NEOSSOLO DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

métodos em Neossolo Flúvico do semiárido brasileiro.

a secagem, determinou-se a porcentagem de umidade do solo em volume, Equação 1.

### MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido em condições de campo no município de Santa Luzia no mês de novembro de 2016, microrregião do Seridó ocidental paraibano, latitude 06° 52' 27", longitude 36° 56' 00" WGr, e altitude média de 299 m. Encontrase inserido no Polígono das Secas e situa-se na Mesorregião da Borborema. O clima é do tipo Bsh-Tropical, quente e seco, semiárido com chuvas de verão.

O solo do local estudado possui textura franco-arenosa, sendo classificado como do tipo Neossolos Flúvicos, tendo como característica principal ser derivados de sedimentos aluviais, conforme metodologia da (EMBRAPA, 2013).

Na determinação da umidade do solo foram utilizados o método da estufa (PE) considerado padrão, e os métodos testados: método do forno elétrico (FE) e o método da sonda de capacitância (FDR). Para cada método utilizado, foram realizadas sete repetições em cinco profundidades de 0,0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3; 0,3-0,4 e 0,4-0,5 m.

Para determinar o teor de umidade do solo pelos métodos diretos e destrutivos padrão da estufa (PE) e forno elétrico (FE), coletaram-se amostras de solo simples e deformadas com auxílio de um trado holandês nas profundidades mencionadas.

Para o método da estufa, as amostras foram secas em estufa com circulação de ar forçada a 105 °C durante um período de 24 a 48 h, conforme metodologia da Embrapa (1997). E para o método do forno elétrico, as amostras de solo foram secas em um forno elétrico com capacidade para cinco litros, submetidas a uma temperatura de 105 °C durante 35 minutos.

As amostras de solo foram pesadas em balança analítica com precisão de 0,01 g para determinação de sua massa antes e depois de serem submetidas à secagem. Após

$$\%U_{\text{volume}} = \left( \frac{M1 - M2}{M2 - M3} \right) \times 100 \times Da \quad (1)$$

onde: M1 - peso do solo úmido e do recipiente; M2 - peso do solo seco e do recipiente; M3 - peso do recipiente; e, Da - densidade aparente determinada no próprio local, 1,56 g cm<sup>3</sup>.

Na obtenção da umidade do solo pelo método indireto e não destrutivo da sonda de capacitância FDR - Frequency Domain Reflectometry, foram instalados tubos de acesso, e as leituras realizadas em porcentagem de volume, com um sensor Profile Probe type PR2/6 acoplado a um data logger HH2 Moisture Meter, ambos fabricados pela Delta-T Devices.

A análise de desempenho dos métodos foi realizada através da comparação dos valores de umidade do solo obtidos pelo método padrão da estufa, com aqueles determinados pelos outros dois métodos testados: forno elétrico e sonda FDR.

Os dados obtidos foram comparados por meio da equação de regressão linear, coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>), índice de concordância de Wilmott (d), coeficiente de correlação (r), índice de confiança (c), estimativa do erro padrão (EEP), raiz do erro quadrático médio (REQM) e eficiência dos métodos (EF).

A quantificação matematicamente da dispersão dos dados obtidos pelos métodos testados em relação ao método considerado padrão, é realizada através de um coeficiente designado de concordância ou exatidão, este índice de concordância "d" foi proposto por Willmott et al. (1985), seus valores podem oscilar de 0,0 para nenhuma concordância a 1,0 para uma concordância perfeita entre os métodos, Equação 2.

$$d = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i - O_i| + |O_i - O|)^2} \right] \quad (2)$$

onde:  $P_i$  - valores estimados pelos métodos testados;  $O_i$  - valores estimados pelo método padrão; e,  $O$  - média dos valores observados.

O grau de associação entre duas variáveis estudadas é quantificado através do coeficiente de correlação “ $r$ ” (SCHNEIDER, 1998), Equação 3.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O) \cdot (O_i - O)}{\sqrt{\left[ \sum_{i=1}^n (P_i - O)^2 \right] \cdot \left[ \sum_{i=1}^n (O_i - O)^2 \right]}} \quad (3)$$

onde:  $P_i$  - valores estimados pelos métodos testados;  $O_i$  - valores estimados pelo método padrão; e,  $O$  - média dos valores observados.

A confiabilidade dos métodos foi realizada através do índice de confiança “ $c$ ” proposto por Camargo e Sentelhas (1997), servindo como indicador de desempenho dos métodos analisados, Equação 4.

$$c = r \cdot d \quad (4)$$

onde:  $r$  - coeficiente de correlação; e,  $d$  - índice de concordância de Willmott.

Outra metodologia adotada para comparar as relações dos métodos estudados é a proposta por Allen et al. (1986), em que consiste no cálculo da estimativa do erro padrão (EEP), Equação 5.

$$EEP = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{n - 1}} \quad (5)$$

onde:  $O_i$  - valores estimados pelo método padrão;  $P_i$  - valores estimados pelos métodos testados; e,  $n$  - número de observações.

Para análise dos métodos, utilizou-se ainda o indicativo estatístico raiz do erro quadrático médio (REQM), conforme Gomes et al. (2002); Alencar et al. (2011), Equação 6.

$$REQM = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2} \quad (6)$$

onde:  $P_i$  - valores estimados pelos métodos testados;  $O_i$  - valores estimados pelo método padrão; e,  $n$  - número de observações.

A eficiência dos métodos testados (EF) para estimativa do teor de umidade do solo foi determinada conforme Zacharias et al. (1996), Equação 7.

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O)^2 - \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - O)^2} \quad (7)$$

onde:  $P_i$  - valores estimados pelos métodos testados;  $O_i$  - valores estimados pelo método padrão; e,  $O$  - média dos valores observados.

A classificação de desempenho dos métodos foi realizada através do índice de confiança, onde este oscila de 0,0 para nenhuma concordância a 1,0 para uma concordância perfeita entre os métodos, Tabela 1.

**Tabela 1.** Classificação do desempenho dos métodos testados conforme o índice de confiança “ $c$ ” proposto por Camargo e Sentelhas (1997).

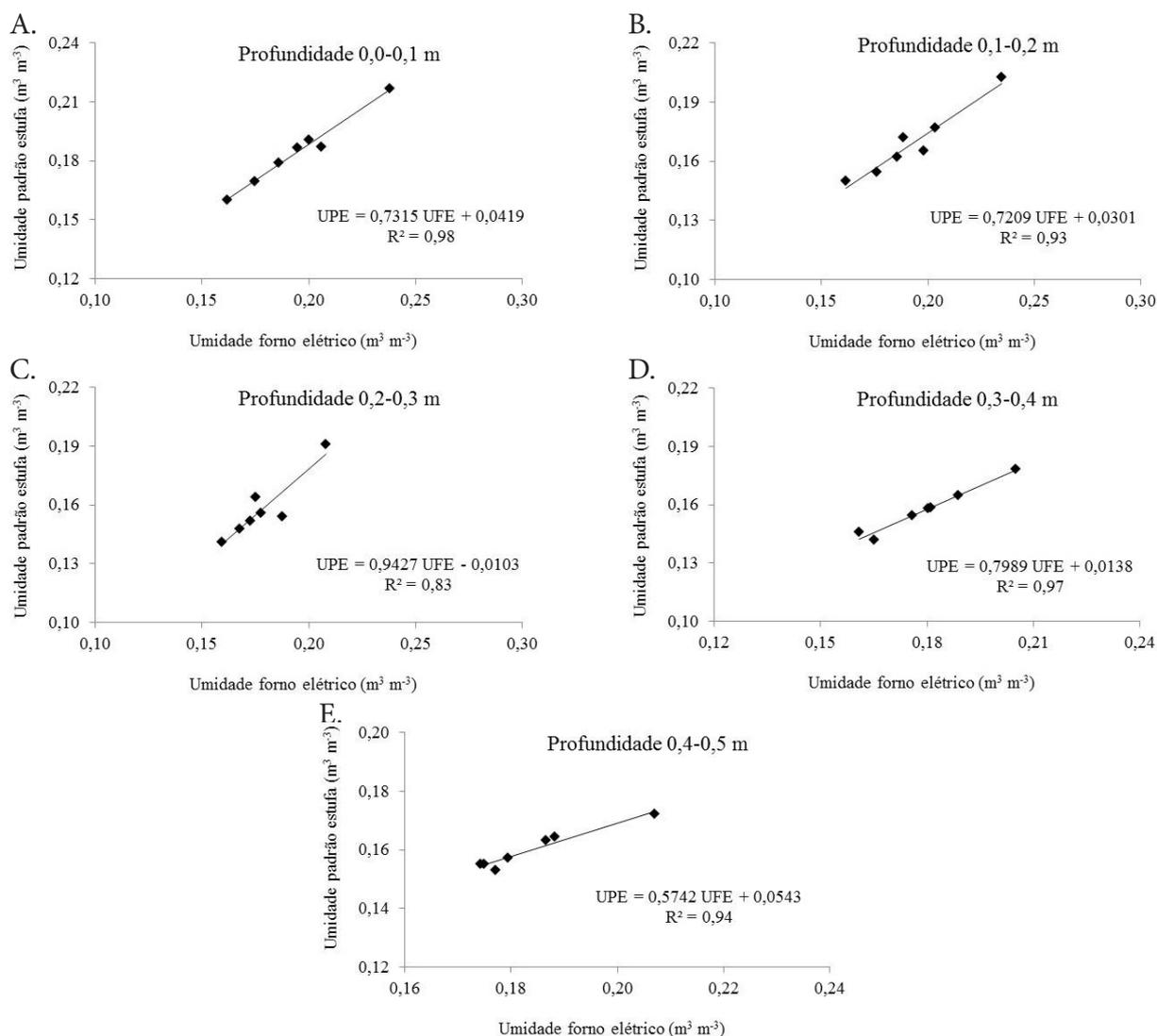
Valor de “ $c$ ”	Desempenho
$\geq 0,85$	Ótimo
0,76 a 0,85	Muito bom
0,66 a 0,75	Bom
0,61 a 0,65	Mediano
0,51 a 0,60	Sofrível
0,41 a 0,50	Mau
$\leq 0,40$	Péssimo

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A relação dos valores de umidade do solo obtidos em diferentes profundidades pelo método padrão da estufa (PE) e o método do forno elétrico, comparados por meio da equação de regressão linear e coeficiente de determinação ( $R^2$ ), encontram-se na Figura 1A, B, C, D e E.

Em todas as profundidades estudadas a equação de regressão que melhor se ajustou foi a linear, tendo como variável dependente o método padrão da estufa em relação ao método do forno elétrico. Nota-

TEOR DE UMIDADE POR DIFERENTES MÉTODOS  
EM NEOSSOLO DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO



**Figura 1.** Comparação dos valores de umidade do solo obtidos pelo método do forno elétrico em relação ao método padrão da estufa, nas profundidades de 0,0-0,1 (A); 0,1-0,2 (B); 0,2-0,3 (C); 0,3-0,4 (D) e 0,4-0,5 m (E).

se que, os maiores valores de  $R^2$  foram superiores a 0,90, exceto na profundidade de 0,2-0,3 m que obteve valor de  $R^2 = 0,83$ . Estes resultados indicam que houve alta correlação entre os métodos de determinação do teor de umidade do solo nas diferentes profundidades, indicando que o método do forno elétrico é confiável para obtenção do teor de umidade do solo quando não se dispõe de uma estufa de secagem.

Schneider (1998) afirma que os coeficientes de correlação permitem quantificar o grau de associação entre duas variáveis envolvidas no estudo. Neste caso, verificou-se uma boa relação entre o método testado e o padrão.

De acordo com estes resultados é possível afirmar que o método do forno elétrico evidenciou resultados consistentes em relação ao teor de umidade avaliado, sugerindo que este pode ser um método alternativo na determinação do teor de umidade dos solos, em substituição ao método padrão da estufa que é mais oneroso, demorado e não permite automação dos resultados (BUSKE et al., 2014).

Desta forma, o método do forno elétrico, é um equipamento simples e acessível, é considerado eficaz na obtenção dos dados e contribui para redução do consumo de energia. A adoção do forno elétrico na determinação do teor de

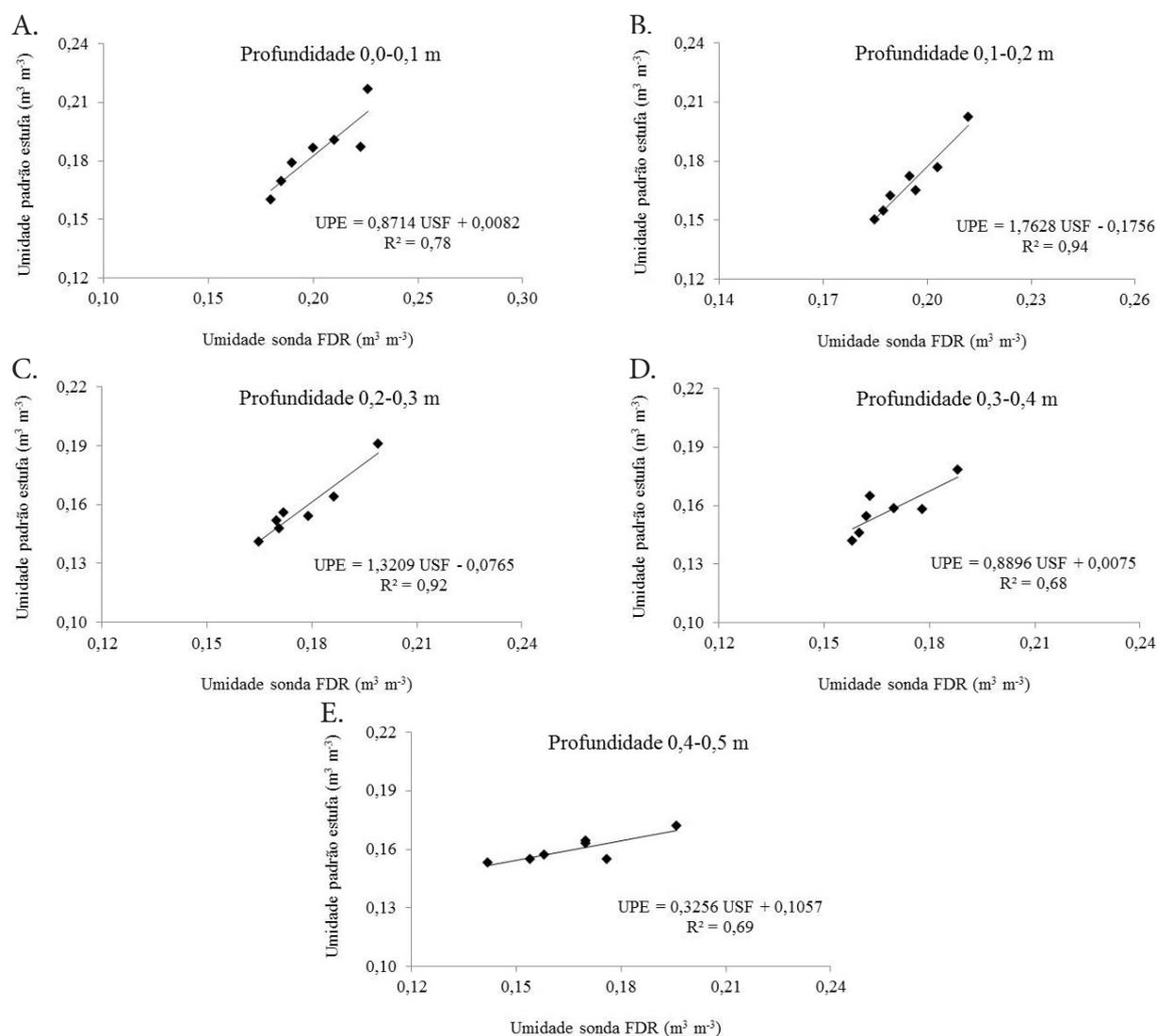
umidade do solo aperfeiçoa as atividades no campo e favorece o manejo adequado da irrigação dos cultivos, além de contribuir para a economia e rendimento das culturas (VINHOLIS et al., 2008).

Para Nunes et al. (2015) o forno elétrico é um método que se correlaciona muito bem com o método padrão da estufa, evidenciando um excelente ajuste no coeficiente de correlação, resultado este semelhante ao observado no presente.

A comparação por meio da equação de regressão linear e coeficiente de determinação ( $R^2$ ) dos valores referentes ao teor de umidade do solo obtidos em diferentes profundidades pelo método padrão da estufa em relação ao método da

sonda de capacitância FDR, encontram-se na Figura 2 A, B, C, D e E.

Observa-se nas regressões que os maiores coeficientes de determinação foram verificados nas profundidades de 0,1-0,2 m (0,94) e 0,2-0,3 m (0,92) e os menores a 0,3-0,4 m (0,68) e 0,4-0,5 m (0,69). Observa-se, ainda na Figura 2, que houve um melhor ajustamento entre os valores obtidos nas profundidades de 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m. Fato que, possivelmente esteja relacionado com o teor de umidade nestas profundidades e com a aderência dos tubos de acesso ao solo ser menos efetivo nas profundidades superiores a 0,3 m de profundidade, em decorrência das características do solo.



**Figura 2.** Comparação dos valores de umidade do solo obtidos pelo método da sonda FDR em relação ao método padrão da estufa, nas profundidades de 0,0-0,1 (A); 0,1-0,2 (B); 0,2-0,3 (C); 0,3-0,4 (D) e 0,4-0,5 m (E).

**TEOR DE UMIDADE POR DIFERENTES MÉTODOS  
EM NEOSSOLO DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

A partir dos resultados das Figuras 1 e 2, constatou-se que o método de determinação da umidade do solo por meio do forno elétrico se ajustou melhor quando comparado ao método da sonda FDR, pois proporcionou um melhor ajustamento entre os dados obtidos e maior coeficiente de determinação.

Os valores de umidade do solo obtidos pelo forno elétrico foram muito próximos dos obtidos pelo método padrão, mesmo sendo maiores, diferentemente dos valores obtidos pela sonda FDR que proporcionou uma maior variação quando comparado ao método padrão, além de ter determinado um menor teor de umidade do solo.

Esta correlação obtida com a sonda FDR foi inferior à obtida para o forno elétrico, sendo os valores do coeficiente de determinação inferiores, exceto na profundidade de 0,1-0,2 m. A menor correlação observada para a sonda FDR, pode estar relacionada ao fato de ser um método indireto para determinação do teor de umidade do solo, na sua confiabilidade nas leituras, e ainda por ser um entrave na sua utilização destas medidas (BUESA PUEYO, 2013). Este fato pode ser justificado em decorrência das variações nas propriedades físicas do solo nas diferentes profundidades que acabam interferindo no teor de umidade do solo e na frequência (SOUZA et al., 2016).

Um fator de grande relevância que pode contribuir para a baixa correlação entre os dados obtido é a heterogeneidade do solo associada à instalação dos tubos de acesso, que interferem nas características do solo em seu entorno, o que pode contribuir para modificações nos resultados, ou seja, a variação dos valores do teor de umidade do solo mesmo sendo nas mesmas profundidades (SCHWARTZ et al., 2014).

Souza et al. (2013) obtiveram correlações superiores a 90%, no entanto estes determinaram a umidade dos diferentes solos estudados em condições de laboratórios, assim sendo, desprezaram os aspectos físicos dos solos. Resultados estes que diferem do encontrado no presente estudo, em decorrência do mesmo ter sido desenvolvido em condições de campo, sofrendo influência das características físicas do solo.

Os valores dos indicadores estatísticos índice de concordância de Willmott (d), coeficiente de correlação (r), índice de confiança (c), estimativa do erro padrão (EEP), raiz do erro quadrático médio (REQM), eficiência dos métodos (EF) e desempenho dos métodos testados encontram-se na Tabela 2.

O índice de concordância de Willmott (d) evidencia que houve uma maior exatidão entre os dados obtidos pelo método do forno elétrico em relação ao padrão, com

**Tabela 2.** Valores dos indicadores estatísticos utilizados na comparação dos métodos estudados.

Método testado	Profundidade (m)	d	r	c	EEP	REQM	EF	Desempenho
Forno elétrico	0,0-0,1	0,90	0,99	0,89	0,29	1,22	0,76	Ótimo
	0,1-0,2	0,92	0,97	0,89	0,50	1,08	0,78	Ótimo
	0,2-0,3	0,95	0,98	0,93	0,42	0,70	0,79	Ótimo
	0,3-0,4	0,95	0,96	0,91	0,52	0,68	0,77	Ótimo
	0,4-0,5	0,88	0,87	0,77	0,98	0,91	0,27	Muito bom
Média	0,0-0,5	0,92	0,95	0,88	0,54	0,92	0,67	Ótimo
Sonda FDR	0,0-0,1	0,64	0,88	0,57	0,92	1,95	0,37	Sofrível
	0,1-0,2	0,67	0,94	0,63	0,69	1,44	0,01	Mediano
	0,2-0,3	0,85	0,92	0,78	0,79	1,05	0,32	Muito bom
	0,3-0,4	0,51	0,88	0,45	0,94	1,82	0,04	Mau
	0,4-0,5	0,70	0,98	0,68	0,39	1,80	0,43	Bom
Média	0,0-0,5	0,67	0,92	0,62	0,75	1,61	0,23	Mediano

d médio de 0,92, enquanto a sonda FDR proporcionou maior dispersão dos valores d médio = 0,67. Assim, foi possível observar que os teores de umidade do solo obtidos com o método da sonda FDR foram muito diferentes dos obtidos pelo método padrão da estufa.

Os coeficientes de correlação (r) estão próximos de 1 para as diferentes profundidades em ambos os métodos quando comparados ao padrão da estufa, indicando haver um bom grau de associação entre os métodos analisados. Verifica-se, ainda que o forno elétrico quando utilizado para determinação do teor de umidade do solo, evidenciou um maior índice de confiabilidade (c) com média de 88%, enquanto a sonda de capacitância demonstrou uma média de 62% de confiança, quando comparados ao método padrão da estufa.

Nota-se ainda que os dados obtidos com a sonda de capacitância proporcionaram maior estimativa do erro padrão (EEP) e raiz do erro quadrático médio (REQM), demonstrando que este método possui um maior erro para determinar os teores de umidade do solo quando comparado ao padrão da estufa e forno elétrico.

O método do forno elétrico foi mais eficiente na determinação do teor de umidade do solo, além de ter sido classificado como desempenho ótimo nas diferentes profundidades analisadas, enquanto a sonda FDR proporcionou baixa eficiência e desempenho mediano.

Buske et al. (2014) estudando a determinação da umidade do solo por diferentes fontes de aquecimento, constatou que o método do forno elétrico e do forno micro-ondas obtiveram coeficiente de determinação, índice de concordância de Wilmott, coeficiente de correlação, índice de confiança e desempenho dos métodos testados ótimos, com valores muito próximos de 1, afirmando assim, que a utilização destas metodologias os resultados obtidos são confiáveis e podem

ser uma alternativa em substituição ao uso do método padrão da estufa. Este resultado está de acordo com os obtidos no presente estudo quando se comparou o forno elétrico com o método padrão da estufa.

Para Silva et al. (2012) tais índices indicam a confiabilidade dos métodos utilizados na determinação do teor de umidade do solo nas diferentes profundidades. Contudo, é possível observar que em todas as profundidades os valores do teor de umidade do solo determinado pela sonda FDR subestimado os obtidos pelo método padrão.

## CONCLUSÕES

As correlações obtidas no método do forno elétrico em relação ao padrão da estufa foram altamente significativas nas diferentes profundidades analisadas, já os valores de umidade evidenciados pela sonda FDR não proporcionaram um bom ajustamento com os dados do método padrão.

O método do forno elétrico foi classificado como ótimo, enquanto a sonda de capacitância FDR proporcionou desempenho mediano para determinação do teor de umidade do solo, quando comparados ao método padrão da estufa.

O teor de umidade do solo determinado pelo forno elétrico é uma alternativa viável para o manejo da irrigação, por ser de baixo custo e menor tempo de obtenção dos resultados 0,5 horas quando comparado ao padrão da estufa de 24 a 48 h.

## AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pelo apoio financeiro ao projeto de pesquisa e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela concessão de Bolsas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALENCAR, L. P.; SEDIYAMA, G. C.; WANDERLEY, H. S.; ALMEIDA, T. S.; DELGADO, R. C. Avaliação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para três localidades no Norte de Minas Gerais. **Revista Engenharia na Agricultura**, v.19, n.5, p.437-449, 2011.
- ALLEN, J. P.; FEHER, G.; YEATES, T. O.; REES, D. C.; DEISENHOFER, J.; MICHEL, H.; HUBER, R. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the U.S.A.**, v.83, n.22, p.8589-8593, 1986.
- BEZERRA, R. P. M.; LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A. Formas de carbono em latossolo sob sistemas de plantio direto e integração lavoura-pecuária no Cerrado, Goiás. **Semina: Ciências Agrárias**, v.34, n.6, p.2637-2654, 2013.
- BIZARI, D. R.; MATSURA, E. E.; SOUZA, C. F.; ROQUE, M. W. Haste portátil para utilização de sondas de TDR em ensaios de campo. **Irriga**, v.16, n.1, p.31-41, 2011.
- BUESA PUEYO, I. **Determinación del estado hídrico del suelo mediante sondas FDR en vid CV. Moscatel de Alejandría regada por goteo**. Tese de Doutorado. Universitat Politècnica de València, 2013.
- BUSKE, T. C.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X.; TORRES, R. R.; ROSSO, R. B.; BRAGA, F. V. A. Determinação da umidade do solo por diferentes fontes de aquecimento. **Irriga**, v.19, n.2, p.315-324, 2014.
- CAMARGO, A. P. de; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.5, n.1, p.89-97, 1997.
- ELAIUY, M. L. C.; SATO, L. M.; VARALLO, A. C. T.; SOUZA, C. F. Desenvolvimento e avaliação de sonda TDR para o manejo racional de água em substratos utilizados na produção de mudas florestais. **Revista Ambiente & Água**, v.4, n.1, p.117-131, 2009.
- EMBRAPA. 2013. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA. 412p.
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. - 2. ed. rev. atual. - Rio de Janeiro: Embrapa, 1997. 212p.: (EMBRAPA-CNPS. Documentos; 1).
- GOMES, E. N.; ESCOBEDO, J. F.; FRISINA, V. A.; ANGELA, R. Modelos de estimativa da par global e difusa em função da radiação de ondas curtas e da transmissividade atmosférica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12., Foz de Iguaçu, 2002. **Anais...** Foz de Iguaçu, 2002.
- GONÇALVES, A. C. A.; TRINTINALHA, M. A.; FOLEGATTI, M. V.; REZENDE, R.; TORMENA, C. A. Spatial variability and temporal stability of water storage in a cultivated tropical soil. **Revista Bragantia**, v.69, suplemento, p.153-162, 2010.
- MIRANDA, E. P.; MARTINS, G. S.; CARMO, F. F.; LIMA, L. D. P.; SILVA, F. M. Uso do forno de microondas na determinação da umidade de um solo franco-siltoso. In: IV WINOTEC WORKSHOP INTERNACIONAL DE INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS NA IRRIGAÇÃO. Fortaleza, 2012. **Anais...**, Inovagri, Fortaleza, 2012.
- NUNES, M. S.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X.; BRAGA, F. V. A.; BRAGAGNOLO, J. Comparação de lâminas brutas obtidas por métodos via solo e demanda evaporativa para manejo da irrigação. **Tecnologia & Ciências Agropecuária**, v.9, n.1, p.39-43, 2015.

QUINTINO, A. C.; ANDRADE, P. J.; SILVA, T. J.; CANEPPELE, M. A.; ABREU, J. G. MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DE UMIDADE NOS SOLOS DE CERRADO. **Enciclopédia Biosfera**, v.11, n.22, p. 2202-2213, 2015.

RIVERA, R. N. C.; MIRANDA, J. H.; DUARTE, S. N.; BOTREL, T. A. Modelo aplicado à dinâmica da água e do potássio no solo sob irrigação por gotejamento - análise de sensibilidade. **Revista de Engenharia Agrícola**, v.28, n.3, p.448-459, 2008.

SCHNEIDER, P. R. **Análise de regressão aplicada à Engenharia Florestal**. Santa Maria: UFSM/CEPEF, 1998. 236p.

SCHWARTZ, R. C.; CASANOVA, J. J.; BELL, J. M.; EVETT, S. R. 2014. **A reevaluation of TDR propagation time determination in soils**. *Vadose Zone Journal*. 2014.

SILVA, B. M.; OLIVEIRA, G. C.; SERAFIM, M. E.; SILVA JÚNIOR, J. J.; COLOMBO, A.; LIMA, J. M. Acurácia e calibração de sonda de capacitância em Latossolo Vermelho cultivado com cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.2, p.277-286, 2012.

SOUZA, C. F.; PIRES, R. C. M.; MIRANDA, D. B.; VARALLO, A. C. T.; Calibração de sondas FDR e TDR para a estimativa da umidade em dois tipos de solo. **Irriga**, v.18, n.4, p.597-606, 2013.

SOUZA, C. F.; SILVA, C. R.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; COELHO, E. F. Monitoramento do teor de água no solo em tempo real com as técnicas de TDR e FDR. **Irriga**, Edição Especial, n.1, p.26-42, 2016.

VINHOLIS, M. M. B.; Souza, G. B.; Nogueira, A. R. A.; Primavesi, O. Uso do microondas doméstico para determinação de matéria seca e do teor de água em solos e plantas: avaliação econômica, social e ambiental. **Custos e Agronegócio**, v.4, n.2, p.80-97, 2008.

WILLMOTT, C. J.; ACKLESON, S. G.; DAVIS, R. E.; FEDDEMA, J. J.; KLINK, K. M.; LEGATES, D. R.; ROWE, C. M.; O'DONNELL, J. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, v.90, n.5, p.8995-9005, 1985.

ZACHARIAS, S.; HEATWOLE, C. D.; COAKLEY, C. W. Robust quantitative techniques for validating pesticide transport models. **Transactions of the ASAE**, v.39, n.1, p.47-54, 1996.