

CALIBRAÇÃO DE UM SENSOR DE UMIDADE DO SOLO DE BAIXO CUSTO

Flávio Henrique Ferreira Gomes¹, Fernando Nobre Cunha², Luiz Cesar Lopes Filho¹,
Vitor Marques Vidal³, Frederico Antonio Loureiro Soares⁴, Marconi Batista Teixeira⁵

RESUMO

Objetivou-se, com este trabalho a calibração de um sensor HL-69 (resistivo) de baixo custo para a determinação da umidade do solo. O experimento foi conduzido no Laboratório de irrigação e hidráulica do Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde. O solo coletado foi classificado como Latossolo Vermelho distroférrico, muito argiloso. Foram realizadas amostragens do solo, nas camadas de 0,00 a 0,10; 0,10 a 0,20 e 0,20 a 0,40 m, para a caracterização química (pH (CaCl₂), pH (H₂O), N total, matéria orgânica, P, Ca, Mg, K, H+Al; S, B, Cu, Fe, Mn e Zn). Para as determinações de solo, foram coletadas amostras de solo com estrutura indeformada, coletadas em anéis de Uhland de 6,34 cm de diâmetro e 5 cm de altura, e ainda, amostras deformadas, nas profundidades de 0 a 10, 10 a 20 e 20 a 40 cm, para determinações físicas do solo. Foi determinado o conteúdo de água no solo nas tensões de 1, 2, 4, 6, 8 e 10 kPa nos funis de placa porosa, 33, 66, 100, 500 e 1.500 kPa nos aparelhos extratores de Richards. Após realização das análises, a curva característica de água no solo foi obtida, ajustando-se o conteúdo de água no solo (θ) utilizando o programa RETEC v. 6.02. Foram calculados o erro máximo absoluto, erros de repetitividade, não-linearidade e histerese do instrumento. O sensor mostrou-se efetivo para a determinação da umidade do solo sendo necessário a calibração do mesmo para outros tipos de solo.

Palavras-chave: manejo de irrigação; água no solo; automação.

CALIBRATING A SENSOR OF SOIL HUMIDITY OF LOW COST

ABSTRACT

The objective of this work is calibration of an HL-69 sensor (resistive) low cost for the determination of soil moisture. The experiment was conducted in the laboratory of irrigation and hydraulic at the Federal Institute Goiano, Rio Verde Campus. The collected soil was classified as distroferic Red Latosol, clayey. Were performed Soil samples, the layers of 0.00-0.10; 0.10-

¹ Mestrando em Ciências Agrárias, IFGoiano Campus Rio Verde, e-mails: flaviohenriquefg@hotmail.com, lopesfilholuizcesar@gmail.com

² Doutorando em Ciências Agrárias, IFGoiano Campus Rio Verde, e-mail: fernandonobrecunha@hotmail.com

³ Doutor em Ciências Agrárias, IFGoiano Campus Rio Verde, e-mail: vmarquesvidal@gmail.com

⁴ Doutor em Engenharia Agrícola, Prof. IFGoiano Campus Rio Verde, e-mail: fredalsoares@hotmail.com

⁵ Doutor em Agronomia, Prof. do IFGoiano Campus Rio Verde, e-mail: marconibt@gmail.com

0.20 and 0.20-0.40 m, for the chemical characterization (pH (CaCl₂), pH (H₂O), N total, organic matter, P, Ca, Mg, K, H+Al; S, B, Cu, Fe, Mn and Zn). For soil measurements, were collected soil samples with undeformed structure collected in Uhland rings of 6.34 cm diameter and 5 cm height, and deformed samples at depths of 0 to 10, 10 to 20 and 20 to 40 cm for physical determinations soil. It was determined the water content of the soil in tension of 1, 2, 4, 6, 8 and 10 kPa in porous funnels, 33, 66, 100, 500 and 1500 kPa in the extractor apparatus Richards. Upon realization of the analysis, the characteristic curve of water in the soil was obtained, by adjusting the water content of the soil (θ) using RETEC v. 6.02 program. Were calculated the absolute maximum error, repeatability errors, no linearity and hysteresis of the instrument. The sensor was effective for the determination of soil moisture being needed to calibrate the same for other types of soil.

Keywords: irrigation management; soil water; automation.

INTRODUÇÃO

A umidade do solo é um dos elementos mais relevantes no controle dos processos hidrológicos, visto que exerce influência na geração do escoamento superficial, na evaporação do solo e na transpiração das plantas (ÁVILA et al., 2010).

A determinação da umidade do solo é essencial para estudos de movimento e disponibilidade de água no solo, sendo fundamental em várias situações na agricultura e é imperativa para definir o momento de operações mecanizadas e controlar o correto manejo da irrigação (BERNARDO et al., 2006; BUSKE et al., 2014).

Devido às dificuldades envolvidas na determinação direta da umidade do solo pelo método gravimétrico, geralmente utilizam-se métodos indiretos, em que a umidade é estimada a partir da medição de alguma propriedade do solo a ela relacionada (MIRANDA et al., 2007); deste modo, sensores de umidade são alternativas aos métodos tradicionais de quantificação do seu conteúdo de água, fornecendo leituras seguras, rápidas e em profundidade no perfil avaliado (SILVA et al., 2007)

É preciso tomar cuidado com essas determinações quanto a sua representatividade e suas aplicações práticas, por envolverem erros de amostragem ou serem realizadas com amostras que não representam a estrutura natural do solo (ARRUDA et al., 1987);

além disso, a umidade do solo apresenta uma variabilidade importante nos domínios espacial e temporal, que pode levar a incertezas críticas para o manejo agrícola da água (HU et al., 2008).

Os equipamentos utilizados para a estimativa indireta do teor de água do solo requerem calibrações locais, em condições de campo ou de laboratório, com a finalidade de incrementar a sua precisão nas medidas do parâmetro mencionado (CRUZ et al., 2010). Com isto, Objetivou-se com este trabalho a calibração de um sensor HL-69 (resistivo) de baixo custo para a determinação da umidade do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Hidráulica e Irrigação do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, GO, no, localizado na latitude 17°48'28"S e longitude 50°53'57"O, com altitude média de 720 m e relevo suave ondulado (6% de declividade). O clima da região foi classificado conforme Köppen (2013), como Aw (tropical), com precipitação nos meses de outubro a maio, e com seca nos meses de junho a setembro. A temperatura média anual varia de 20 a 35°C e as precipitações variam de 1.500 a 1.800 mm anuais. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho distroférrico (LVdf) de textura média (EMBRAPA, 2013).

**CALIBRAÇÃO DE UM SENSOR DE UMIDADE
DO SOLO DE BAIXO CUSTO**

Para as determinações de solo, foram coletadas amostras de solo com estrutura indeformada, coletadas em anéis de Uhland de 6,34 cm de diâmetro e 5 cm de altura, e ainda, amostras deformadas, nas profundidades de 0 a 10, 10 a 20 e 20 a 40 cm para as determinações físicas e análises químicas do solo.

A densidade do solo foi determinada utilizando o método do anel volumétrico conforme Embrapa (1997); a porosidade total (PT) foi obtida a partir dos valores da densidade do solo (Ds) e densidade de partículas (Dp), através da equação 1 (VOMOCIL, 1961):

$$PT = \frac{D_s}{D_p} \quad (1)$$

Na Tabela 1 estão descritas as características químicas do solo nas camadas de 0,00 a 0,10; 0,10 a 0,20 e 0,20 a 0,40 m.

Na Tabela 2 estão descritas as características físicas do solo nas camadas de 0,00 a 0,10; 0,10 a 0,20 e 0,20 a 0,40 m.

O teste de infiltração de água no solo foi realizado no mesmo local, onde foram

coletadas as amostras de solo com estrutura deformada e indeformada. A metodologia utilizada foi a do infiltrômetro de anéis concêntricos, de acordo com Bernardo (2006), constituído de um anel externo com 0,20 m de diâmetro e 0,40 m de altura e um anel interno com 0,10 m de diâmetro e 0,40 m de altura. O cilindro foi inserido no solo a uma profundidade de aproximadamente 0,20 m, com uma régua fixada na borda do cilindro interno, projetada até tocar a superfície do solo, para medir a lâmina de água.

Os tempos de cada leitura foram: 0, 1, 2, 5, 10, 15, e 30 min a iniciar do instante zero, e com repetições a cada 30 min até o tempo total de duração de cada teste de 210 min.

O teste foi realizado até que a taxa de infiltração, observada no anel interno, torna-se aproximadamente constante com o tempo. O critério adotado neste trabalho para condição de taxa de infiltração constante foi quando o valor de leitura da carga de água no cilindro interno se repetiu pelo menos três vezes.

A condutividade hidráulica do solo saturado (K_s) foi determinada através da seguinte equação (BERNARDO et al., 2006):

Tabela 1. Características químicas do solo.

Prof. ¹ m	N %	P mg dm ⁻³	K mg dm ⁻³	S mg dm ⁻³	Ca mg dm ⁻³	Mg mg dm ⁻³	Al mg dm ⁻³	H + Al mg dm ⁻³	pH CaCl ₂
0,0-0,1	0,08	1,50	111,0	2,0	1,80	0,80	0,00	3,40	5,20
0,1-0,2	0,10	2,70	72,00	3,40	2,10	0,80	0,00	4,00	5,20
0,2-0,4	0,13	1,80	87,00	2,00	1,40	0,60	0,00	3,30	5,40
Prof. ¹ m	Na %	Zn mg dm ⁻³	B mg dm ⁻³	Cu mg dm ⁻³	Fe mg dm ⁻³	Mn mg dm ⁻³	M.O. g dm ⁻³	CTC %	V
0,0-0,1	4,00	0,50	0,19	2,60	25,30	17,70	19,00	6,30	45,99
0,1-0,2	5,00	0,60	0,19	2,40	25,00	20,10	22,00	7,10	43,69
0,2-0,4	3,00	0,60	0,21	2,70	27,60	15,00	24,00	5,53	40,38

¹Prof - Profundidade; Extrator de P e K, Mehlich-1; M.O - Matéria Orgânica; CTC - Capacidade de troca de cátions; V - Porcentagem de saturação de bases.

Tabela 2. Granulometria, densidade do solo e porosidade total do solo.

Prof. m	Argila %	Silte %	Areia %	Ds g cm ⁻³	PT cm ³ cm ⁻³
0,0-0,1	40,05	15,02	44,93	1,27	0,55
0,1-0,2	42,71	18,34	38,95	1,27	0,54
0,2-0,4	39,25	17,02	43,73	1,28	0,51

¹Prof - Profundidade; Ds - densidade do solo; PT - porosidade total.

$$K_s = \frac{Q \times L}{A(L+h)} \quad (2)$$

em que: K_s - Condutividade hidráulica do solo saturada (cm h^{-1}); L - Profundidade do anel enterrado (cm); Q - vazão percolada através da amostra ($\text{cm}^3 \text{ h}^{-1}$); A - seção transversal da amostra (cm^2); h - carga hidráulica (cm).

Foi determinado o conteúdo de água no solo nas tensões de 1, 2, 4, 6, 8 e 10 kPa nos funis de placa porosa, 33, 66, 100, 500 e 1.500 kPa nos aparelhos extratores de Richards (EMBRAPA, 1997). Após realização das análises, a curva característica de água no solo foi obtida, ajustando-se o conteúdo de água no solo (θ) no eixo das ordenadas (escala decimal) em função da tensão de água no solo (ψ_m) correspondente ao eixo das abscissas (escala logarítmica), ajustando-se a equação de van Genuchten (1980) utilizando o programa RETEC v. 6.02 (van GENUCHTEN, 2009), conforme equação 3:

$$\theta = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{\left[1 + (\alpha \times |\psi_m|)^n\right]^m} \quad (3)$$

em que: θ - umidade volumétrica, $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$; θ_r - umidade volumétrica residual, $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$; θ_s - umidade volumétrica na saturação, $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$; m , n e α - parâmetros de ajuste. Com $m = 1 - 1/n$.

Para aferição da umidade do solo foi utilizado um sensor HL-69 (resistivo), tensão de funcionamento: 3.3V ~ 5V (analógica ou digital), chip de comparador LM393 (estável), painel PCB dimensão: 3 cm x 1,5 cm; sonda dimensão: 6 cm x 3 cm; interface de saída (0 e 1). Uma vez obtida a umidade do solo por intermédio do sensor HL-69 foram determinados o erro máximo absoluto, não-linearidade, histerese e o erro de repetitividade do sensor (WHEELER; GANJI, 1996; VELLAME et al., 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O solo (Latosolo Vermelho distroférico) utilizado apresenta uma

velocidade de infiltração básica de aproximadamente 190 mm h^{-1} e uma condutividade hidráulica do solo saturada de $1,85 \text{ cm h}^{-1}$. Silva et al. (2014), relatam que solos com baixa condutividade hidráulica do solo pode provocar alteração na infiltração e redistribuição de água. O fluxo de água no solo, saturado e não saturado, expresso pela condutividade hidráulica, depende da estrutura e do conteúdo de água no solo (GONÇALVES; LIBARDI, 2013).

O conteúdo de água do solo adequou-se a um modelo linear, com R^2 de 99,47, 98 e 97,66%, indicando que apenas 0,53, 2 e 2,34% do conteúdo de água do solo observado não são explicadas pela variação do conteúdo de água do solo estimado pela equação de van Genuchten (1980), na profundidade de 0 a 10, 10 a 20 e 20 a 40 cm, respectivamente (Figura 1). O modelo de ajuste proposto por van Genuchten (1980) tem sido adotado universalmente e permite relacionar, com alto poder de predição, a energia de retenção e disponibilidade hídrica (DEXTER, 2004). Carducci et al. (2011) modelando a retenção de água em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, Latossolo Vermelho distrófico e Latossolo Vermelho distroférico na região do Cerrado, também verificou este alto poder preditivo do modelo de van Genuchten.

A estimativa do conteúdo de água do solo em função do sinal do sensor ajustou-se a um modelo linear com R^2 acima de 97% (Figura 2); a relação linear entre umidade do solo e o valor do sensor também foi evidenciada por Miranda et al. (2007) e Borim e Pinto (2006).

O conteúdo de água do solo adequou-se a um modelo linear, com R^2 de 96,58, 97,91 e 94,71%, indicando que 3,42, 2,09 e 5,29% do conteúdo de água do solo observado não são explicadas pela variação do conteúdo de água do solo obtida pelo sensor na profundidade de 0 a 10, 10 a 20 e 20 a 40 cm, respectivamente (Figura 2B, D e F); quando comparado estes desvios, aos verificados quando utilizado a equação de van Genuchten (1980), estes se mostraram

CALIBRAÇÃO DE UM SENSOR DE UMIDADE DO SOLO DE BAIXO CUSTO

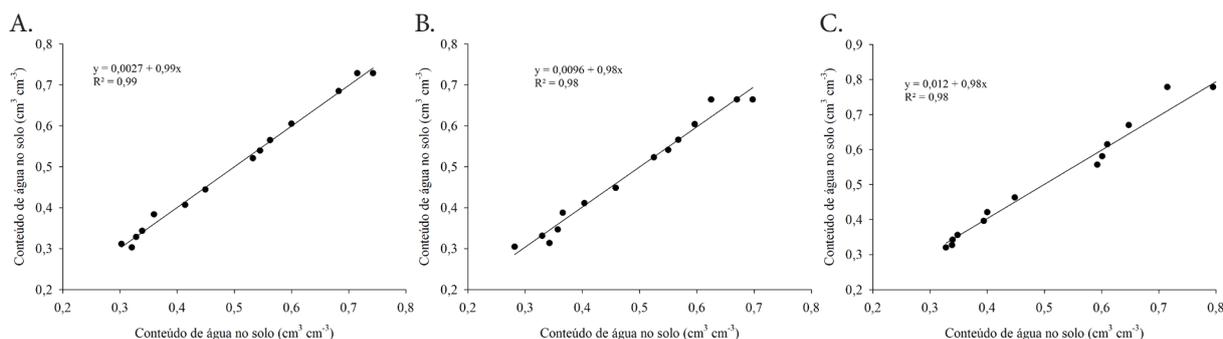


Figura 1. Conteúdo de água no solo observado em função do conteúdo de água no solo estimado pelo programa RETEC na profundidade de 0 a 10 cm (A), 10 a 20 cm (B) e 20 a 40 cm (C).

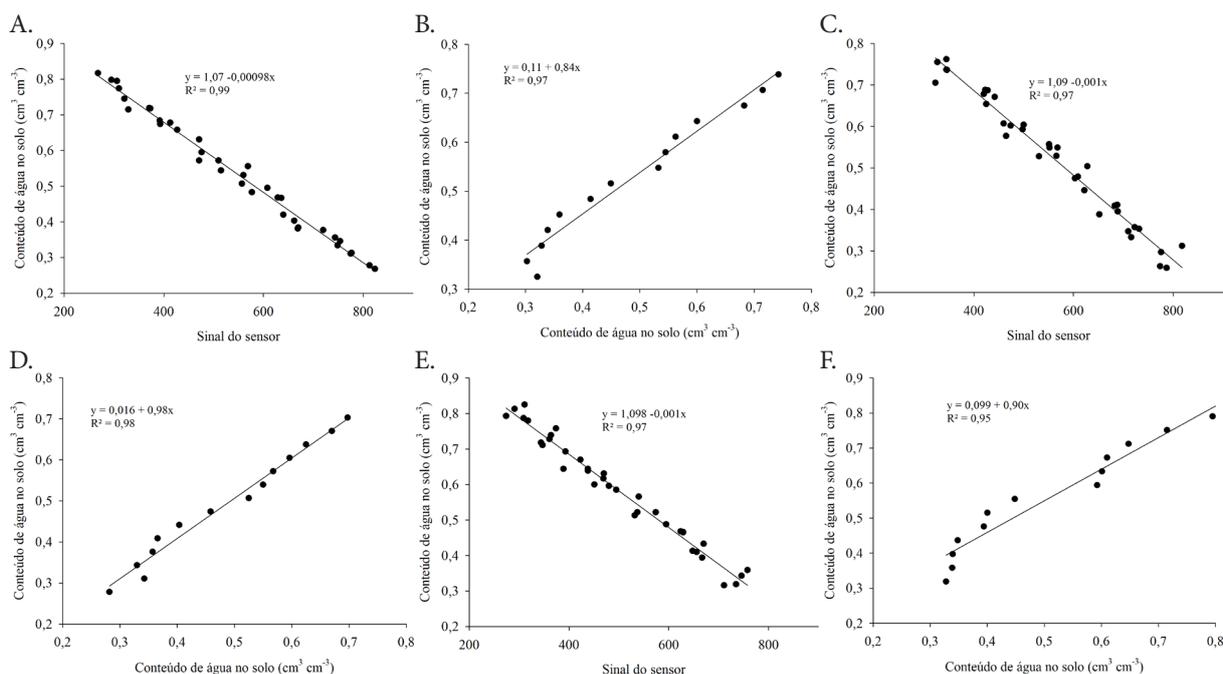


Figura 2. Conteúdo de água no solo observado em função do sinal do sensor e do conteúdo de água no solo (sensor) na profundidade de 0 a 10 cm (A e B), 10 a 20 cm (C e D) e 20 a 40 cm (E e F).

poucos superiores, indicando uma diferença máxima de 2,95%.

Carvalho et al. (2013) verificaram uma menor precisão, apesar de um coeficiente de determinação alto (99,96%) e significância estatística dos coeficientes da equação de regressão, também observaram um maior erro padrão, o que associaram ao pouco tempo disponibilizado para o intervalo entre os carregamentos e descarregamentos, devido alguns conjuntos apresentar maior dificuldade em estabilizar a leitura.

O erro máximo absoluto e o de não-linearidade foram os que apresentaram os maiores efeitos sobre a precisão do sensor (Tabela 3). Vilela et al. (2015) verificou que o erro de histerese, não linearidade,

repetitividade e o erro máximo absoluto oriundos no processo de calibração, não podem ser desconsiderados no processo de calibração, principalmente quando em relação aos desvios. Depois do erro máximo absoluto e o de não-linearidade os que mais influenciaram na precisão do equipamento foi a histerese seguido da repetitividade com erro médio de 3,5 e 2,8% respectivamente.

As variações verificadas no erro máximo absoluto, Histerese, Repetitividade - incerteza (95%), Repetitividade - desvio máximo, Não-linearidade no processo de calibração, em profundidade diferentes de maneira geral foram relativamente baixas, sendo verificado diferenças máximas nos erros entre as profundidades de 3,6% para

Tabela 3. Resumo de erros no processo de calibração do sensor.

Características	Erro (%)		
	0-10 cm	10-20 cm	20-40 cm
Erro máximo absoluto	5,7	2,3	5,9
Histerese	3,5	3,8	3,2
Repetitividade - incerteza (95%)	1,7	1,2	1,9
Repetitividade - desvio máximo	3,2	1,8	3,4
Não-linearidade	9,9	2,7	10,5

o erro máximo absoluto, de 0,6% para a Histerese, de 0,7% para a Repetitividade - incerteza (95%), de 1,6% para a Repetitividade - desvio máximo e de 7,8% para a Não-linearidade. Faria et al. (2006) verificaram que a linearidade entre as variações de massa e voltagem foi excelente, não constataram histerese e baixos valores de erro absoluto, comprovando assim a alta precisão para determinação de variações de massa de água.

CONCLUSÕES

O sensor mostrou-se efetivo para a determinação da umidade do solo sendo necessário a calibração do mesmo para outros tipos de solo.

O sensor por ter uma área de contato pequena, precisa de um maior número de avaliações e/ou de sensores ao longo do perfil do solo para melhor representatividade da umidade do solo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG) e ao Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde, pelo apoio financeiro e estrutural.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARRUDA, F.B.; ZULLO JÚNIOR, J.; OLIVEIRA, J.B. Parâmetros de solo para

o cálculo da água disponível com base na textura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.11, n.1, p.11-15, 1987.

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

BERNARDO, S. SOARES. MANTOVANI. **Manual de Irrigação**. 8. ed. Viçosa: UFV, 2006, 625p.

BORIM, A. C. A.; PINTO, C. A. R. Medição de umidade do solo através de sensores capacitivos. **Revista de Ciências Exatas e Tecnologia**, v.1, n.1, p.51-60, 2006.

BUSKE, T. C.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X.; TORRES, R. R.; ROSSO, R. B.; BRAGA, F. de V. A. Determinação da umidade do solo por diferentes fontes de aquecimento. **Irriga**, v. 19, n.2, p.315-324, 2014.

CARDUCCI, C. E.; OLIVEIRA, G. C. de; SEVERIANO, E. da C.; ZEVIANI, W. M. Modelagem da curva de retenção de água de Latossolos utilizando a equação duplo Van Genuchten. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n.1, p.77-86, 2011.

CARVALHO, H. P.; MELO, B.; ATARASSI, R. T.; CAMARGO, R.; SILVA, C. R.; MORAES, M. R. B. Desenvolvimento de lisímetros de pesagem na cultura do café. **Bioscience Journal**, v.29, n.6, p.1750-1760, 2013.

**CALIBRAÇÃO DE UM SENSOR DE UMIDADE
DO SOLO DE BAIXO CUSTO**

- CRUZ, T.M.L.; TEIXEIRA, A dos S.; CANAFÍSTULA, F.J.F.; SANTOS C.C. dos; OLIVEIRA, A.D.S. de; DAHER, S. Avaliação de sensor capacitivo para o monitoramento do teor de água do solo. **Engenharia Agrícola**, v.30, n.1, p.33-45, 2010.
- DEXTER, A.R. Soil physical quality Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, v.120, n.3-4, p.201-214, 2004.
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do abastecimento, 1997. 212p.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Informação Tecnológica, 2013. 353 p.
- FARIA, R. T.; CAMPECHE, F. S. M.; CHIBANA, E. Y. Construção e calibração de lisímetros de alta precisão. Campina Grande, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.1, p.237-242, 2006.
- GONÇALVES, A. D. M. A.; LIBARDI, P. L. Análise da determinação da condutividade hidráulica no solo pelo método do perfil instantâneo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, n.5, p.1174-1184, 2013.
- HU, W.; SHAO, M. A.; WANG, Q. J.; e REICHARDT, K. Soil water content temporal spatial variability of the surface layer of a Loess Plateau hillside in China. **Scientia Agrícola**, v.65, n.3, p.277-289. 2008.
- KÖPPEN, W. **Köppen climate classification**. Geography about. (2013). Disponível em: <<http://geography.about.com/library/weekly/aa011700b.htm>>. Acessado em: 2 Janeiro. 2017.
- MIRANDA, F.R. de; SANTANA, M.G.S. de; SOUZA, C.C.M. de; OLIVEIRA, C.H.C. de. Calibração do sensor dielétrico ECH₂O em dois tipos de solo. **Revista Ciência Agrônômica**, v.38, n.3, p.317-321, 2007.
- SILVA, C. R. da; ANDRADE JÚNIOR, A.S. de; ALVES JÚNIOR, J.; SOUZA, A. B. de; MELO F. B.; COELHO FILHO, M. A. Calibration of a capacitance probe in a Paleudult. **Scientia Agrícola**, v.64, n.6, p.636-640, 2007.
- SILVA, N. F.; CUNHA, F. N.; OLIVEIRA, R. C.; CABRAL FILHO, F. R.; TEIXEIRA, M. B.; CARVALHO, J. J. Características físico-hídricas de um Latossolo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.8, n.5, p.375-390, 2014.
- van GENUCHTEN M.T.; LEIJ, F. J.; YATES, S. R. **RETEC, Code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils: version 6.02**. Riverside: University of California, 2009.
- van GENUCHTEN, M.T. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.44, n.5, p.892-898, 1980.
- VELLAME, L. M.; COELHO FILHO, M. A.; PAZ, V. P. S.; COELHO, E. F. Gradientes térmicos naturais na estimativa do fluxo de seiva pelo método Granier. **Revista Caatinga**, v.24, n.1, p.116-122, 2011.
- VILELA, M. da S.; CABRAL FILHO, F. R.; TEIXEIRA, M. B.; AMARAL, A. M.; VELLAME, L. M.; SOARES, F. A. L. Acurácia de um mini-lisímetro de pesagem eletrônica de baixo custo. **Irriga**, Edição Especial, IRRIGA & INOVAGRI, p.158-167, 2015.

VOMOCIL, J.A.; FLOKER, W.J. Effect of soil compaction on storage and movement of soil, air and water. **Transactions of the ASAE**, v.4, n.2, p.242-246, 1961.

WHEELER, A. J.; GANJI, A. R. **Introduction to engineering experimentation**. New Jersey: Prentice Hall. 1996. 415p.