

DESENVOLVIMENTO DE UM TENSÍOMETRO DIGITAL COM SISTEMA DE AQUISIÇÃO E ARMAZENAMENTO DE DADOS

LUIZ EDUARDO VIEIRA DE ARRUDA¹; VLADIMIR BATISTA FIGUEIRÊDO²;
SÉRGIO LUIZ AGUILAR LEVIEN³ E JOSÉ FRANCISMAR DE MEDEIROS⁴

¹Mestre, Doutorando do Programa de Pós Graduação em Manejo de Solo e Água (PPGMSA), bolsista da CAPES; Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA); Av. Francisco Mota, 572; Bairro Costa e Silva; 59.625-900, Mossoró/RN; e-mail: luizengeaa@hotmail.com

²Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas (DCAT), UFERSA, Av. Francisco Mota, 572; Bairro Costa e Silva; 59.625-900, Mossoró, RN; e-mail: vladimir@ufersa.edu.br; sergiolevien@ufersa.edu.br; jfmedeir@ufersa.edu.br

1 RESUMO

Para um bom manejo da água na agricultura faz-se necessário a utilização de instrumentos que auxiliem o agricultor na tomada de decisão, indicando quanto e quando se deve aplicar água às culturas. Em face do exposto, notou-se a necessidade do desenvolvimento de um tensiômetro com sistema de aquisição e armazenamento de dados de forma contínua a baixo custo. O modelo proposto é composto por: cápsula porosa (25 x 11 mm), hastes de acrílico transparente com diâmetros de 12 e 15 mm, tampa de borracha siliconada, mangueira plástica transparente, mangueira de borracha e transdutores de tensão modelo Motorola® MPX 5100AP. Para a construção do sistema de aquisição dos dados foi utilizado uma placa Arduino® modelo MEGA 2560, três capacitores, placa fenolítica, bornes, jumpers, cabo quatro vias, RTC (Real Time Clock) modelo DS1307, display de cristal líquido (16 x 2), módulo de cartão de memória SD card, fonte de computador bivolt para alimentação de todo sistema com tensão de 12 Vcc e caixa plástica para acondicionamento dos circuitos. Como resultado da calibração do transdutor de tensão obteve-se uma equação com R² igual a 0,9996, apresentando ótimo ajuste de acordo com o valor obtido.

Palavras-chave: Arduino, transdutor de tensão, tensão de água no solo

ARRUDA, L. E. V.; FIGUEIRÊDO, V. B.; LEVIEN, S. L. A.; MEDEIROS, J. F.
DEVELOPMENT OF A DIGITAL SOIL TENSIO METER WITH A SYSTEM
FOR INPUTTING AND STORING DATA

2 ABSTRACT

In order to have a good water management in agricultural processes, it is necessary to use instruments that will assist the farmer in the decision-making processes, indicating how much and when to apply water to the crops. Considering the aforementioned, it was noted the demand of development of a tensiometer in conjunction with a data storage and input system, inputting and storing data continuously and at low cost. The proposed model consists of a porous capsule (25 x 11 mm), clear acrylic tube with diameters of 12 and 15 mm, a silicone

rubber cap, a clear plastic hose, a rubber hose and voltage transducers Motorola® MPX5100AP model. In order to create the data system used an Arduino® platform model MEGA 2560, three capacitors, a phenolic sheet, terminals, jumpers, a four-way cable, a Real Time Clock (RTC) model DS1307, a liquid crystal display (16 x 2), a Micro SD memory card module, a dual voltage computer to supply power to the whole system using 12 Vcc voltage and plastic housing to store the circuit. The voltage transducer calibration resulted in an equation meaning that R^2 is equal to 0.9996, thus presenting an optimal adjustment according to the obtained value.

Keywords: Arduino, voltage transducer, soil water tension

3 INTRODUÇÃO

Para o manejo apropriado de um sistema de produção agrícola faz-se necessário que se adote práticas de uso racional do solo, da cultura, e do componente água no solo, sendo este o fator principal para o pleno desenvolvimento da produção agrícola (BRITO et al., 2014). Para isso é necessário à utilização de instrumentos que auxiliem não só os pesquisadores, mas também o agricultor na tomada de decisão de quanto e quando irrigar.

Com este intuito Livingston (1908) desenvolveu o tensiômetro, o qual ainda é bastante utilizado nos tempos atuais, principalmente por ser de fácil manuseio (OR, 2001; OR; WRAITH, 2002). O mesmo consiste basicamente de uma cápsula porosa, geralmente de cerâmica, conectada a um tubo completamente cheio de água monitorada através de manômetro ou coluna de mercúrio (REICHARDT; TIMM, 2004) ou transdutor de tensão (TEIXEIRA; COELHO, 2005).

Quando a cápsula porosa do tensiômetro entra em contato com o solo não saturado, este succiona água do interior do tensiômetro, provocando uma queda de pressão ou um aumento da tensão dentro do sistema. Esta tensão pode ser medida pelo manômetro utilizado e, através da curva de retenção de água no solo, determina-se a umidade atual do solo (CAMARGO; GROHMANN; CAMARGO, 1982).

Uma das limitações do tensiômetro é a faixa de funcionamento deste, que pode chegar até cerca de -0,085 MPa (BRITO et al. 2009). No entanto, para a maioria dos solos cultivados, a faixa de interesse varia de 0 a -0,1 MPa. Portanto, o tensiômetro mostra-se um excelente instrumento de campo para o monitoramento da água no solo durante o ciclo de desenvolvimento da cultura (REICHARDT, 1990), auxiliando no cálculo do balanço de água no solo e no manejo da irrigação.

Os tensiômetros convencionais utilizavam colunas de mercúrio para aquisição das leituras, porém, os mesmos podem apresentar diversas desvantagens se não forem adequadamente manuseados, como danos à saúde de quem o manipula e risco de poluição ambiental (BRITO et al., 2009). Logo, adaptaram-se outros sistemas para coleta de dados, sendo eles o vacuômetro de Bourdon, desenvolvido por Eugene Bourdon (ÇENGEL; BOLES, 2006), e o tensímetro digital, proposto por Marthaler et al. (1983). O vacuômetro de Bourdon consiste em um dispositivo mecânico que informa o valor da tensão através de sinal analógico, enquanto o tensímetro digital utiliza um transdutor de pressão como elemento sensível, para transmitir um sinal correspondente à tensão no interior do tensiômetro (BRITO et al., 2009).

O tensiômetro convencional é um instrumento bastante simples e de custo relativamente barato quando comparado a outros instrumentos de medição indireta do

potencial matricial do solo, como sondas capacitivas, Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR) e sonda de nêutrons (MORAES et al., 2006), porém não são capazes de realizar e armazenar leituras ao longo do tempo.

Daí a importância da utilização de tensiômetros que sejam capazes de coletar e armazenar dados ao longo do tempo, evitando que o agricultor precise estar se deslocando até o equipamento para obtenção das leituras, o que torna trabalho árduo e oneroso. Além disso, apresenta vantagem sobre tensiômetros que utilizam tensímetro digital para realizar as leituras, pois como não há praticamente contato com o tensiômetro, também não existe o perigo de deslocá-lo, o que modificaria seu contato com o solo após a instalação.

Em face do exposto, notou-se a necessidade do desenvolvimento de um tensiômetro com sistema de aquisição e armazenamento de dados de forma contínua a baixo custo.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Desenvolvimento do tensiômetro

O tensiômetro proposto possui dimensões menores do que o convencional, devido à necessidade de determinações de tensões pontuais, fornecendo assim maior precisão, principalmente para uso em laboratório. O modelo proposto é composto por: cápsula porosa (25 x 11 mm), hastes de acrílico transparente com diâmetros de 12 e 15 mm, tampa de borracha siliconada, mangueira plástica transparente, mangueira de borracha e transdutores de tensão modelo Motorola® MPX 5100AP, conforme Figura 1.

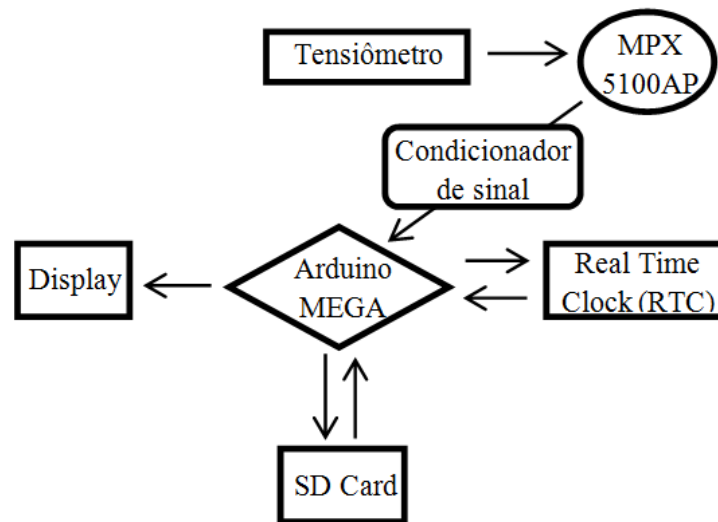
Figura 1. Layout do tensiômetro digital: 1) tampa de borracha siliconada; 2) tubo de acrílico transparente, 15 mm; 3) tubo de acrílico transparente, 12 mm; 4) cápsula porosa; 5) mangueira plástica transparente; 6) conector de borracha; e 7) transdutor de tensão



A automação foi necessária para que fosse possível obter uma maior quantidade de dados em tempo reduzido, sendo possível uma melhor compreensão da dinâmica da água no solo.

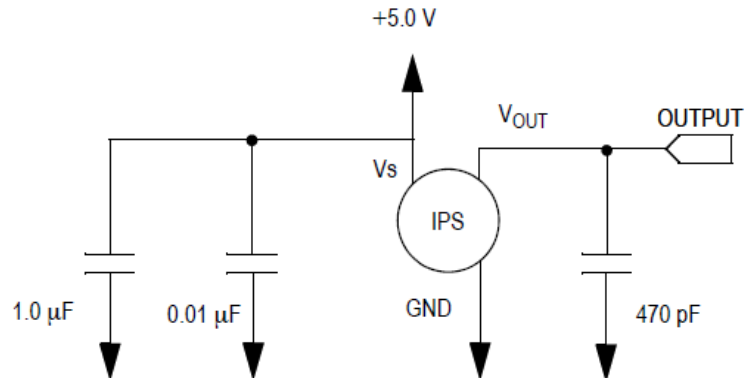
Para a construção do sistema de aquisição dos dados foi utilizado uma placa Arduino® modelo MEGA 2560, três capacitores para condicionar o sinal do sensor e acoplamento/desacoplamento da alimentação destes, sendo dois capacitores cerâmicos e um eletrolítico, placa fenolítica (10 x 20 cm), bornes, jumpers, cabo quatro vias, RTC (Real Time Clock - utilizado para fazer a contagem do tempo) modelo DS1307 com bateria de lítio CR2032, display de cristal líquido (16 x 2), módulo de cartão de memória SD card para armazenamento dos dados, fonte de computador bivolt para alimentação de todo o sistema com a tensão de 12 Vcc e caixa plástica para acondicionamento dos circuitos (Figura 2).

Figura 2. Esquema representativo do sistema de aquisição de dados



É mostrado na Figura 3 o diagrama do circuito de alimentação e condicionamento do sinal do sensor, recomendado para a interface do sensor integrado a entrada A/D de um microprocessador ou microcontrolador. O acoplamento/desacoplamento da alimentação é realizado pelos capacitores de cerâmica de 1 μF e 0,01 μF , e a filtragem dos dados com o capacitor de 470 pF.

Figura 3. Fornecimento de alimentação, dissociação e filtragem de saída recomendados pelo fabricante do transdutor de tensão



Na Figura 4 são apresentadas as especificações do transdutor de tensão, e dentre as informações pode-se verificar a acurácia de 2,5% do fundo de escala médio de 4,5 V. Como a sensibilidade é de 45 mV/kPa, podemos esperar uma variação de leitura, em média, de 2,5 kPa acima ou abaixo da real.

Figura 4. Características operacionais do transdutor de tensão MPX 5100AP

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Pressure Range ⁽¹⁾ Gauge, Differential: MPX5100D/MPX5100G/MPXV5100G Absolute: MPX5100A	P _{OP}	0 15	— —	100 115	kPa
Supply Voltage ⁽²⁾	V _S	4.75	5.0	5.25	V _{DC}
Supply Current	I _O	—	7.0	10	mA _{DC}
Minimum Pressure Offset ⁽³⁾ @ V _S = 5.0 V	V _{OFF}	0.088	0.20	0.313	V _{DC}
Full Scale Output ⁽⁴⁾ @ V _S = 5.0 V	V _{FSO}	4.587	4.700	4.813	V _{DC}
Full Scale Span ⁽⁵⁾ @ V _S = 5.0 V	V _{FSS}	—	4.500	—	V _{DC}
Accuracy ⁽⁶⁾	—	—	—	±2.5	%V _{FSS}
Sensitivity	V/P	—	45	—	mV/kPa
Response Time ⁽⁷⁾	t _R	—	1.0	—	ms
Output Source Current at Full Scale Output	I _{O+}	—	0.1	—	mA _{DC}
Warm-Up Time ⁽⁸⁾	—	—	20	—	ms
Offset Stability ⁽⁹⁾	—	—	±0.5	—	%V _{FSS}

Fonte: Catálogo do fabricante

A programação foi realizada num ambiente do Arduino chamado Sketch, a qual é uma plataforma “Open Source” em linguagem de programação C. No programa descrito, os dados foram armazenados em diferentes arquivos para cada sensor, evitando a perda de dados de sensor para sensor na leitura. A gravação dos dados foi realizada em intervalos de 25 segundos. Como o display usado é de apenas duas linhas as leituras dos sensores são apresentadas uma após a outra.

4.2 Calibração do transdutor de tensão

Para a construção do sistema de calibração do transdutor de tensão foi utilizada uma mangueira transparente flexível com comprimento de 5 m e diâmetro de 1,25 cm, fita métrica, fita adesiva, adesivo plástico transparente e um tensiômetro de 2 m de altura com cápsula de borracha, conectado à mangueira transparente, para a determinação das sucções com mangueira flexionada no sistema em “U” por diferenças de altura. Foram aplicadas diferentes alturas na mangueira (diferentes alturas manométricas) e feitas as devidas leituras no transdutor de tensão. Posteriormente, foi realizada uma análise de regressão, para determinação da equação de calibração linear do tipo:

$$T = a \cdot \text{count} + b$$

(1)

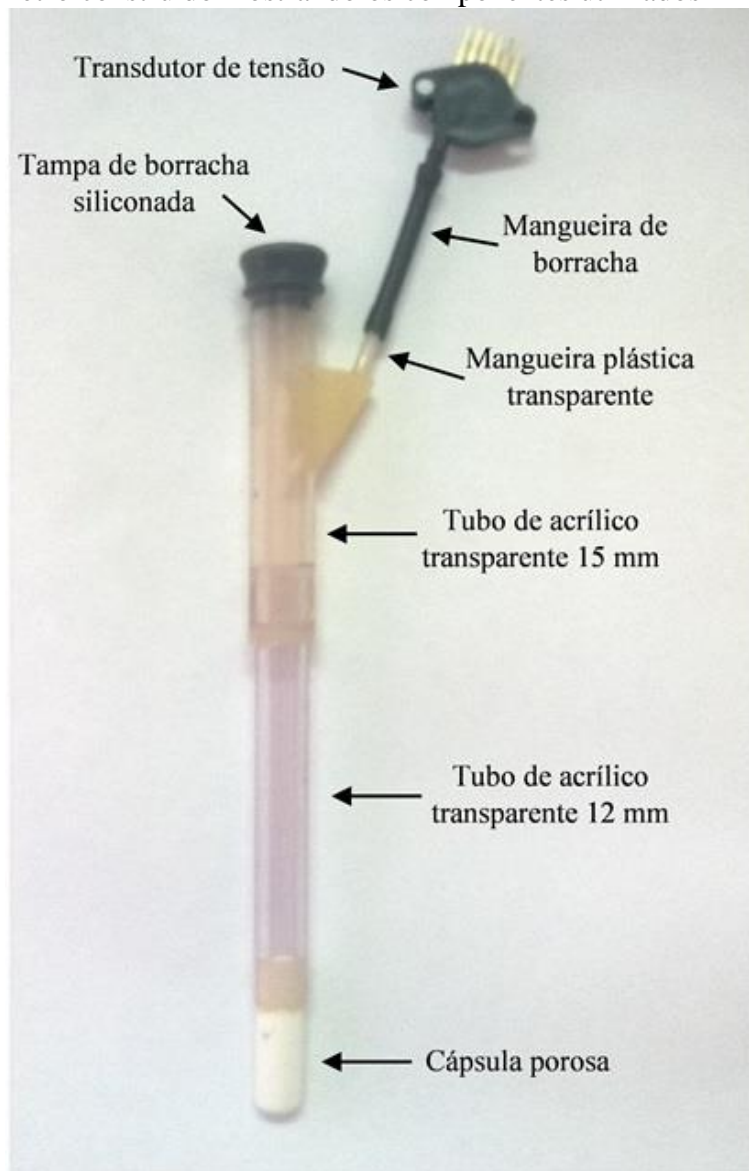
em que, T é o valor da tensão, em cm; count é o valor medido no transdutor de tensão, em bits por mV do sinal analógico do sensor; e a e b são parâmetros empíricos da equação de ajuste.

Os resultados obtidos foram comparados utilizando o índice de determinação (R^2).

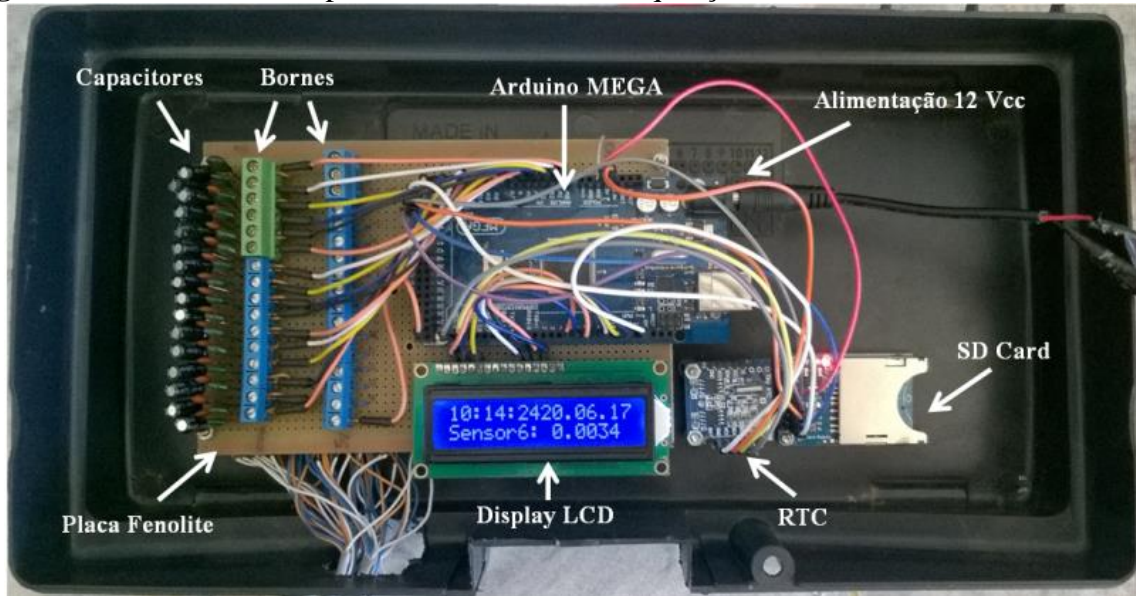
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 5 é apresentado o tensiômetro construído, constando de todos os componentes propostos no projeto.

Figura 5. Tensiômetro construído mostrando os componentes utilizados



No sistema de aquisição de dados construído, para leitura de 16 tensiômetros simultaneamente (Figura 6), é possível observar todos os componentes do circuito desenvolvido para aquisição e armazenamento das leituras de tensão de água no solo.

Figura 6. Detalhes dos componentes do circuito de aquisição de dados dos tensiômetros

Como resultado da calibração do transdutor de tensão foi obtido a seguinte equação:

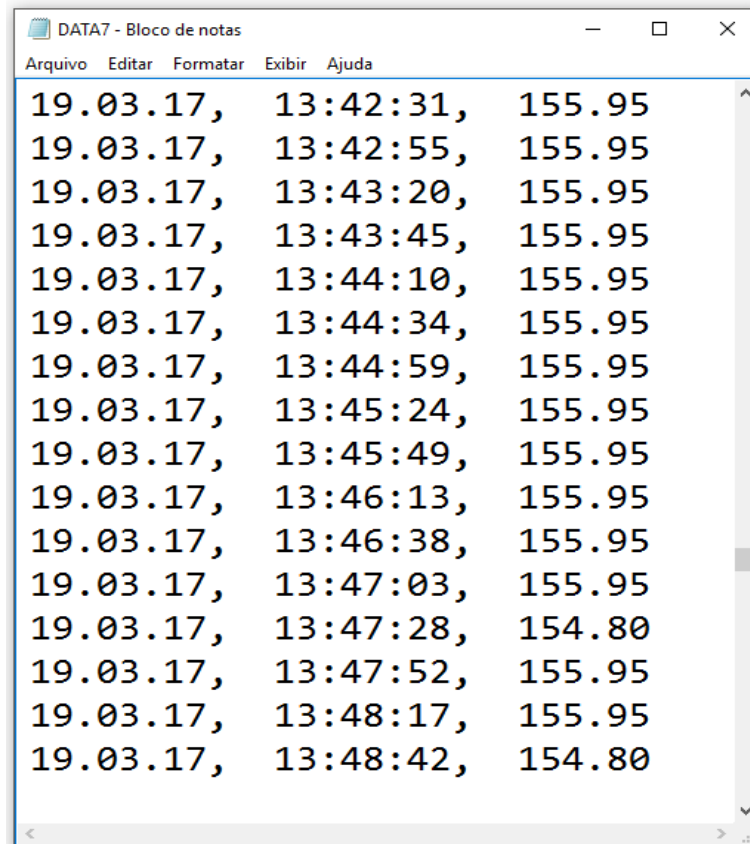
$$T = -1,1504 \cdot \text{count} + 954,33$$

(2)

com R^2 igual a 0,9996, apresentando ótimo ajuste de acordo com o valor obtido.

Os dados gerados no equipamento (Figura 7) são registrados e armazenados no formato de texto (.txt), apresentando para cada sensor o registro DATA seguido do número do sensor correspondente (por exemplo: DATA7; o qual corresponde aos dados do sensor 7). Cada arquivo gerado apresenta três colunas, sendo a primeira referente à data (dd.mm.aa), a segunda à hora do registro da leitura (hh:mm:ss) e a terceira correspondendo ao valor da tensão lido pelo sensor em cm. Os dados podem ser utilizados em planilhas e editores de texto com a devida conversão.

Figura 7. Resultados dos dados armazenados de um tensiômetro: data, hora e valor das tensões de água no solo, respectivamente



Data	Hora	Valor
19.03.17,	13:42:31,	155.95
19.03.17,	13:42:55,	155.95
19.03.17,	13:43:20,	155.95
19.03.17,	13:43:45,	155.95
19.03.17,	13:44:10,	155.95
19.03.17,	13:44:34,	155.95
19.03.17,	13:44:59,	155.95
19.03.17,	13:45:24,	155.95
19.03.17,	13:45:49,	155.95
19.03.17,	13:46:13,	155.95
19.03.17,	13:46:38,	155.95
19.03.17,	13:47:03,	155.95
19.03.17,	13:47:28,	154.80
19.03.17,	13:47:52,	155.95
19.03.17,	13:48:17,	155.95
19.03.17,	13:48:42,	154.80

O tensiômetro eletrônico proposto apresentou bons resultados em ambiente controlado, onde se observou um coeficiente de variação de 1,25% para os dados coletados, de um tensiômetro, em intervalo de uma hora de leituras. Logo, este sistema apresenta como vantagens, possibilidade de leitura e armazenamento de dados de até 16 tensiômetros simultaneamente; maior precisão nos dados coletados ao longo do tempo; auxílio ao agricultor na tomada de decisão quanto ao manejo da irrigação; e possibilidade de automação do sistema de irrigação.

6 CONCLUSÕES

A equação de calibração do transdutor de tensão apresentou R^2 igual a 0,9996.

O tensiômetro digital proposto apresentou bons resultados em ambiente controlado.

7 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro do Projeto CNPq/Casadinho-Procad processo 552317/2011-0, para a execução deste trabalho. Agradecem, também, a CAPES a concessão da bolsa de Doutorado do primeiro autor.

8 REFERÊNCIAS

BRITO, A. S.; LIBARDI, P. L.; MOTA, J. C. A.; KLEIN, V. A. Variação diurno-noturna do potencial mátrico e gradiente de potencial total da água no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 1, p. 128-134, 2014.

BRITO, A. S.; LIBARDI, P. L.; MOTA, J. C. A.; MORAES, S. O. Desempenho do tensiômetro com diferentes sistemas de leitura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 17-24, 2009.

CAMARGO, A. P.; GROHMANN, F.; CAMARGO, M. B. P. Tensiômetro simples de leitura direta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 17, n. 12, p. 1763-72, 1982.

ÇENGEL, Y. A.; BOLES, M. A. **Termodinâmica**. 5.ed. São Paulo, McGraw-Hill, 2006. 740p.

LIVINGSTON, B. E. A method for controlling plant moisture, **The Plant World**, Tucson, v. 11, n. 2, p.39-40, 1908.

MARTHALER, H. P.; VOGELSANGER, W.; RICHARD, F.; WIERENGA, P. J. A pressure transducer for field tensiometers. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 47, n. 4, p. 624-627, 1983.

MORAES, N. B.; MEDEIROS, J. F.; LEVIEN, S. L. A.; OLIVEIRA, A. M. S. Avaliação de cápsulas de cerâmica e instrumentos de medida de tensão usados em tensiômetros. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 58-63, 2006.

OR, D. Who invented the tensiometer? **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 65, n. 1, p. 1-3, 2001.

OR, D.; WRAITH, J. M. Soil water content and water potential relationships. In.: WARRICK, A. W. (ed). **Soil physics companion**. New York: CRC Press, 2002. p. 49-84.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. Barueri: Editora Manole Ltda, 1990. 188p.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Barueri: Editora Manole Ltda, 2004. 478p.

TEIXEIRA, A. S.; COELHO, S. L. Desenvolvimento e calibração de um tensiômetro eletrônico de leitura automática. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 367-376, 2005.