



Avaliação de cápsulas de cerâmica e instrumentos de medida de tensão usados em tensiômetros¹

Neuzo B. de Moraes², José F. de Medeiros³, Sérgio L. A. Levien³ & Alison M. de S. Oliveira⁴

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência de cápsulas de cerâmica procedentes do Estado do Ceará e dos Estados Unidos e testar o desempenho do transdutor de pressão acoplado a um tensiômetro de câmara de ar em condições de campo, em duas profundidades diferentes, na quantificação do potencial matricial da água no solo, em comparação com tensiômetros de manômetro de mercúrio. O trabalho de campo foi realizado em Mossoró, RN, utilizando o delineamento experimental de blocos ao acaso, com repetições, no esquema fatorial $2 \times 2 \times 2$, sendo eles: procedência das cápsulas; medidor de tensão e profundidades. Realizaram-se medidas pelo período de 40 dias consecutivos e se verificou que nos testes de campo a origem das cápsulas proporcionou iguais valores de tensão, embora as cápsulas do Ceará apresentassem condutância maior que as dos Estados Unidos. Os valores de tensão, obtidos pelos instrumentos de medidas de tensão, apresentaram diferença estatística, embora a diferença esteja dentro da precisão (1,0 kPa). Existe alta correlação ($R^2 = 0,93$) entre as tensões obtidas com os dois instrumentos de medida de tensão.

Palavras-chave: medidor de tensão, tensiômetros, manejo da irrigação

Evaluation of ceramic capsules and instruments of tension measurement used in tensiometers

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the efficiency of ceramic capsules from the State of Ceara, Brazil, and from the United States, as well as, to test the performance of the pressure transducer coupled in the air chamber tensiometer in field conditions, in two different depths, in the quantification of the matricial potential of the water in the soil, in comparison with those of the conventional tensiometers (mercury manometer). The field work was accomplished in Mossoró, in the State of Rio Grande do Norte, Brazil, using a $2 \times 2 \times 2$ experimental design in completely randomized blocks the factor being: origin of the capsules; tension measurement and depths. Measurements were accomplished in a period of 40 consecutive days. It was verified that in the field tests the origin of the capsules provided same tension values, although the capsules from Ceara state presented higher conductance than the ones from USA. The tension values obtained by the instruments of tension measurements differed statistically, although the difference was within the precision (1.0 kPa). A high correlation exists among the tensions obtained by the two instruments of tension measurement.

Key words: tension measure, tensiometers, irrigation management

¹ Trabalho extraído da monografia de graduação do primeiro autor, apresentada ao Departamento de Engenharia Agrícola da ESAM, Mossoró, RN

² Departamento de Engenharia Agrícola, UFC, Bloco 804, Campus do Pici, CEP 60450-760, Fortaleza, CE; e-mail: nbmoraes@hotmail.com

³ Departamento de Ciências Ambientais, ESAM, BR 110, km 47, Bairro Costa e Silva, CEP 59625-900, Mossoró/RN, e-mail: jfmedeir@esam.br; slevien@esam.br

⁴ Israteg Mossoró, Av. Presidente Dutra, 1595, Alto de São Manoel, CEP 59625-000, Mossoró, RN, e-mail: campo_irrigacao@uol.com.br

INTRODUÇÃO

Em agricultura irrigada, uma das atividades que necessitam ser melhor manejadas, é a irrigação, que pode ser monitorada medindo-se a umidade do solo que, por sua vez, pode ser medida diretamente por pesagem e, indiretamente, através de tensiômetros, placas de pressão e psicômetros termopares e moderação de nêutrons, além de outros métodos. Segundo Klar (1991) e Libardi (1999) os métodos existentes para se determinar o potencial matricial da água do solo apresentam algumas limitações: ou são de precisão, ou dispendiosos, ou morosos ou, ainda, trabalhosos.

O conhecimento do “status” da água no solo é de importância primordial, uma vez que é permitido um manejo correto desse fator de produção agrícola em áreas irrigadas, isto é, propicia a estimativa do momento e da quantidade de água que deve ser fornecida ao solo para a manutenção do cultivo sob condições hídricas adequadas, na busca da maximização da produtividade. Para Reichardt & Timm (2004), mesmo com algumas limitações, o tensiômetro é um ótimo instrumento de campo para indicar quando irrigar porque, para a maioria dos solos, maior quantidade de água é retida entre os potenciais de 0 e -100 kPa que entre -100 e -1500 kPa. De fato, ele tem sido extensivamente usado por permitir uma medida direta do “status” de energia da água contida no solo, sendo o estado energético da água (potencial total) que determina o seu movimento no solo e sua disponibilidade para as plantas.

As características externas do tensiômetro mudaram muito pouco com o passar do tempo, mesmo que algumas modificações tenham permitido utilizá-lo numa faixa mais ampla de locais e a confiabilidade em suas respostas, simplificado as observações e facilitado os procedimentos de instalação e manuseio e, ainda, o tensiômetro permanece basicamente como concebido, uma ferramenta barata de pesquisa.

O tensiômetro consiste de uma cápsula porosa, em geral de cerâmica, conectada a um manômetro através de um tubo completamente cheio de água (Reichardt & Timm, 2004).

As cápsulas porosas de cerâmica são construídas com porosidade tal que apresente pressão de borbulhamento superior a 100 kPa (Libardi, 1999) e deve ter condutância alta e uniforme, pois a resposta dos tensiômetros está condicionada a esta característica.

No Brasil, as cápsulas utilizadas na confecção dos tensiômetros eram importadas dos Estados Unidos, mas, atualmente, tanto em São Paulo como no Ceará, são fabricadas cápsulas, embora seja comum não dispor de informações detalhadas de suas características.

Com os tensiômetros convencionais, de uso mais comum, utiliza-se o mercúrio metálico como manômetro e isto se tem apresentado como um problema do instrumento, uma vez que, associado ao uso do mercúrio, tem-se danos à saúde de quem o manuseia, risco de poluição ambiental e dificuldade de manutenção. Tendo em vista esses problemas, faz-se necessário a avaliação de outros instrumentos, tais como o transdutor de pressão. Segundo Assis Júnior & Reichardt (1997) sistemas tensiômetro/transdutor de pressão têm sido utilizados para medir a pressão de água nos poros do solo e

a distribuição do gradiente hidráulico, tanto em campo como em laboratório, como tem sido estudados por Long (1984), Gaussoin et al. (1990), Assis Júnior (1995) e Greenwood & Daniel (1996).

Marthaler et al. (1983) construíram e utilizaram um sistema tensiômetro/transdutor, que consistia de um transdutor de pressão conectado aos tensiômetros através de uma agulha de seringa, tendo um registrador digital. A agulha era introduzida através de uma tampa de borracha presente na extremidade superior dos tensiômetros; a pressão do ar numa pequena câmara deixada abaixo da tampa de borracha, equilibrava-se com a pressão na água nos tensiômetros, sendo mostrada no registrador digital. Para os autores, o uso desse tipo de transdutor permite uma manutenção mais rápida e mais fácil do instrumento que quando se usa manômetro de mercúrio, além de diminuir a influência da temperatura e a chance de danos mecânicos.

Assis Júnior (1995) testou, em laboratório, os tensiômetros com manômetro de câmara de ar, comparando-os com manômetro de mercúrio e concluiu que o manômetro de câmara de ar é uma ferramenta disponível para uso no controle do potencial matricial da água no solo em programa de irrigação; para trabalho de pesquisa, entretanto, a recomendação de seu uso talvez não seja ainda conveniente. Ele verificou que sua sensibilidade pode ser considerada muito boa e que o fechamento da câmara de ar é um dos principais problemas de seu uso, por que precisa ser perfeito.

O presente trabalho foi realizado com o objetivo de verificar a condutância hidráulica de cápsulas fabricadas no Estado do Ceará, comparando-as com outras importadas dos Estados Unidos, além de testar o desempenho do transdutor de pressão acoplado ao tensiômetro de câmara de ar, através de agulha, em condições de campo, na quantificação do potencial matricial da água no solo, em comparação com aqueles dos tensiômetros convencionais (manômetro de mercúrio).

MATERIAL E MÉTODOS

Trabalho em laboratório

O trabalho foi realizado no Laboratório de Irrigação e Salinidade do Departamento de Ciências Ambientais da Escola Superior de Agricultura de Mossoró (ESAM), em Mossoró, RN, durante o ano de 2000. Utilizaram-se dois lotes de cápsulas oriundas do Estado do Ceará e de procedência dos Estados Unidos. Foram feitos testes de condutância hidráulica e de pressão de borbulhamento nas cápsulas porosas de cerâmica no laboratório; o teste foi feito em 40 cápsulas de cada procedência, pelo método da carga decrescente (Libardi, 1999). As cápsulas porosas ficaram durante 24 h submersas em água destilada para saturar, depois foram conectadas a uma estrutura, que constava de uma mangueira transparente presa a um suporte, a certa altura da superfície do líquido, no qual a cápsula ficava submersa, em água destilada. Aplicou-se uma carga hidráulica preestabelecida e se mediou o tempo para variar até outra altura, também preestabelecida calculando-se, enfim, a condutância hidráulica.

lica, pela equação:

$$k = \frac{a \cdot \ln\left(\frac{H_1}{H_2}\right)}{\Delta t} \quad (1)$$

em que:

- k – condutância hidráulica, $\text{cm}^2 \text{s}^{-1}$
- a – área da seção transversal da mangueira, cm^2
- H_1, H_2 – carga hidráulica (cmca) na cápsula porosa
- Δt – intervalo de tempo (s), que leva para mudar o nível de água na mangueira de H_1 para H_2

Objetivou-se, com este teste, eliminar as cápsulas com condutância extrema e uniformizar as cápsulas por tratamento, a fim de que o tempo de resposta dos tensiômetros para cada tratamento não interferisse nos outros fatores estudados (profundidade e instrumentos de medida).

A pressão de borbulhamento de ar foi aplicada já com os tensiômetros confeccionados, além de uma pressão de 50 kPa e, depois, se passou para 100 kPa, que é superior à pressão máxima de funcionamento dos tensiômetros, a fim de verificar se havia borbulhamento e vazamento nas emendas do tensiômetro. A pressão de borbulhamento de todas as cápsulas ficou acima de 100 kPa.

Confeção dos tensiômetros

No mesmo laboratório foram confeccionados os tensiômetros com manômetro de mercúrio utilizando-se tubos de PVC rígido roscável de 1/2", ou 16 mm de diâmetro, microtubos de nylon de 1/8" (diâmetro interno de 1,6 mm), cápsulas de cerâmica de duas procedências testadas anteriormente, adesivo epóxi e fita crepe.

A confeção dos tensiômetros de câmara de ar foi semelhante à dos tensiômetros com manômetro de mercúrio, com duas modificações: a ausência do microtubo, e a presença do tubo de plástico (PVC) transparente (diâmetro interno de 12 mm) no qual se pode visualizar a altura da coluna de água ou a câmara de ar e tampa de borracha siliconada.

Estrutura experimental

O trabalho de campo foi realizado no Campus da ESAM, cujas coordenadas geográficas são: 5° 11' S; 37° 20' W e altitude de 18 m, em um Argissolo Vermelho Amarelo; suas características físicas são mostradas na Tabela 1.

Os tensiômetros foram instalados sob um abrigo contra chuvas que serviu, também, para controlar o teor de umida-

de do solo. O delineamento experimental foi em blocos completamente casualizados, em número de dois, com quatro repetições por bloco, enquanto os fatores estudados foram arranjados no esquema fatorial, sendo eles: procedência das cápsulas (Teta Irrigação, Ceará e Soil Moisture, Estados Unidos); medidor de tensão (manômetro de mercúrio e transdutor de pressão de punção) e profundidade (15 e 30 cm).

Condução do experimento

Os tensiômetros foram introduzidos no solo na direção vertical, em escavações feitas com trado de rosca de 3/4" e com tubos de PVC rígido roscável de 1/2" ou 16 mm de diâmetro nominal, que é um diâmetro um pouco menor que os diâmetros das cápsulas, proporcionando melhor contato das cápsulas porosas com o solo.

Os dados dos tensiômetros com manômetros de mercúrio foram coletados medindo-se a altura da coluna de mercúrio, enquanto os dados dos tensiômetros com o transdutor de pressão o foram introduzindo-se uma agulha de seringa (conectada ao medidor de tensão) na tampa de borracha, acoplada no tensiômetro, até que o furo da agulha a atravessasse completamente. Inicialmente, a câmara de ar foi estabilizada em 2,0 cm, podendo este valor atingir, no máximo, 4,0 cm.

As medidas começaram 8 dias após a instalação, fazendo-se leituras pela manhã e à tarde; depois de 30 dias consecutivos de leitura, o solo foi saturado duas vezes e se continuou realizando as leituras até o 35º dia.

Cálculo do potencial matricial

a) Tensiômetros com manômetro de Hg

O cálculo do potencial matricial da água no solo foi feito pela equação:

$$\Psi_m = -12,6 \cdot h + h_1 + z \quad (2)$$

em que:

- Ψ_m – potencial matricial, cmca
- h – altura de equilíbrio da coluna de mercúrio, cm
- h_1 – altura da superfície do mercúrio até a superfície do solo, cm
- z – profundidade de instalação dos tensiômetros, cm

b) Tensiômetros de câmara de ar com transdutor de pressão

Para tensiômetros com transdutor de pressão, segundo Gomide (1998), a equação usada foi a seguinte:

$$\Psi_m = 1013 \cdot \Psi_{ml} + h + z \quad (3)$$

Tabela 1. Frações granulométricas, densidade do solo (dg) e teor de água ($\text{em cm}^3 \text{cm}^{-3}$) em diferentes tensões (em kPa) na profundidade de 0 a 60 cm com intervalo de 15 cm

Z (cm)	Frações granulométricas (g kg^{-1})					Dg (g cm^{-3})	Tensão (kPa)					
	Areia grossa	Areia fina	Areias	Silte	Argila		0	2,5	3,5	10	55	300
0 - 15	574	305	879	107	14	1,63	0,348	0,277	0,208	0,101	0,042	0,036
15 - 30	601	270	871	104	25	1,69	0,317	0,244	0,191	0,100	0,038	0,037
30 - 45	593	199	792	90	118	1,83	0,309	0,273	0,242	0,164	0,112	0,106
45 - 60	413	216	629	89	281	1,83	0,340	0,316	0,291	0,223	0,171	0,171

em que:

Ψ_{ml} – potencial matricial observado pelo transdutor de pressão, bar

h – altura do nível superior da água no tensiômetro, observada na parte transparente, até a superfície do solo, cm

z – profundidade de instalação dos tensiômetros, cm

Para valores de 7 dias tomados ao acaso ao longo do período de leitura, foi feita análise de variância, assim como para as médias de todos os dias de leitura.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Experimento de laboratório

As cápsulas porosas de procedência do Estado do Ceará tiveram condutância hidráulica com maior variabilidade que as dos Estados Unidos que, em média, foi de $16,12 \times 10^{-6} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$, porém essas cápsulas porosas do Ceará, mesmo apresentando maior heterogeneidade, tiveram maior condutância ($25,11 \times 10^{-6} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$), conforme pode ser observado na Tabela 2 e na Figura 1. Observa-se, também, que a quarta parte das cápsulas de procedência do Ceará tem condutância abaixo de 97,5% das cápsulas americanas; entretanto, 2/3 das cápsulas cearenses apresentam condutância superior à de maior condutância de origem americana.

Devido a maior amplitude nos valores de condutância das cápsulas cearenses, é importante que, antes de se confeccionar os tensiômetros, sejam feitos os testes para agrupar as cápsulas por classe.

As condutâncias das cápsulas se diferenciaram estatisticamente, em nível de 1% de probabilidade, usando-se o teste t

Tabela 2. Parâmetros estatísticos dos valores ($10^{-6} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$) de condutância das cápsulas de diferentes procedências

Origem	Média	Desvio padrão	Comparação de média*
EUA	16,12	1,91	A
CE	25,11	12,15	B

* Letras diferentes entre médias indicam diferença significativa, em nível de 0,01 de probabilidade, pelo teste t

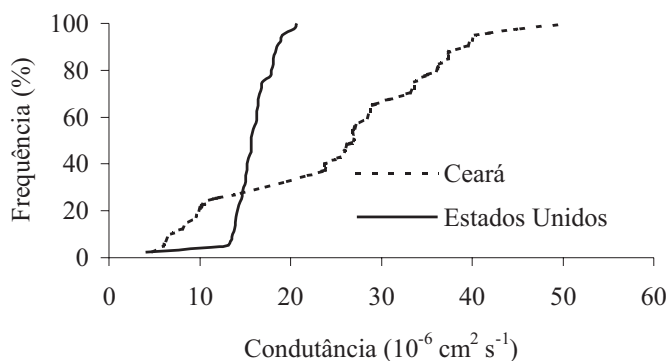


Figura 1. Frequência acumulada da condutância de cápsulas porosas de procedência americana, e do Estado do Ceará, Brasil, utilizadas na confecção dos tensiômetros

te t, isto é, as cápsulas de procedência do Ceará apresentaram, em média, condutância superior às observadas nas de procedência americana (Tabela 2). Essa maior condutância é importante para os tensiômetros, pois diminui o tempo de resposta da medida do potencial matricial do solo.

Experimento de campo

Os valores médios da tensão a 15 cm de profundidade foram significativamente superiores aos valores observados a 30 cm de profundidade, com exceção do valor observado uma hora após o solo ter sido saturado, que foi igual a zero para ambas as profundidades (Figuras 2A e 2B) enquanto para a profundidade de 15 cm os potenciais matriciais variaram de 0 a -10 kPa e para 30 cm os valores oscilaram entre 0 e -6 kPa.

Não houve diferença significativa entre os valores médios ao longo do tempo, seja de leituras realizadas pela manhã ou à tarde ou da média do dia, do potencial matricial da água no solo, entre as cápsulas de procedência do Ceará e as dos Estados Unidos (Tabela 3). Verificou-se que em apenas três ocasiões ocorreu uma pequena diferença

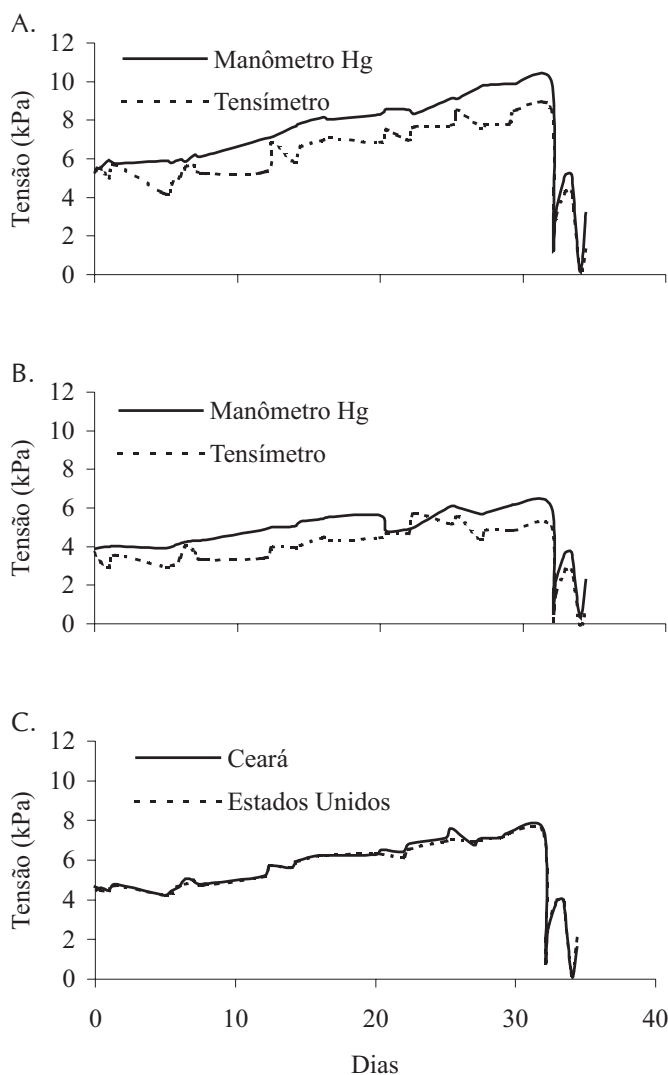


Figura 2. Tensão média da água no solo de tensiômetros com manômetro de Hg e tensímetro para: (A) 15 cm e (B) 30 cm de profundidade, e (C) procedência das cápsulas, ao longo dos testes

Tabela 3. Valores médios de tensão de água no solo (em kPa) obtidos por tensiômetros com cápsulas porosas de diferentes procedências para leituras realizadas pela manhã e à tarde, considerando-se as médias do dia

Origem	Leitura		
	Manhã	Tarde	Média
Ceará	5,33 a*	5,52 a	5,40 a
EUA	5,32 a	5,42 a	5,36 a

* Letras iguais nas colunas indicam que não há diferença significativa, em nível de 0,05 de probabilidade, pelo teste t

Tabela 4. Valores médios, ao longo do tempo, de tensão de água no solo (em kPa) entre os instrumentos de medida para os tensiômetros instalados a 15 e 30 cm de profundidade

Medidor	Leitura					
	Manhã		Tarde		Média	
	15	30	15	30	15	30
Mercúrio	7,08 a*	4,64 a	7,06 a	4,71 a	7,04 a	4,67 a
Tensímetro	5,83 b	3,74 b	6,17 b	3,94 b	5,99 b	3,83 b

* Letras diferentes nas colunas indicam diferença significativa, em nível de 0,05 de probabilidade, pelo teste t

(Figura 2C) e, mesmo na média, as cápsulas apresentando condutâncias distintas (Tabela 2) não interferiram nas leituras dos tensiômetros (Figura 2C). Provavelmente, como as irrigações aconteceram no início e 30 dias após, a variação na umidade do solo era muito lenta, não interferindo na resposta dos tensiômetros, mesmo naqueles com menores condutâncias das cápsulas.

Para os mesmos testes verificou-se que os tipos de medidor indicaram potenciais significativamente diferentes, isto é, o transdutor de pressão apresentou valores de tensão inferiores aos do manômetro de mercúrio (Tabelas 4 e 5); entretanto, os valores de tensão determinados pelo transdutor de pressão são altamente correlacionados com os obtidos pelo manômetro de mercúrio (Figura 3) e a diferença ficou dentro da resolução do tensímetro. Verificou-se, ainda, que o valor da tensão obtido pelo tensímetro é igual a 84% do valor determinado pelo manômetro de Hg, diferença esta que pode ser atribuída ao volume de ar que a agulha do tensímetro apresenta, ocorrendo aumento do volume da câmara de ar do tensiômetro no momento em que a agulha do ins-

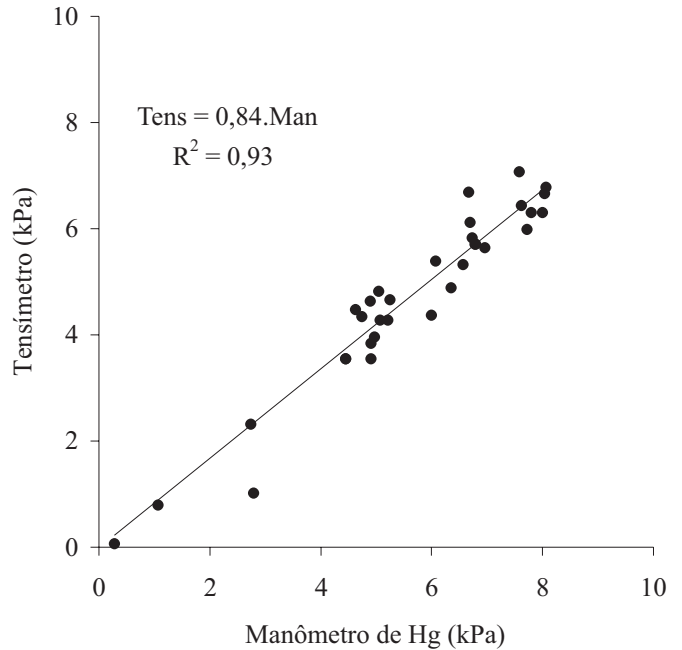


Figura 3. Relação entre o módulo do potencial matricial (tensão) obtido por transdutor de pressão e manômetro de Hg, para duas profundidades

trumento é conectada ao tensiômetro, para que se consiga um novo equilíbrio, além do efeito da histerese existente. Neste trabalho, tomava-se a leitura instantânea, não esperando o ajuste da câmara. Tal procedimento sugere que se faça a calibração do tensímetro, antes do mesmo ser utilizado. Para tal o manual do equipamento sugere que se faça a aferição das leituras do tensímetro utilizando uma coluna de água.

CONCLUSÕES

1. As cápsulas porosas dos Estados Unidos apresentam menor variabilidade na condutância que as do Estado do Ceará. As cápsulas porosas do Ceará têm condutância superior.
2. A procedência das cápsulas não afetou os valores de tensão dos tensiômetros. Estes valores, obtidos entre os instrumentos de medidas de tensão, diferenciaram-se estatisticamente, embora estejam correlacionados.

Tabela 5. Valores médios de tensão de água no solo (em kPa) obtidos por tensiômetros com cápsulas porosas de diferentes procedências, tipos diferentes de medidor de tensão e profundidades diferentes para leituras realizadas pela manhã em diferentes dias após início dos testes

Fator	Discriminação	Dias após início dos testes						
		5	12	16	25	29	32	34
Origem	Ceará	4,24a*	5,19a	6,25a	7,10a	7,24a	1,02a	0,33a
	EUA	4,24a	5,17a	6,25a	6,92a	7,24a	0,97a	0,30a
Profundidade	15 cm	5,04a	5,04a	7,53a	8,41a	9,02a	1,44a	0,33a
	30 cm	3,44b	3,44b	4,96b	5,61b	5,45b	0,55b	0,30a
Medidor	Mercúrio	4,93a	6,00a	6,81a	7,61a	8,18a	1,07a	0,39a
	Tensímetro	3,55b	4,36b	5,69b	6,41b	6,29b	0,91a	0,24a

* Letras diferentes nas colunas indicam diferença significativa, em nível de 0,05 de probabilidade, pelo teste t, entre os níveis de cada fator

LITERATURA CITADA

- Assis Júnior, R. N. Análise do desempenho do tensiômetro de câmara de ar na avaliação do potencial mátrico da água. Piracicaba: ESALQ/USP, 1995, 85p. Tese Doutorado
- Assis Júnior, R. N.; Reichardt, K. Determinação do potencial mátrico da água no solo por tensiômetro de câmara de ar. In: Congresso Brasileiro de Ciências do Solo, 26, 1997, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: SBSCS, 1997. CD-Rom
- Gaussoin, R. G.; Murphy, J. A.; Branham, B. E. A vertically installed flush mounted tensiometer for turfgrass research. HortScience, Alexandria, v.25, n.8, p.928-929, 1990
- Gomide, R. L. Monitoramento para manejo da irrigação: instrumentação, automação e método. In: Faria, M. A. (coord.). Manejo de Irrigação. Lavras: UFLA/SBEA, 1998. p.133-238
- Greenwood, K. L.; Daniel, H. A double-puncture technique for improving the accuracy of puncture tensiometer measurements. Australian Journal of Soil Research, Collingwood, v.34, p.153-159, 1996.
- Klar, A. E. Irrigação: Frequência e quantidade de aplicação. São Paulo: Nobel, 1991. 156p.
- Libardi, P. L. Dinâmica da água no solo. 2.ed. Piracicaba: o autor. 1999. 501p.
- Long, F. L. A field system for automatically measuring soil water potential. Soil Science, Baltimore, v.137,n.4, p.227-230, 1984.
- 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.
- Reichardt, K.; Timm, L. C. Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações. São Paulo: Editora Manole Ltda, 2004. 478p.