



Análise de erros em sistemas de leitura do tensiômetro⁽¹⁾.

Alcione Guimarães Freire⁽²⁾; **Thiago Leite de Alencar**⁽²⁾; **Raimundo Nonato de Assis Júnior**⁽³⁾; **Jaedson Cláudio Anunciato Mota**⁽³⁾.

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos do PROCAD/CAPES 125/2007 e CAPES/PROAP.

⁽²⁾ Estudante de doutorado; Universidade Federal do Ceará; Fortaleza, Ceará; alcionegf@hotmail.com; ⁽³⁾ Professor; Universidade Federal do Ceará.

RESUMO: Os tensiômetros convencionais utilizam o manômetro de mercúrio para a obtenção das leituras para a medida do potencial matricial da água no solo. No entanto, há a desvantagem de o mercúrio, quando oxidado, ser tóxico ao homem e apresentar risco de contaminação do ambiente se não for adequadamente manuseado. O ensaio foi realizado em um Argissolo Amarelo localizado na Universidade Federal do Ceará. Os tensiômetros foram instalados em uma parcela experimental nos moldes para a determinação da condutividade hidráulica pelo método do perfil instantâneo. O objetivo deste estudo foi aferir dois sistemas alternativos ao manômetro de mercúrio para a quantificação do potencial matricial da água no solo. Os sistemas de leitura em estudo não foram capazes de substituir o manômetro de mercúrio para toda a faixa de potencial matricial medido.

Termos de indexação: potencial matricial; índices estatísticos.

INTRODUÇÃO

O conhecimento sobre a dinâmica da água no solo é fundamental para a tomada de decisões referentes ao manejo dos recursos hídricos em sistemas agrícolas. Para a região semiárida do nordeste do Brasil, a irrigação foi uma das técnicas que alavancaram a expansão da fronteira agrícola. Devido a ela, tornou-se possível administrar a quantidade de água a ser aplicada às culturas e, assim, obter excelentes produtividades embora com recursos hídricos escassos.

Ao longo do tempo, várias tecnologias foram criadas com o objetivo de detectar, de modo mais preciso e rápido, a quantidade de água no solo disponível às culturas de interesse agrícola. Concomitante a estas evoluções também avançaram os conhecimentos teóricos e conceituais de disponibilidade de água às plantas. Nesse contexto, o status da água no solo permite o melhor manejo desse fator de produção agrícola em regiões irrigadas, ou seja, possibilita a definição do momento e da quantidade de água que deve ser aplicada ao solo para que sejam mantidas as melhores condições hídricas e, portanto, com a maximização da produtividade.

Como dito anteriormente, para o manejo da água uma importante variável a ser mensurada é a energia com que ela se encontra aderida à matriz do solo, conhecida na literatura que trata do assunto por potencial matricial. Para tanto, o tensiômetro é um instrumento de medida direta desse potencial da água no solo e possibilita medições in situ, com sensibilidade e precisão dos resultados dependentes do tipo de manômetro utilizado. Claro que os erros inerentes a cada sistema de leitura são propagados em maior ou menor intensidade nas estimativas de outras variáveis no solo que dependam do conhecimento do potencial matricial.

Os tensiômetros convencionais utilizam o manômetro de mercúrio para a obtenção das leituras para a medida do potencial matricial da água no solo. É o sistema considerado mais sensível e exato, o que faz com que seja tomado como padrão para aferição de outros modelos. No entanto, há a desvantagem de o mercúrio, quando oxidado, ser tóxico ao homem e apresentar risco de contaminação do ambiente se não for adequadamente manuseado.

Considerando a hipótese de que outros sistemas de leitura do tensiômetro podem substituir o manômetro de mercúrio sem perda da qualidade da informação e sem o risco de contaminação do ambiente, este trabalho buscou aferir dois sistemas alternativos ao manômetro de mercúrio para a quantificação do potencial matricial da água no solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio foi realizado em um Argissolo Amarelo localizado no campus do Pici Professor Prisco Bezerra, na Universidade Federal do Ceará, em Fortaleza-CE. Os tensiômetros foram instalados em uma parcela experimental circular, cujo diâmetro foi de 3 m e profundidade de 0,6 m, nos moldes para a determinação da condutividade hidráulica pelo método do perfil instantâneo. O volume de solo foi delimitado nas faces laterais por lona plástica, para evitar fluxos laterais subsuperficiais. Assim, para atender as condições de contorno do método, garantiu-se que o fluxo de água no centro da parcela ocorresse somente na direção vertical (HILLEL et al., 1972).

Os tensiômetros foram construídos de modo a



permitir que o manômetro de mercúrio, o vacuômetro de Bourdon e o tensímetro digital com transdutor de pressão funcionem em um mesmo instrumento, fazendo com que cada sistema de leitura esteja sujeito às mesmas condições naquele aparelho.

Após averiguação do perfeito funcionamento em laboratório, os tensiômetros contendo os sistemas de leitura foram instalados no campo nas profundidades de 0,20; 0,35 e 0,50 m do perfil de solo, com seis repetições, totalizando 18 aparelhos.

Após a operação de umedecimento até a saturação, a parcela foi coberta com lona plástica para evitar qualquer fluxo de água pela superfície, seja por evaporação ou infiltração, também para atender as condições de contorno do método do perfil instantâneo. Feitos os procedimentos descritos anteriormente, foram realizadas leituras diárias nos sistemas às 7 horas. Para evitar modificações no equilíbrio estabelecido entre a câmara de ar, localizada na porção superior do tensiômetro, a água do tensiômetro e a água no solo, procedeu-se inicialmente a leitura no manômetro de mercúrio, vacuômetro de Bourdon, nessa ordem, para, em seguida, proceder a leitura com o tensímetro digital contendo o transdutor de pressão (neste último foi introduzida a agulha e a leitura foi feita 30 segundos após). Depois de considerada cessada a drenagem, ou seja, quando o solo atingiu a capacidade de campo, a lona que cobre a superfície do solo foi retirada e o experimento prosseguiu até que os tensiômetros parassem de funcionar.

Cálculo do potencial matricial

Manômetro de mercúrio

Os dados dos tensiômetros com manômetro de mercúrio foram obtidos medindo-se a elevação da coluna de mercúrio na mangueira de "nylon";

$$\phi_m = -12,6h_{Hg} + h_c + z$$

em que h_{Hg} é a altura da coluna de Hg, m; h_c a altura do nível de Hg na cubeta em relação à superfície do solo, m de água; z a profundidade de instalação do centro da cápsula porosa do tensiômetro, m de água.

Vacuômetro de Bourdon

Com o vacuômetro de Bourdon as leituras foram feitas diretamente no visor do instrumento;

$$\phi_m = -(L \times 0,0136) - h + h_c + z$$

em que L é a leitura no visor analógico, mmHg; h a altura da coluna de água acima do ponto de inserção do manômetro, m de água; h_c a altura de inserção do manômetro de Bourdon no tubo de PVC

em relação à superfície do solo, m de água; e z a distância entre o centro da cápsula e a superfície do solo.

Tensímetro digital

Para o tensímetro digital com transdutor de pressão, os dados foram obtidos conectando-se o sensor com a câmara de ar por meio de uma agulha para a transferência de tensão para o instrumento medidor.

$$\phi_m = -(L \times 0,0136) + h_e + z$$

em que Ld é a leitura no visor digital, mmHg; $h_e = hc + h$, m de água.

Análise estatística

Para a análise dos erros foram utilizados os testes estatísticos índice de concordância de Willmott - d ; erro máximo - E_{max} ; erro absoluto médio - E_{amed} ; raiz quadrada do erro médio normalizado - $RQEM$; coeficiente de determinação - CD ; coeficiente de massa residual - CMR ; e eficiência - E , conforme Zacharias et al. (1996) e Sentelhas et al. (1997). Uma perfeita concordância entre a eficiência dos equipamentos testados resulta em $d = CD = E = 1$ e $E_{max} = RQEM = CMR = E_{amed} = 0$ (TEIXEIRA et al., 2005).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com as Figuras 1, 2 e 3, observa-se que desde o início das leituras os sistemas subestimam os valores de potencial matricial indicados pelo manômetro de Hg, independente da profundidade do solo. Na medida em que o solo seca, o tensímetro se distancia dos demais sistemas de leitura. Já os resultados obtidos pelo Bourdon se aproximam dos obtidos pelo sistema padrão (Hg), exceto para a profundidade de 0,35 m. Resultado semelhante foi encontrado por Brito et al. (2009) que, estudando os mesmos sistemas de leitura também em condições de campo, observaram que à medida que o solo secava os valores de potencial matricial obtidos com o Bourdon se aproximavam dos obtidos pelo sistema padrão. A justificativa dos autores para a diferença entre esses dois sistemas quando o solo se encontra em condição mais úmida é de que a escala do medidor deveria ser menor para que fosse possível a detecção exata da leitura naquele momento. Por outro lado, uma explicação para o fato de o tensímetro se manter sempre com potenciais matriciais maiores, do início ao fim do experimento, é dada por Marthaler et al. (1983). Segundo os autores, a introdução da agulha do tensímetro na câmara do tensiômetro, que possui um volume de ar, provoca uma redução na tensão e, portanto, um novo equilíbrio há que se estabelecer.



Sob esta ótica, esse é um dos fatores que levaram à menor leitura observada pelo tensímetro com transdutor de pressão no presente estudo. Ainda, os mesmos autores destacam que a inserção da agulha pode causar pequena deflexão da rolha para baixo e, possivelmente, uma saída de água do tensiômetro. Em suma, essas perturbações ora elencadas retardam o equilíbrio da tensão da água no interior do tensiômetro com a tensão da água no solo fazendo com que o reequilíbrio só ocorra, conforme pesquisa de Marthaler et al., (1983), em um tempo que varia de dois a dez minutos. Neste experimento, as leituras foram feitas 30 segundos após a inserção da agulha, o que, segundo Marthaler et al. (1983), está fora do intervalo de tempo necessário ao reequilíbrio da tensão da água do solo.

Analisando os índices estatísticos observa-se pelo índice d de Willmot, que mede a precisão dos sistemas de leitura, que tanto o Bourdon como o tensímetro apresentaram valores próximos da unidade, indicando um bom sincronismo com o sistema padrão. O Coeficiente de Determinação para ambos os sistemas praticamente não diferiu e manteve-se distante da unidade. O índice E indica menor eficiência do tensímetro em comparação ao Bourdon para todas as profundidades. Com relação aos demais índices, Emax, EAmed, RQEM e CMR, observa-se que o Bourdon se sobressai em relação ao tensímetro em todas as profundidades com valores mais próximos de zero, o que indica um melhor desempenho do Bourdon em relação ao tensímetro.

CONCLUSÕES

Os sistemas de leitura em estudo não são capazes de substituir o manômetro de mercúrio para toda a faixa de potencial matricial medido.

O vacuômetro de Bourdon apresentou melhor eficiência que o tensímetro digital para toda a faixa de potencial analisado.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Francisco Marcus Lima Bezerra, da Universidade Federal do Ceará, por ter cedido a área experimental.

REFERÊNCIAS

- 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*, v. 33, n. 1, p. 17–24, 2009.
- HILLEL, D.; KRENTOS, V. D.; STYLIANOU, Y. Procedure and test of an internal drainage method for

measuring soil hydraulic characteristics in situ. *Soil Science*, v. 114, n. 5, p. 395–400, 1972.

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

SENTELHAS, P. C.; MORAES, S. O.; PIEDADE, S. M. S.; et al. Análise comparativa de dados meteorológicos obtidos por estações convencional e automática. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v. 5, p. 215–221, 1997.

TEIXEIRA, C. F. A.; MORAES, S. O.; SIMONETE, M. A. Desempenho do tensiômetro, TDR e sonda de nêutrons na determinação da umidade e condutividade hidráulica do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 29, n. 3, p. 161–168, 2005.

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.

Tabela 1 - Índices estatísticos para comparação do vacuômetro de Bourdon e tensímetro digital em relação ao manômetro de mercúrio.

Medidor	Índices de comparação						
	d	CD	E	E _{max}	E _{Amed}	RQEM	CMR
Profundidade de 0,20 m							
Bourdon	0,99	0,53	0,70	0,37	0,21	0,70	0,21
Tensímetro	0,99	0,73	0,07	1,36	0,77	0,07	0,48
Profundidade de 0,35 m							
Bourdon	0,98	0,65	-0,19	1,25	0,53	-0,19	0,49
Tensímetro	0,98	0,71	-0,55	2,49	0,90	-0,55	0,61
Profundidade de 0,50 m							
Bourdon	0,99	0,43	-0,24	0,48	0,34	-0,24	0,41
Tensímetro	0,98	0,39	-1,24	1,05	0,75	-1,24	0,61

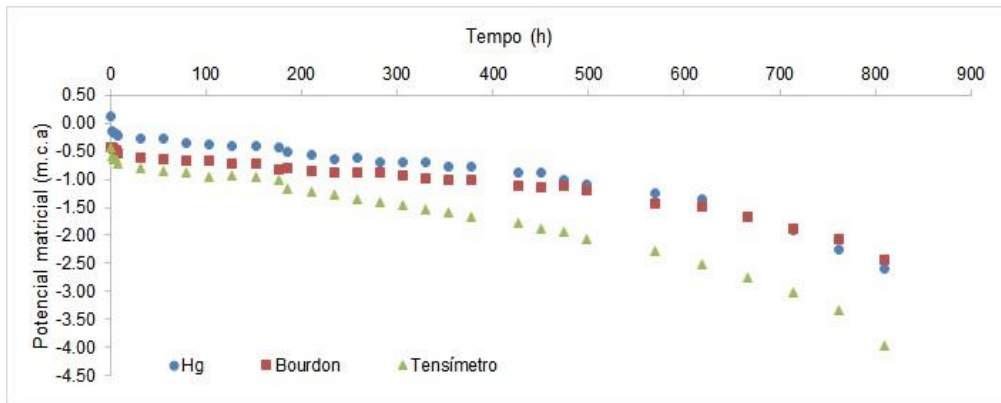


Figura 1 – Potencial matricial da água do solo medido pelos sistemas de leitura do tensiômetro ao longo do experimento na profundidade de 0,20 m.

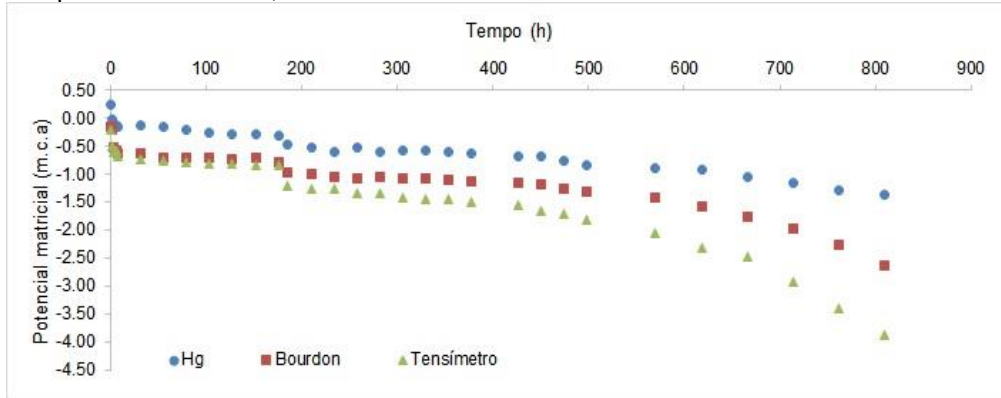


Figura 2 – Potencial matricial da água do solo medido pelos sistemas de leitura do tensiômetro ao longo do experimento na profundidade de 0,35 m.

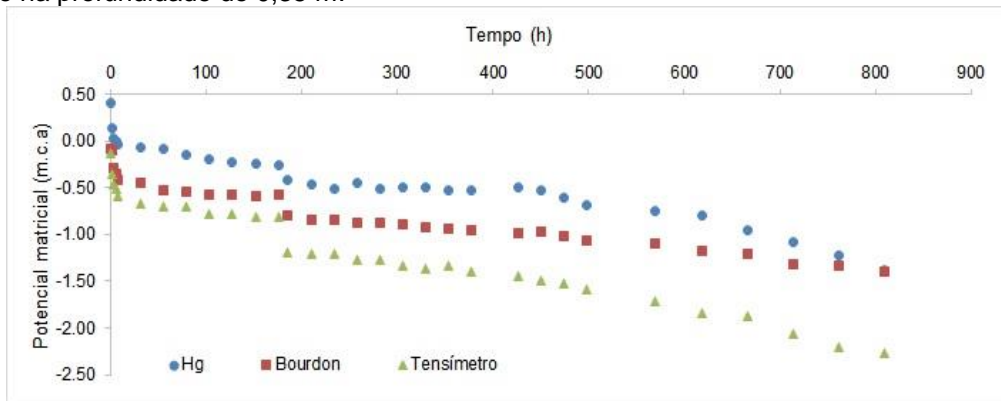


Figura 3 – Potencial matricial da água do solo medido pelos sistemas de leitura do tensiômetro ao longo do experimento na profundidade de 0,50 m.