

DESEMPENHO DE TENSIOMETROS ELETRÔNICOS CONECTADOS A UMA PLACA MICROCONTROLADORA ARDUINO EM LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO

Rodrigo Moura Pereira¹, Delvio Sandri², Gervásio Fernando Alves Rios³, Isac Jeferson Ferreira de Sousa⁴, Daniel Ataydes de Oliveira Sousa⁵, Ana Cláudia Oliveira Sérvulo⁶

RESUMO: Os tensiômetros são dispositivos que possibilitam o manejo da irrigação via medida direta do potencial matricial do solo, porém devido a fatores práticos sua aplicação em condições de campo é pouco frequente. O tensímetro de punção ou o vacuômetro são mecanismos de leitura comumente utilizados nos tensiômetros, entretanto, possuem custo relativamente alto e requerem leitura *in loco* e manutenção frequente. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi o de avaliar transdutores de pressão como mecanismos de leitura em tensiômetros integrados à placa microcontroladora Arduino com registro das leituras em módulo *datalogger*. Utilizou-se amostras deformadas de Latossolo Vermelho-Amarelo, acondicionado em vasos com capacidade de 8 L. Em cada amostra, o potencial matricial variou entre -8 e -80 kPa, registrado a partir dos transdutores e comparados às leituras obtidas por tensímetro digital de punção. Os coeficientes de correlação linear entre o potencial matricial registrado nos tensiômetros eletrônicos e o tensímetro foram maiores que 0,9 em todos os dispositivos avaliados. Para obtenção de leituras estáveis dos transdutores de pressão recomenda-se a utilização de fonte de 7,5V DC na entrada de alimentação externa da placa microcontroladora Arduino.

PALAVRAS-CHAVE: Tensão de água no solo, manejo de irrigação, microeletrônica

PERFORMANCE OF ELECTRONIC TENSIO METERS CONNECTED TO AN ARDUINO MICROCONTROLLER IN RED-YELLOW LATOSOL

¹Doutorando, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária UnB, Brasília, DF.

²Prof. Doutor, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária UnB, Brasília, DF.

³Prof. Doutor, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária UnB, Brasília, DF.

⁴Graduando, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária UnB, Brasília, DF.

⁵Técnico, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária UnB, Brasília, DF.

⁶Doutoranda, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária UnB, Fone (62) 98405-6760 e-mail: anaclaudiaooservulo@hotmail.com.

ABSTRACT: Tensiometers are measuring devices used to monitor changes of soil moisture. These devices may provide a valuable tool to schedule crop irrigation. However, the high price of the reading devices (tensimeters and vacuumeters) and requirements for constant maintenance discourage farmer adoption. A study was carried out to evaluate pressure transducers to be used as reading devices in tensiometer prototypes installed in five red-yellow oxisol samples. The study consisted in comparisons between the matric potential obtained by the electronic tensiometers and a digital tensimeter during a single soil drying cycle. The correlation between the readings obtained by electronic tensiometers and digital tensimeter showed correlation coefficients $r > 0.9$ in all samples evaluated in the reading range between -8 and -80 kPa. To obtain stable readings of the pressure transducers it is recommended to use a 7.5 V DC source in the external power input of the Arduino microcontroller board.

KEYWORDS: Water soil tension, irrigation scheduling, microelectronics

INTRODUÇÃO

Os tensiômetros são equipamentos utilizados na medida direta do potencial matricial do solo e devido a relação desse potencial com a disponibilidade hídrica às plantas, seu uso pode ser aplicado no manejo de irrigação. Entretanto, apesar do baixo custo e fácil instalação no solo, a utilização dos tensiômetros ainda apresenta restrições técnicas como a necessidade de constante observação in loco e manutenção frequente (AGUIAR NETTO et al., 2013).

A tensiometria aplicada em solos de textura média a argilosa atua sob condições relativamente úmidas, medindo o potencial matricial até aproximadamente 80 kPa, entretanto, sua aplicação no manejo de irrigação é adequada, uma vez que a faixa de umidade ótima para várias culturas situa-se dentro desse limite de potencial (TEIXEIRA et al., 2013; AMORIM et al., 2015). Os mecanismos de leitura comumente utilizados nos tensiômetros são o vacuômetro de Bourdon (KIRKHAM, 2014), o qual utiliza um princípio analógico e o tensímetro digital de punção (MARTHALER et al., 1983) que utiliza um transdutor para transmissão do sinal correspondente ao vácuo parcial no interior do tensiômetro.

Entretanto, estes mecanismos possuem limitações técnicas e operacionais quanto a representação da variação do potencial ao longo do tempo e utilização de medidas em escala. Transdutores de pressão integrados a microcontroladores de código aberto têm sido avaliados como mecanismos de leitura em tensiômetros (ARRUDA, et al., 2017), os quais possibilitam

de forma prática e a um custo reduzido o fornecimento de leituras automáticas do potencial matricial do solo, além de permitir a integração das medições a sistemas de automação no manejo de irrigação (ALMEIDA et al., 2017). Diante do exposto, o presente trabalho objetivou avaliar o desempenho de transdutores de pressão como mecanismos de leitura em tensiômetros instalados em amostras deformadas de Latossolo Vermelho Amarelo, em comparação ao tensiômetro digital de punção.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido em condição de laboratório, na Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília, FAV/UnB. Foram utilizados tensiômetros eletrônicos baseados em um modelo convencional de tensiômetro de PVC (policloreto de vinil) branco de ½”, com adaptação para acoplagem de um transdutor de pressão modelo MPX5700DP (Freescale inc.) em sua extremidade superior (Figura 1A). Os transdutores foram conectados a uma placa microcontroladora Arduino integrada a um módulo datalogger SDCard para armazenamento das leituras. A placa controladora foi inicialmente alimentada por uma fonte de 12V e os sensores e módulo datalogger alimentados pela saída de 5V da placa microcontroladora (Figura 1B).

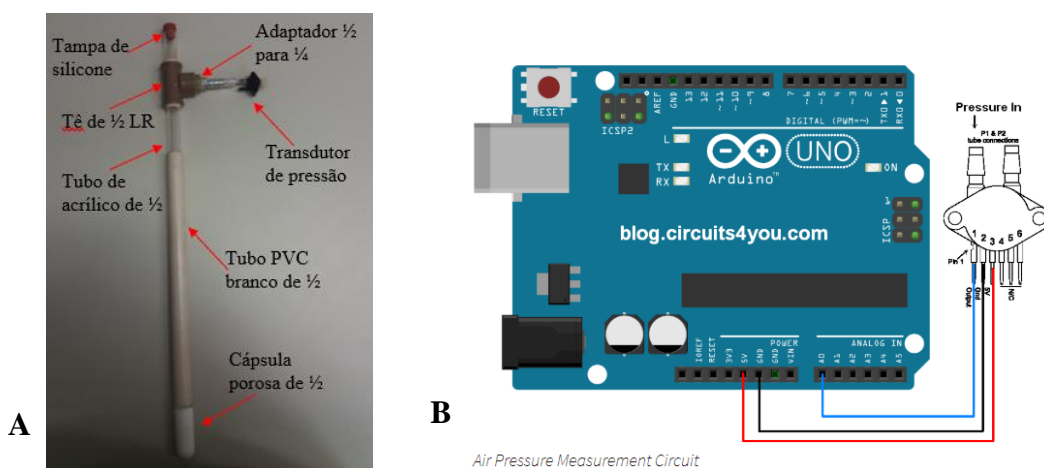


Figura 1. Protótipo de tensiômetro eletrônico (A). Conexão entre o transdutor de pressão MPX5700DP e a placa microcontroladora Arduino utilizando as portas 5V (vermelho) ground (preto) e sinal de saída (azul) (B).

A Equação 1 apresenta a função de transferência que relaciona a voltagem de saída do transdutor MPX5700DP com o potencial matricial observado.

$$V_{out} = V_s(0,0012858(|\phi_m|) + 0,04) \pm \varepsilon \quad (1)$$

Em que, V_{out} = voltagem de saída (Vdc); V_s = voltagem de alimentação (5V); ϕ_m = pressão ou tensão atuante (kPa); ε = erro aleatório.

Foram utilizados cinco vasos de plástico (repetições) com capacidade total de 8 L, sendo adicionado em cada um 4 kg de Latossolo Vermelho-Amarelo, seco ao ar, peneirado em peneira #2 e seco em estufa a 60 °C durante 72 h para remoção da umidade residual. Após instalação do tensiômetro o solo em cada vaso foi saturado por capilaridade. Os tensiômetros eletrônicos foram instalados na profundidade de 12 cm e a partir da evaporação da água das amostras, observou-se a variação do potencial matricial durante o período de secagem do solo que durou cerca de 30 dias, com leitura a cada 24 h, armazenadas em módulo *datalogger*, concomitantemente realizou-se as leituras em tensímetro digital de punção. No momento da ruptura da coluna hidráulica dos tensiômetros em aproximadamente 80 kPa, coletou-se amostras indeformadas de solo em cada embalagem, para construção da curva característica de retenção de água no solo pelo método da câmara de pressão de Richards, sendo as densidades aparentes de 0,98; 1,01; 0,94; 0,92 e 0,94 g cm⁻³, respectivamente. A curva de retenção de água no solo foi ajustada aos dados a partir do modelo proposto por Van Genuchten (1980), (Equação 2), utilizando o software RETC (van GENUCHTEN et al., 1991).

$$\theta = \theta_r + (\theta_s - \theta_r)(1 + \alpha|\psi|^n)^{-m} \quad (2)$$

Em que, θ = umidade atual (cm³ cm⁻³); θ_r = umidade residual (cm³ cm⁻³); θ_s = umidade de saturação (cm³ cm⁻³); ψ = potencial matricial (cm⁻¹); α e n = constantes empíricas que afetam a forma da curva de retenção; $m = 1 - 1/n$.

Para comparação entre as leituras obtidas pelo tensiômetro eletrônico e o tensímetro de punção verificou-se a relação linear entre as leituras e aplicou-se o teste do coeficiente de correlação linear entre as medidas dos dois dispositivos. Em última análise obteve-se a umidade estimada pelos tensiômetros eletrônicos e tensímetro de punção com a aplicação da curva característica de retenção de água do solo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O potencial matricial obtido nos tensiômetros eletrônicos apresentou alta correlação ($r > 0,9$) em relação ao tensímetro digital de punção nos cinco tensiômetros avaliados considerando um polinômio de primeiro grau (Figura 2), mostrando que os tensiômetros conectados a transdutores de pressão utilizando um sistema de alimentação independente e um módulo de armazenamento de dados podem atuar satisfatoriamente no monitoramento do potencial matricial, concordando com THALHEIMER, (2013). A alta correlação observada entre as leituras dos mecanismos é semelhante ao demonstrado por Azevedo et al., 2017, onde, observaram coeficientes de correlação linear acima de 0,9 entre o tensímetro digital e vacuômetro de Bourdon com o vacuômetro de mercúrio, tido nesse caso, como medida de referência.

Para obtenção de uma estabilidade nas leituras do transdutor de pressão é necessária uma tensão constante nos pinos de alimentação da placa microcontroladora. Durante o estudo, observou-se um aquecimento excessivo do regulador de tensão do microcontrolador Arduino devido à utilização de uma fonte de 12V, o que levou a desestabilização momentânea das leituras do transdutor. Para a correção do problema a substituição por uma fonte de 7,5V, além de manter estável a voltagem de referência para os transdutores, corrigiu o efeito de superaquecimento do regulador de tensão.

Em relação à operação do transdutor de pressão é necessário pontuar que, a tensão de referência utilizada na função de transferência (Eq. 1) deve ser medida na entrada de alimentação do transdutor, isso porque, foram observados valores distintos de tensão em cada tensiômetro, que apesar de estáveis variaram entre 4,7 e 4,8V, o que necessitou da correção deste valor na função de transferência, a partir do valor lido no pino Vcc de cada transdutor.

Em relação as leituras dos potenciais, observou-se que os valores abaixo de 10 kPa, ou seja, próximos a umidade de saturação, obtidos nos tensiômetros eletrônicos apresentaram maior variabilidade em relação ao tensímetro digital de punção, o que de acordo com especificações do fabricante do transdutor MPX5700DP, pode ser decorrente da baixa voltagem (< 2 mV) de saída do transdutor nessa faixa de pressão.

O potencial matricial registrado tanto pelos tensiômetros eletrônicos como pelo tensímetro digital de punção permitiram leituras na faixa de -8 e -40 kPa em intervalos menores de 24 h, porém, acima desta faixa foi necessário aumentar o tempo para cerca de 48 h, devido a necessidade de atingir estabilidade hidráulica interna aos tensiômetros, e, assim, permitir leituras comparativas em toda a faixa de leitura de potencial matricial. Isso ocorreu devido à lenta evaporação da água do solo durante o período de avaliação. Observa-se que nos valores de umidade do solo obtidos em função da curva característica (Figura 2A), os pontos obtidos pelos tensiômetros eletrônicos e tensímetro de punção situaram-se na faixa de aproximadamente -10 e -80 kPa, representando umidades entre 0,45 e 0,25 m³

m^{-3} , respectivamente, sendo essa faixa de potencial comumente utilizada no manejo de irrigação para a maioria das culturas agrícolas (MAROUELLI, 2008).

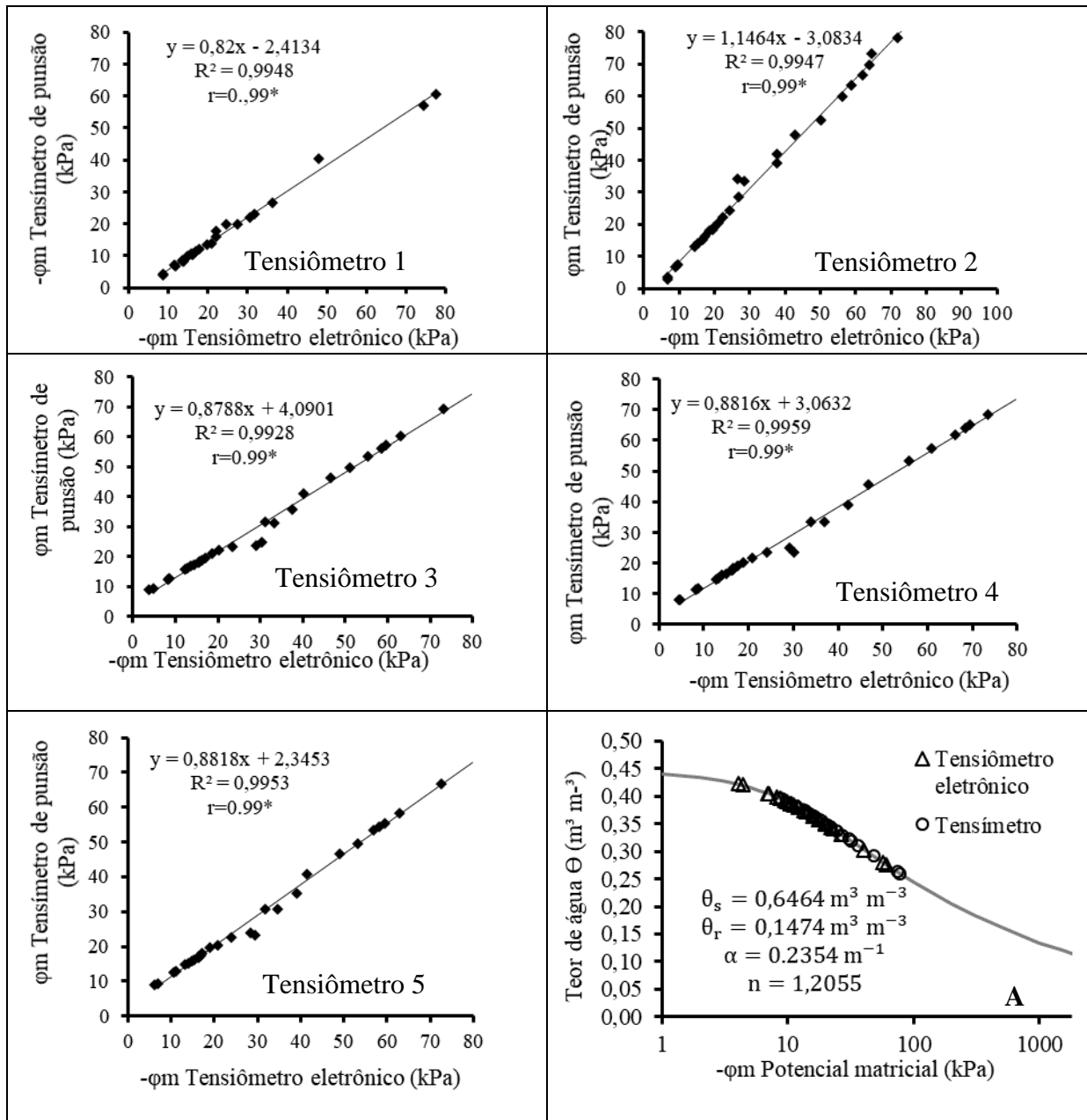


Figura 2. Potencial matricial registrado nos tensiômetros eletrônicos e tensímetro digital de punção em Latossolo Vermelho-Amarelo para potencial variando de -8 a -80 kPa (**Tensiômetros 1 a 5**), * = ($p < 0,01$). Valores médios do teor de água no solo em função do potencial matricial registrado nos tensiômetros eletrônicos e tensímetro digital de punção (**A**). θ_s = Umidade de saturação; θ_r = Umidade residual; α e n = Coeficientes para determinação da curva de retenção.

Com base no teste-t os interceptos foram diferentes entre os cinco tensiômetros avaliados, evidenciando assim, a não similaridade das leituras entre o tensímetro e o transdutor de pressão. Alguns fatores podem explicar este problema, como por exemplo, o fato dos tensiômetros serem construídos de forma artesanal o que impede uma padronização do modelo construído, além da obtenção das leituras comparativas que podem ter diferido

entre um tensiômetro e outro, principalmente no momento de inserção da agulha do tensímetro de punção. Freire et al. 2018 obtiveram interceptos não significativos entre o manômetro de mercúrio, vacuômetro de Bourdon e tensímetro digital como dispositivos de leitura em tensiômetros. Para tanto, o estudo considerou um modelo de tensiômetro em que os três dispositivos de leitura eram instalados de forma permanente em cada tensiômetro e as leituras eram obtidas de maneira independente sem que um sistema de leitura interferisse em outro.

Outro fator se deve ao fato de o estudo ter comparado dois sistemas que possuem erros intrínsecos relacionados aos componentes eletrônicos internos de cada dispositivo de leitura. Hoelscher et al. (1993), afirmam que os componentes eletrônicos do tensímetro digital podem contribuir com erros acima de valores aceitáveis e experimentos devem ser realizados para separar os erros produzidos a partir dos componentes eletrônicos que constituem o sistema de leitura.

Tabela 1. Teste estatístico do intercepto e coeficiente angular da relação linear entre os valores de potencial matricial obtidos pelos sistemas de leitura dos tensiômetros durante o período avaliado.

| Tensímetro – Transdutor | Intercepto (t value) | Coeficiente angular (t value) |
|-------------------------|----------------------|-------------------------------|
| Tensiômetro 1 | -6,462* | 0,82* |
| Tensiômetro 2 | -3,083* | 1,146* |
| Tensiômetro 3 | 4,090* | 0,878* |
| Tensiômetro 4 | 3,063* | 0,881* |
| Tensiômetro 5 | 2,345* | 0,881* |

*Significativo ao nível de $p < 0,01$.

CONCLUSÕES

O transdutor de pressão acoplado ao tensiômetro pode substituir o tensímetro digital de punção para medição do potencial matricial em Latossolo Vermelho-Amarelo. Os tensiômetros eletrônicos integrados na placa microcontroladora Arduino apresentaram esbidade no monitoramento do potencial matricial na faixa de leitura entre -8 e -80 kPa. Novos estudos devem ser realizados considerando maior padronização na construção do tensiômetro e obtenção das leituras comparativas e inserção de leituras obtidas com dispositivos de leitura analógicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR NETTO, A. O.; BASTOS, E. A. **Princípios agronômicos da irrigação**. Brasília: Embrapa, 2013, 262p.

ALMEIDA, A. C. S.; BOTREL, T. A.; RAINE, S. R.; CAMARGO, A. P.; PINTO, M. F.; SALVADOR, C. A. Irrigation controller mechanically actuated by soil-water tension: II – Field evaluations. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.21, n.5, p.298-303, 2017.

AMORIM, J. R. A.; RESENDE, R. S.; MIRANDA, F. R. **Manejo da irrigação localizada na cultura do coqueiro-anão por meio da tensiometria**. Aracaju, Embrapa Tabuleiros Costeiros, Comunicado técnico 175, 2015. 5p.

ARRUDA, L. E. V.; FIGUEIRÊDO, V. B.; LEVIEN, S. L. A.; MEDEIROS, J. F. Desenvolvimento de um tensiômetro digital com sistema de aquisição e armazenamento de dados. **Irriga**, Edição Especial IRRIGA & INOVAGRI, p.11-20, 2017.

AZEVEDO, J.; FREIRE, A. G.; ALENCAR, T. L.; SANTOS, C. L. A.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; BEZERRA, F. M. L.; MOTA, J. C. A. Desempenho de sistemas de leitura de tensiômetro em condições de temperatura controlada. **Irriga**, v.22, n.4, p.735-756, 2017.

FREIRE, A. G.; ALENCAR, T. L.; CHAVES, A. F.; NASCIMENTO, I. V.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; van LIER, Q.; J.; MOTA, J. C. A. Comparison of devices for measuring soil matric potential and effects on soil hydraulic functions and related parameters. **Agricultural Water Management**, v.209, p.134-141, 2018.

HOELSCHER, J.R.; NUTTLE, W.K., HARVEY, J.W. The calibration and use of pressure transducers in tensiometer systems. **Hydrology Process**. v.7, p.205–211, 1993.

KIRKHAM, M. B. **Principles of soil and plant water relations**. 2. Ed. Amsterdam, Academic Press, 2014, 580p.

MAROUELLI, W. A. Tensiômetros para o controle de irrigação em hortaliças. Circular técnica, Embrapa Hortaliças, Brasília, 2008, 15p. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/ct_57_000gul1bce002wx7ha0g934vgbhumjyg.pdf Acesso em 05 de setembro de 2018.

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.

TEIXEIRA, R. P.; PEREIRA, G. M.; SOUZA, R. J.; GARCIA, H. H.; GAMA, G. B. N. Análise das tensões de água no solo cultivado com morangueiro sob poda. **Irriga**, v. 18, n.1, p. 25-42, 2013.

THALHEIMER M. A low cost electronic tensiometer system for continuous monitoring of soil water potential. **Journal of Agricultural Engineering**, v. XLIV, n. 16, p. 114-119, 2013.

van GENUCHTEN, M. T. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.44, p.892-897, 1980.

van GENUCHTEN, M. T; LEIJ, F. J.; YATES, S. R. The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils, Washington, Environmental Protection Agency, 1991. 100p.