

CALIBRAÇÃO DE SENSORES PARA ESTIMATIVA DA UMIDADE DE SOLO DO CERRADO MINEIRO

Deyvid da Silva Gallet¹, Isadora Ciciliati Dias Diamante², Pedro dos Anjos Sigolo², Guilherme Posso Souza², Eusímio Felisbino Fraga Júnior²

RESUMO: Este trabalho objetivou-se calibrar de sensores (modelos 10HS *Decagon* e SM150T *DeltaT*) para estimar a umidade de um Latossolo Vermelho distroférico de textura média, visando obter informações para o manejo da irrigação no Cerrado Mineiro. Assim, os sensores foram instalados em vasos contendo solo previamente saturado e monitorados diariamente por pesagens gravimétricas em balança de alta precisão. A resposta dos sensores foi corrigida quanto à influência da temperatura, e os dados foram submetidos à análise estatística, incluindo regressão linear e índices de concordância (d) e confiança (c). Os resultados demonstraram que o sensor SM150T (*DeltaT*) apresentou desempenho "Ótimo" (c = 0,92), com alto coeficiente de correlação (r = 0,95) e determinação (r² = 0,90). Os sensores 10HS (*Decagon*) tiveram classificação "Muito bom" (c = 0,82–0,83), porém com menor precisão (r² = 0,72–0,73). Concluiu-se que a calibração in situ, baseada na umidade gravimétrica, aumenta significativamente a acurácia das leituras, viabilizando o uso desses sensores para irrigação de precisão e economia hídrica no Cerrado. Recomenda-se a aplicação do método em outros perfis de solo da região.

PALAVRAS-CHAVE: sensores, calibração, umidade

CALIBRATION OF SENSORS FOR ESTIMATING SOIL MOISTURE IN THE CERRADO MINEIRO

ABSTRACT: This study aimed to calibrate sensors (models 10HS *Decagon* and SM150T *DeltaT*) to estimate the moisture content of a medium-textured dystroferric Red Latosol, aiming to obtain information for irrigation management in the Cerrado Mineiro. For this purpose, the

¹ Engenheiro Agrônomo, Universidade Federal de Uberlândia – Campus Monte Carmelo, CEP 38500-000, Monte Carmelo, MG, e-mail: deyvidgallet@ufu.br.

² Discente do curso de Agronomia, Universidade Federal de Uberlândia – Campus Monte Carmelo, MG.

sensors were installed in pots with saturated soil and were monitored daily by gravimetric weighing on a high-precision scale. The sensor response was corrected for the influence of temperature, and the data were subjected to statistical analysis, including linear regression and agreement (d) and confidence (c) indices. The results demonstrated that the SM150T (*DeltaT*) sensor presented "Excellent" performance ($c = 0.92$), with a high correlation coefficient ($r = 0.95$) and determination ($r^2 = 0.90$). The 10HS sensors (*Decagon*) were rated "Very good" ($c = 0.82$ – 0.83), but with lower precision ($r^2 = 0.72$ – 0.73). It was concluded that in situ calibration, based on gravimetric moisture, significantly increases the accuracy of readings, enabling the use of these sensors for precision irrigation and water savings in the Cerrado. It is recommended to apply the method to other soil profiles in the region.

KEYWORDS: sensors, calibration, humidity

INTRODUÇÃO

Um dos métodos mais utilizados para medir o conteúdo de água no solo é através de sensores que fazem a medição de forma indireta como é o caso do sensor potencial. A medição correta auxilia no manejo da irrigação, proporcionando economia de água em sistemas de cultivo. Porém a estimativa da umidade do solo utilizando a calibração padrão dos sensores pode proporcionar erros elevados, devido a resposta variada dos sensores sob diferentes propriedades do solo. As calibrações desses dispositivos devem ser exclusivas para cada tipo de solo, podendo variar conforme as características físicas e químicas, portanto é importante que o ajuste seja realizado no solo em que será utilizado com o objetivo de reduzir medidas incoerentes. A gravimetria é o método direto que consiste na obtenção da umidade por diferença de massa de solo e água a partir de volumes conhecidos e que possui boa confiabilidade para o ajuste da calibração dos sensores (OLIVEIRA, 2019). Dessa forma, o objetivo do trabalho foi realizar a calibração de diferentes sensores de solo em solo do cerrado mineiro.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido em casa de vegetação da Universidade Federal de Uberlândia, campus Monte Carmelo. Os sensores utilizados nas avaliações foram os modelos 10HS (*Decagon*) com três sensores avaliados e o modelo SM150T (*DeltaT*) com um modelo

avaliado, conectados um registrador de dados modelo CR1000 (*Campbell Scientific*). Os sensores foram inseridos em vaso contendo solo peneirado (Figura 1) do tipo Latossolo Vermelho distroférico (LVdf) de textura média (EMBRAPA, 2013), e a curva de retenção do solo da avaliação é representado pela Figura 2.

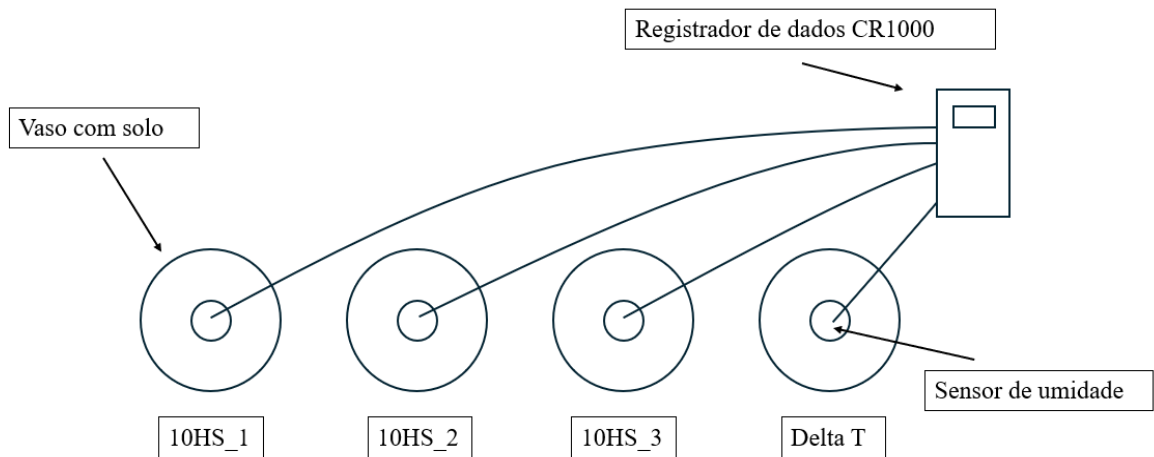


Figura 1. Diagrama de montagem do experimento.

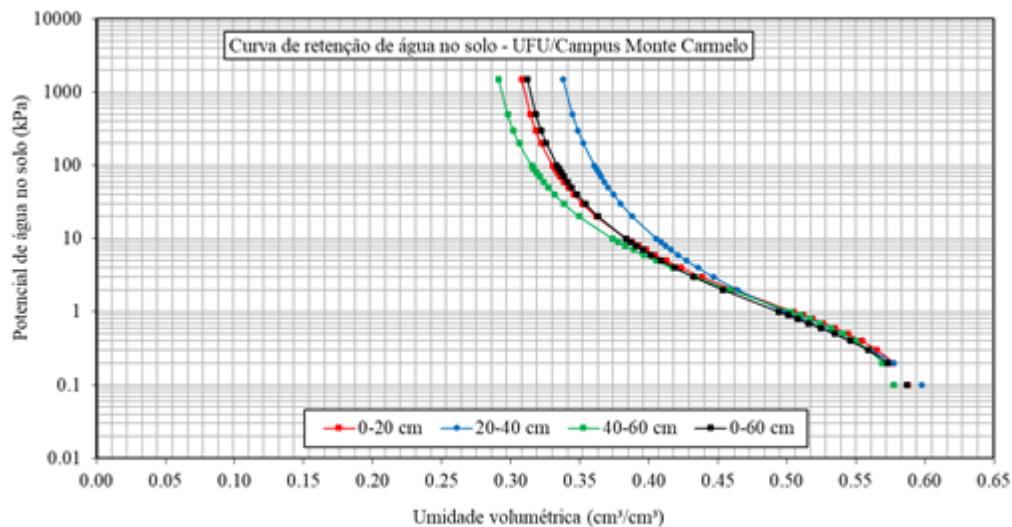


Figura 2. Gráfico de curva de retenção de água no solo da Universidade Federal de Uberlândia - Campus Monte Carmelo.

A massa de solo inserido nos vasos juntamente com os sensores já instalados, as pesagens após saturação com água e as avaliações ao longo dos dias, foram realizadas em uma balança marca Elgin DP15-Plus com precisão de três casas decimais. Após inserir um volume conhecido de água, os vasos foram pesados diariamente as 8 horas da manhã, até que as últimas três pesagens fossem estáveis sendo esta medida, condição de solo seco. Após a coleta dos dados de massa no final da avaliação, e aquisição dos registros dos sensores, os dados foram

planilhados para análise estatística. Os seguintes cálculos foram realizados para obtenção da massa úmida corrigida e umidade base peso:

$$\theta = U \times dg \quad (1)$$

Em que,

θ – Umidade base volume (%);

U – Umidade base massa seca (g/g);

dg – Densidade global (g/cm³)

A variação na temperatura foi um fator de erro na resposta dos sensores, isto é, normalizada para a temperatura de 30°C pela equação:

$$mV_{\text{corrigido}} = \frac{T_{30^{\circ}\text{C}} \times mV_{\text{obs.}}}{T_{\text{obs.}}} \quad (2)$$

Em que,

mV_{corrigido} – Resposta corrigida do sensor;

T_{30°C} – Temperatura em 30°C;

mV_{obs.} – Resposta observada do sensor;

T_{obs.} - Temperatura registrada na aquisição do dado.

Após os cálculos de resposta corrigida dos sensores, umidade base peso e massa úmida corrigida, foi possível extrair a equação linear dos gráficos e realizar o índice de concordância (d) proposto por WILLMOTT et al., (1985), onde os valores podem variar de 0 (nenhuma concordância) a 1 (concordância absoluta). O índice c ou índice de confiança, proposto por CAMARGO & SENTELHAS (1997), foi calculado para análise e interpretação dos dados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos são apresentados nas figuras (3 e 4) abaixo e a partir da equação linear dos gráficos, foi possível estimar os coeficientes angular (b), linear (a) e de determinação (r²).

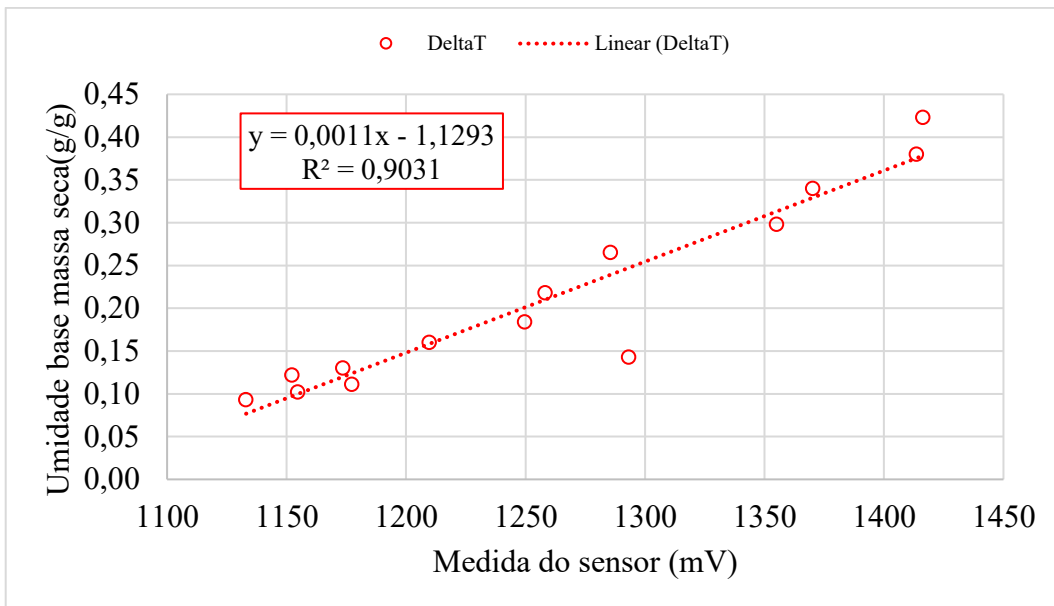


Figura 3. Gráfico de dispersão da umidade base massa seca (g/g) em função da resposta do sensor DeltaT (mV).

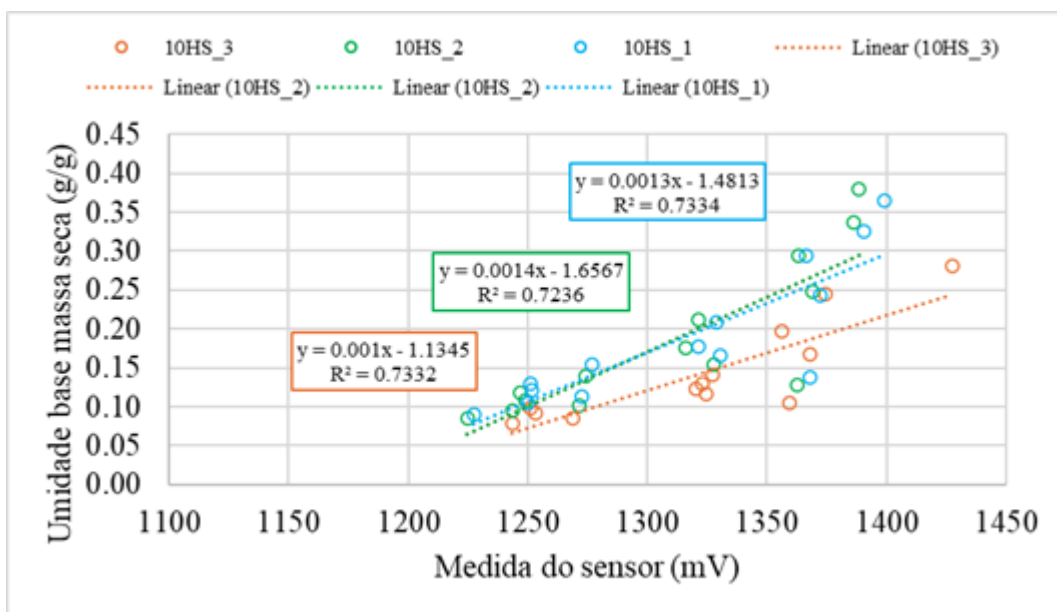


Figura 4. Gráfico de dispersão da umidade base massa seca (g/g) em função da resposta dos sensores 10HS (mV).

Com os coeficientes estimados nos gráficos, e as respostas dos sensores corrigidas à temperatura de 30°C, foi possível obter as respostas do sensor para cada umidade base peso (U). As equações angular, linear e de determinação estão disponíveis na tabela 1, juntamente com os coeficientes de correlação (r), índice de concordância (d) e índice de confiança (c) e sua respectiva classificação segundo CAMARGO & SENTELHAS (1997), onde: $c > 0,85$ (Ótimo), $0,76 > c < 0,85$ (Muito bom), $0,66 > c < 0,75$ (Bom), $0,61 > c < 0,65$ (Mediano), $0,51 > c < 0,60$ (Sofrível), $0,41 > c < 0,50$ (Mau) e $c < 0,40$ (Péssimo).

Tabela1. Coeficientes estimados das equações e suas respectivas classificações.

Sensor	C. angular (b)	C. linear (a)	C. determinação (r ²)	C. correlação (r)	Índice de concordância (d)	Índice de confiança (c)	Classificação
DeltaT	0.0011	-1.1293	0.9031	0.9503	0.9707	0.9224	Ótimo
10HS_1	0.0013	-1.4813	0.7334	0.8564	0.9777	0.8373	Muito Bom
10HS_2	0.0014	-1.6567	0.7236	0.8506	0.9770	0.8310	Muito Bom
10HS_3	0.0010	-1.1345	0.7332	0.8563	0.9692	0.8299	Muito Bom

Spelman et al. (2013) comprovaram que a calibração padrão do sensor 10HS superestima a umidade volumétrica em solos agrícolas do sudoeste da Flórida (SWFL), induzindo subirrigação. Os autores desenvolveram uma equação regional para solos arenosos (>97% areia), aplicável a >80% da área, que reduziu erros para $\pm 1\%$ e eliminou a necessidade de calibração local, promovendo irrigação precisa e economia hídrica. Neste estudo, resultados similares foram observados após calibração específica para o Cerrado mineiro, com índices de confiança de 0,92 (DeltaT - *Ótimo*) e 0,82–0,83 (sensores 10HS - *Muito Bom*), validando a umidade gravimétrica como parâmetro de referência.

CONCLUSÕES

Conclui-se que a realização da calibração dos sensores em solo local utilizando como base a umidade gravimétrica, melhora a resposta dos sensores que auxiliam no manejo da irrigação em campo.

AGRADECIMENTOS

Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais - Fapemig

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAMARGO, Ângelo Paes; SENTELHAS, Paulo Cesar. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 5, n. 1, p.89-97, mai. 1997.

CAMPBELL, Colin S.; CAMPBELL, Gaylon S. Soil Moisture Sensors: How They Work. **Why Some Are Not Research Grade**. Meter Group. Disponível em: <https://metergroup.com/br/measurement-insights/soil-moisture-sensors-how-they-work-why-some-are-not-research-grade/>. Acesso em: 29 maio 2024.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2. ed. p.212. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do abastecimento, 1997.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. p.353, Rio de Janeiro: Embrapa Informação Tecnológica, 2013.

OLIVEIRA, Lorena Alves, et al. Calibração da sonda de capacitância FDR em Latossolo Vermelho distrófico argiloso do Cerrado. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 12, n. 3, p. 145-155, 2019.

SPELMAN, David.; KINZLI, Kristoph Dietrich; KUNBERGER, Tanya. Calibration of the 10HS Soil Moisture Sensor for Southwest Florida Agricultural Soils. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 139, n. 12, p. 965–971, 2013.

WILLMOTT, Cort J. Some comments on the evaluation of model performance. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 63, n. 11, p. 1309–1313, 1982.