

Calibração e Avaliação de Sensores de Umidade do Solo Para Monitoramento da Umidade do Solo por meio da Plataforma Arduino

Mario Ney da Silva Almeida¹, Wenderson Willy Lima Ferreira¹, Adriano Bicioni Pacheco¹, Ailson Maciel de Almeida², Debora Pantojo de Souza², Arthur Carniato Sanches²

RESUMO: O sistema de monitoramento da umidade do solo é de suma importância para o setor agrícola como a irrigação, sendo utilizado como recurso de melhoramento de campo no quesito de monitorar o uso da água. Assim, o trabalho teve como objetivo calibrar e avaliar sensores de umidade do solo utilizando a plataforma Arduino. O seguinte trabalho foi desenvolvido no laboratório da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA). As amostras foram obtidas no território do Campus Tomé-Açu, em vegetação de mata secundária com o solo tendo a classificação de Latossolo Vermelho-Amarelo. Foram utilizados três sensores modelo (YL-69) e seis sensores de umidade do solo anticorrosivos (S-12), os quais foram instalados em vasos de polietileno contendo aproximadamente 1,0 dm³ de solo. Os sensores foram conectados a um sistema de aquisição de dados composto por um microcontrolador Arduino[®] UNO. Os sensores YL-69 apresentaram um bom ajuste ao modelo de regressão linear ($R^2 > 0,90$). Por sua vez, os sensores S-12 (anticorrosivo) obtiveram melhor ajuste ao modelo matemático de potência, com coeficientes de determinação na faixa de 0,8312 a 0,8554. Os sensores YL-69 e S-12 apresentaram ajustes satisfatórios para a curva de calibração acima do coeficiente de determinação de 0,83.

PALAVRAS-CHAVE: Monitoramento, Irrigação, Automação e Instrumentação Agrícola.

Calibration and Evaluation of Soil Moisture Sensors for Soil Moisture Monitoring using the Arduino Platform

ABSTRACT: Soil moisture monitoring systems are extremely important for agricultural sectors such as irrigation, and are used as a resource for field improvement in terms of monitoring water use. Thus, the aim of this study was to calibrate and evaluate soil moisture

¹ Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA

² Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD

sensors using the Arduino platform. Following study was developed in the laboratory of the Federal Rural University of the Amazon (UFRA). The samples were obtained in the territory of the Tomé-Açu Campus, in secondary forest vegetation with soil classified as Red-Yellow Latosol. Three model sensors (YL-69) and six anti-corrosive soil moisture sensors (S-12) were used, which were installed in polyethylene pots containing approximately 1.0 dm³ of soil. All of these were connected to a data acquisition system consisting of an Arduino[®] UNO microcontroller. The YL-69 sensors showed a good fit to the linear regression model ($R^2 > 0.90$). In turn, the S-12 sensors (anti-corrosive) obtained a more appropriate adjustment to the mathematical power model, with determination coefficients in the range of 0.8312 to 0.8554. The YL-69 and S-12 sensors presented satisfactory adjustments to the calibration curve above the determination coefficient of 0.83.

KEYWORDS: Monitoring, Irrigation, Agricultural Automation and Instrumentation.

INTRODUÇÃO

O conhecimento da água disponível no perfil do solo é um fator de grande relevância nas atividades agrícolas, é indispensável no desenvolvimento das culturas. Visto que a frequência da irrigação vai depender da quantidade de água armazenada no solo (Buske et. al., 2013).

A agricultura moderna está cada vez mais dependente de ferramentas digitais e automação para a maximização da produtividade da água aplicada por unidade do produto agrícola obtido, e neste sentido, várias tecnologias têm sido propostas para conduzir o monitoramento por meio de plataformas digitais da umidade do solo.

O contexto moderno do desenvolvimento de processos de digitalização dos sistemas produtivos, no contexto da internet das coisas, associado ao “Movimento Maker”, popularizou a aplicação de sistemas embarcados com Arduino para várias aplicações (agrícola, residencial, industrial, etc) (Burbon et. al., 2016, Azevedo et. al., 2024), do desenvolvimento das inteligências artificiais, associado à crescente acumulação de dados na agricultura, têm possibilitado análises mais detalhadas de processos e sua otimização (Gao et. al., 2025). Um dos fatores importantes na correta aplicação destas tecnologias é o conhecimento do comportamento dos sensores utilizados na coleta dos dados envolvendo os fatores que influenciam as atividades, tais como, sensores de parâmetros climáticos, umidade de solo, de monitoramento do funcionamento de máquinas agrícolas etc.

Com relação aos sensores de solo, a diversidade de modelos e de princípios de funcionamento, exige critérios técnicos para sua escolha, tais como, aplicabilidade no ambiente, acurácia na coleta dos dados em diversos tipos de solo, durabilidade, custo, facilidade de manuseio e instalação, entre outros. É necessário afirmar, que dentre estes fatores, a calibração é um fator que deve ser levando em conta, para qualquer modelo que se escolha, uma vez que para cada sensor que venha a ser instalado, mesmo que de mesmo modelo, pode haver variações na curva de resposta do sensor com relação à umidade do solo (Todd et. al., 2025). Diante exposto, o objetivo do trabalho foi calibrar e avaliar os sensores de umidade do solo utilizados na plataforma Arduino.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento de calibração dos sensores de umidade do solo foi realizado no Laboratório de Engenharia de Água e Solo da Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus Tomé-Açu, Pará, situado na latitude $-2^{\circ}40'449,63''$, longitude $-48^{\circ}16'429,56''$ e na altitude de 19 m.

As amostras foram obtidas no Campus Tomé-Açu, em vegetação de mata secundária com o solo tendo a classificação de Latossolo Vermelho-Amarelo. A coleta foi realizada a uma profundidade de 20 cm. Posteriormente, para a remoção de detritos como galhos, folhas e raízes, o material foi peneirado com auxílio de peneiras de 2,5 mm. Após esse processo, foram conduzidas ao laboratório, e acondicionadas em 9 vasos, com uma altura de 80,7 mm, um diâmetro inferior de 96,7 mm e um diâmetro superior de 127,2 mm. Após este preparo, as amostras passaram por saturação durante 24 horas e posterior secamento ao ar, para, então serem submetidas aos ensaios de laboratório.

Foram utilizados 6 sensores de umidade do solo anticorrosivos e 3 sensores modelo YL-39, os quais foram instalados em vasos pote nº. 14 de polietileno com o solo. Os sensores foram conectados a um sistema de aquisição de dados composto por um microcontrolador Arduino® UNO, exercido por uma programação de um código com linguagem C++, no ambiente de desenvolvimento do Arduino para a coleta de dados analógicos dos sensores (IDE). Os sensores são exibidos nas figuras 1A e 1B



Figura 01: A sensor de umidade do solo capacitivo; B: Sensor de umidade do solo YL-69.

Após a conclusão da coleta de dados, as amostras de solo foram submetidas a um processo de secagem em estufa a uma temperatura de 105°C por um período de 72 horas, adaptado (Teixeira et. al., 2017), a fim de determinar o teor final de água presente nas amostras de solo e a massa seca de solo de cada vaso.

A partir dos dados gravimétricos e o valor do solo seco foi estimada umidade gravimétrica (Eq. 1), a qual foi corrigida por meio densidade do solo, para obtenção da umidade volumétrica (Eq. 2).

$$CGA = (a-b)/b \tag{1}$$

CGA – conteúdo gravimétrico de água (umidade em base gravimétrica), em $kg\ kg^{-1}$.

a – Massa da amostra úmida, em g.

b – Massa da amostra seca a 105 °C até atingir peso constante, em g.

$$CVA = (a-b)/c \text{ ou } CVA=CGA*Ds \tag{2}$$

CVA – Conteúdo volumétrico de água (umidade em base volumétrica), em $m^3\ m^{-3}$.

Normalmente assume-se que o valor da densidade da água é igual a $1,00\ g\ cm^{-3}$.

CGA – conteúdo gravimétrico de água (umidade em base gravimétrica), em $kg\ kg^{-1}$.

a – Massa da amostra úmida, em g.

b – Massa da amostra seca a 105°C até atingir peso constante, em g.

c – Volume da amostra, em cm^3 .

Ds – Densidade do solo, em $g\ cm^{-3}$ (equivalente a $kg\ dm^{-3}$).

Os dados foram submetidos a regressão diferentes modelos matemáticos para escolha da curva de calibração de cada sensor que obteve o melhor ajuste, considerando o coeficiente de determinação, com auxílio da plataforma Excel.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os sensores do YL-69 apresentaram ajustes ao modelo de regressão linear com comportamento decrescente. Os coeficientes de determinação (R^2) variaram de 0,8648 a 0,9085 demonstrando um bom ajuste (Figura 1). Esses valores R^2 apresentam-se “muito bons”, considerando os critérios de classificação de Moriasi et al., (2015).

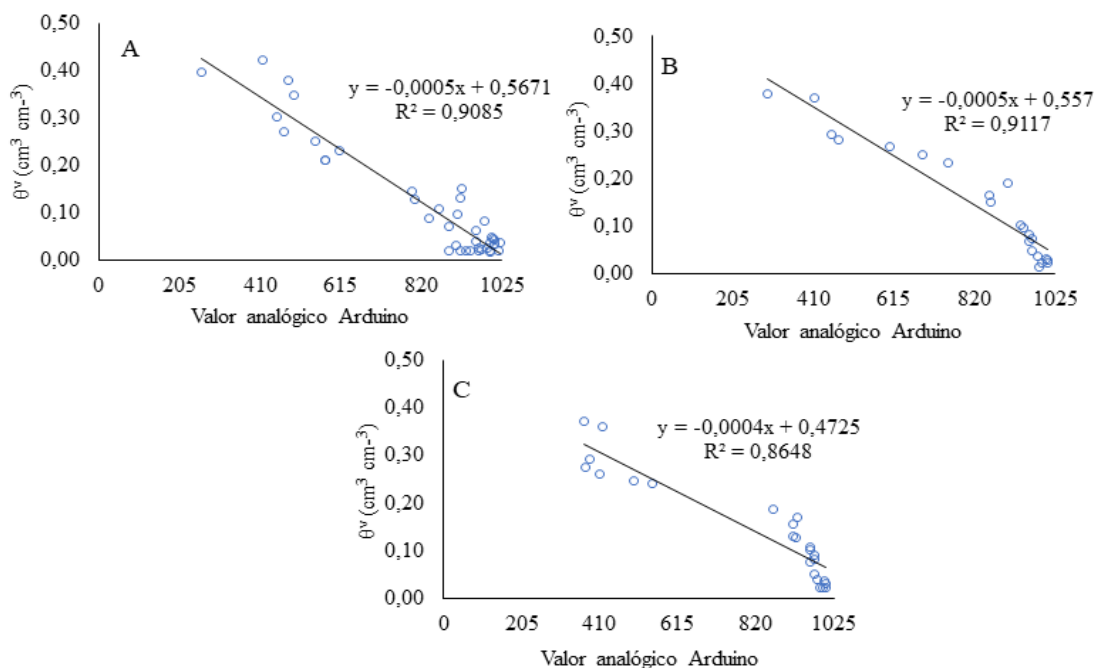


Figura 1. Curvas de calibração dos sensores YL-69 dos exemplares A (A), B (B) e C (C).

Jiménez (2018), trabalhou com a calibração do sensor YL-69 para quatro classes de solo e observou que para cada tipo de solo as curvas de calibração se ajustaram a diferentes modelos, sendo regressão linear e quadrática e modelo exponencial, concluindo que para cada tipo de solo é necessária uma calibração específica. Nesse trabalho também foi observado que as curvas de calibração tiveram ajustes “muito bons” ($R^2 > 0,92$).

Por sua vez, os sensores S-12 (anticorrosivo) obtiveram ajuste mais apropriado ao modelo matemático potencial, com coeficientes de determinação na faixa de 0,8312 a 0,8554; a qual se classifica como “bom”, segundo a classificação de Moriasi et al., (2015).

Nesse ajuste, observa-se que no início da curva do modelo, há uma redução maior dos valores de umidade, enquanto, há um leve aumento dos valores analógicos obtidos pelos sensores; por outro lado, a partir do meio da curva em diante, a diminuição dos de umidade é menor e os valores analógicos aumentam em uma taxa, nessa condição os sensores são mais sensíveis aos solos com menor conteúdo de água (Figura 2).

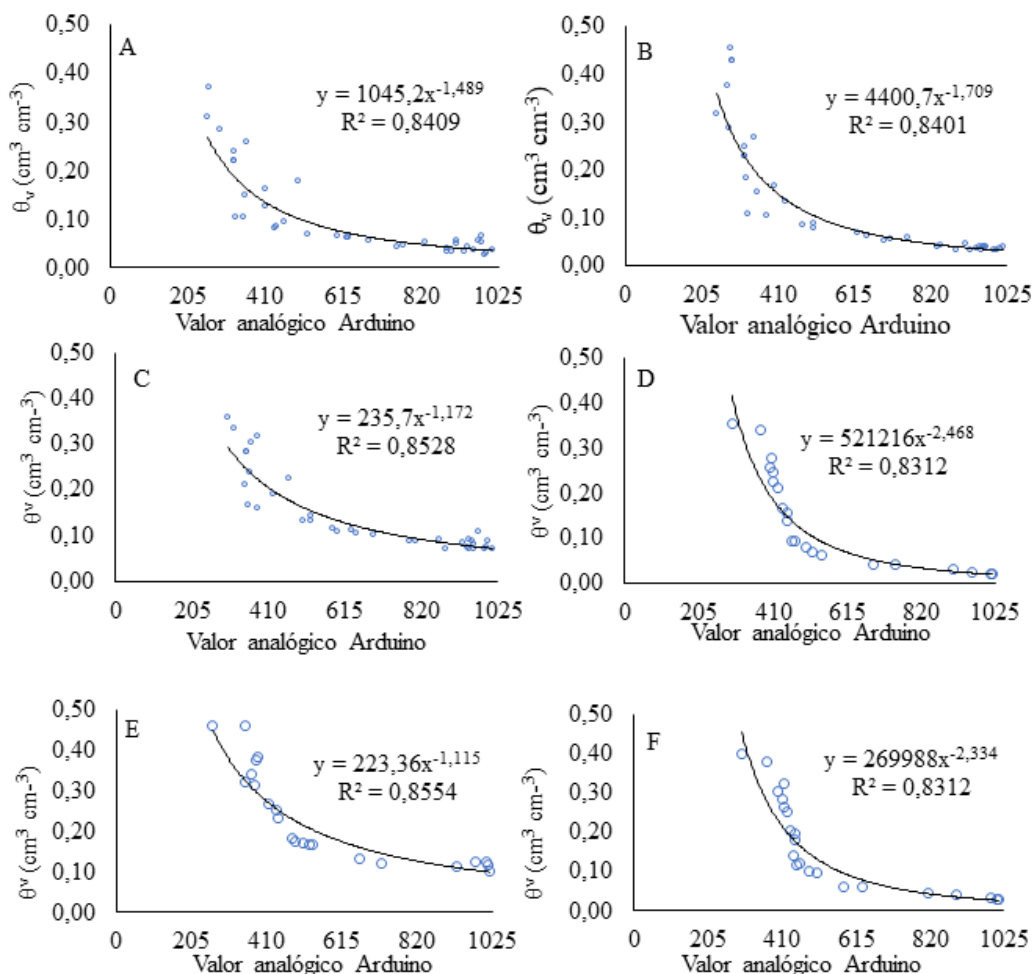


Figura 2. Curvas de calibração dos sensores S-12 dos exemplares A (A), B (B), C (C), D (D), E (E) e F (F).

Silva et al., (2018), trabalharam com a avaliação do desempenho de diferentes sensores de umidade do solo (um exemplar de cada tipo) em quatro classes de solos, nesse estudo os sensores que utilizavam alguma propriedade dielétrica do solo apresentaram ajuste ao modelo linear de regressão. Os autores observaram que para os modelos de baixo custo (XH300 e PM100), não é recomendado o uso em pesquisas científicas, também concluíram que é necessária uma calibração específica para cada classificação do solo.

Os sensores YL-69 (Figura A) apresentaram um bom ajuste ao modelo de regressão linear, entretanto, os sensores obtiveram curvas de calibração levemente discrepantes entre os sensores desse mesmo modelo. Pode-se observar que a curva de calibração do exemplar YL-69 (C) está afastada dos demais quando o solo estava mais úmido enquanto o exemplar YL-69 (A) obteve a sua curva se distanciando dos demais quando o solo se apresentava mais seco (Figura 3 (A)).

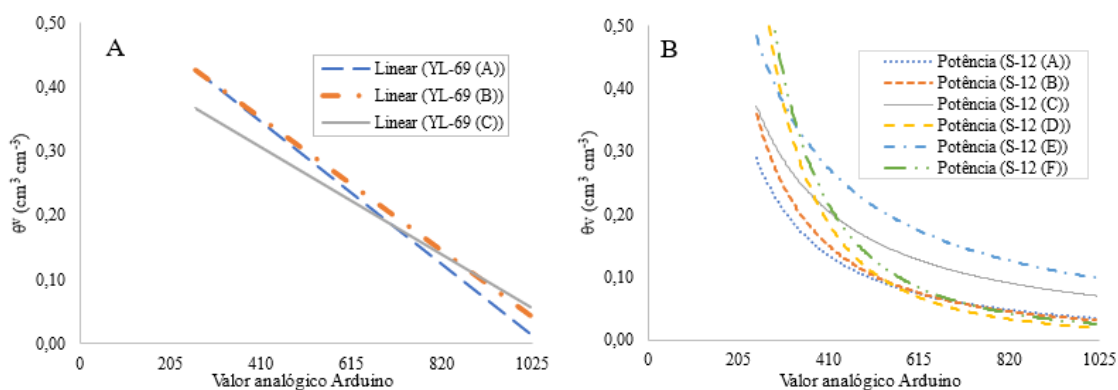


Figura 3. Comparativos entre os ajustes dos modelos dos sensores YL-69 (A), e S-12 (B).

Para os exemplares do modelo S-12, observou-se uma discrepância maior entre as curvas de calibração. Nota-se com maior diferença entre as curvas dos exemplares (A) e (E) (Figura 7 (B)). Para ambos os modelos calibrados (YL-69 e S-12), ressaltar-se que há necessidade de calibração específica para cada exemplar. Esse comportamento individual dos sensores de solo foi observado por (Balthazar et. al., 2025) que analisando a capacidade de sensores de umidade no monitoramento de teor de água em cama de frango, também observou que a calibração é necessária individualmente para sensores do mesmo modelo.

CONCLUSÕES

Os sensores YL-69 e S-12 apresentaram ajustes satisfatórios para a curva de calibração acima do coeficiente de determinação de 0,83. Para cada exemplar, de mesmo modelo utilizado na plataforma Arduino, é necessário fazer a calibração específica. O modelo YL-69 apresentou uma avaliação da calibração “muito boa”, tendo um melhor desempenho de calibração.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AZEVEDO, Angelo Tiago et al. Development of an Automatic Weather Station for Irrigation Management via IoT. **Agricultural Research**, p. 1-10, 2024.

BALTHAZAR, Glauber da Rocha et al. Development of an electromechanical device for real-time detection of litter moisture in commercial broiler. **Smart Agricultural Technology**, v. 12, p. 13, 2025.

BARBON, Gianluca et al. Taking Arduino to the Internet of Things: The ASIP programming model. **Computer Communications**, v. 89, p. 128-140, 2016.

BUSKE, T. C. - Comportamento da umidade do solo determinada por métodos expeditos / Taise Cristine Buske, - 2013, 67 f.

DA SILVA, Tonny José Araújo et al. Evaluation of various soil moisture sensors in four different soil types. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 34, n. 6, p. 963-971, 2018.

GAO, Wenli; BAI, Runnan; LING, Shengjie. Artificial Intelligence-Enabled Cellular Agriculture: Multiscale Modeling, Process Optimization, and Future Directions. **Trends in Food Science & Technology**, p. 105193, 2025.

JIMÉNEZ, A. L. Á. C. **Calibração do sensor de umidade do solo modelo yl-69 para manejo da irrigação** / – Recife, 2018.

MORIASI, D. N., GITAU, M. W., PAI, N., & DAGGUPATI, P. Hydrologic and water quality models: Performance measures and evaluation criteria. **Transactions of the ASABE**, v.58, n.6, 1763-1785, 2015.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. – 3. ed. rev. e ampl. – Brasília, DF : Embrapa, 2017. 574p. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1085209/manual-de-metodos-de-analise-de-solo>>.

TODD, M. et al. Quantifying Inter-and Intra-Sensor Variability in Low-Cost Soil Moisture and Soil Temperature Sensors: A Comparative Study. **Smart Agricultural Technology**, p. 101186, 2025.