

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 FERREIRA²;
AILSON MACIEL DE ALMEIDA³; ADRIANO BICIONI PACHECO⁴; DEBORA
PANTOJO DE SOUZA⁵ E ARTHUR CARNIATO SANCHES⁶

¹ Campus Tomé-Açu, Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Rodovia PA- 451, Km-03, Bairro: Açaizal, CEP: 68.680-000, Tomé-Açu, Pará, Brasil e e-mail neym7993@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-7852-9918>

² Campus Tomé-Açu, Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Rodovia PA- 451, Km-03, Bairro: Açaizal, CEP: 68.680-000, Tomé-Açu, Pará, Brasil e e-mail wendersonwilly13@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-8401-0631>

³ Faculdade de Ciências Agrárias (FCA), Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Rodovia Dourados-Itahum, Km 12, Cidade Universitária, Caixa Postal 364, Dourados, Mato Grosso do Sul, Brasil, Cep: 79.804-970, e e-mail: ailson.m.almeida@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/my-orkid?orkid=0000-0002-8561-679X>

⁴ Campus Tomé-Açu, Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Rodovia PA- 451, Km-03, Bairro: Açaizal, CEP: 68.680-000, Tomé-Açu, Pará, Brasil e e-mail: adrianopacheco@ufgd.edu.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5991-7997>

⁵ Faculdade de Ciências Agrárias (FCA), Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Rodovia Dourados-Itahum, Km 12, Cidade Universitária, Caixa Postal 364, Dourados, Mato Grosso do Sul, Brasil, Cep: 79.804-970, e e-mail: deborasouza@ufgd.edu.br ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7483-3898>

⁶ Faculdade de Ciências Agrárias (FCA), Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Rodovia Dourados-Itahum, Km 12, Cidade Universitária, Caixa Postal 364, Dourados, Mato Grosso do Sul, Brasil, Cep: 79.804-970, e e-mail: arthursanches@ufgd.edu.br ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2379-0634>

1 RESUMO

O monitoramento da umidade do solo é de suma importância para o manejo de sistemas irrigados, promovendo o uso eficiente de água na. Assim, o trabalho teve como objetivo calibrar e avaliar sensores de umidade do solo utilizando a plataforma Arduino. O trabalho foi desenvolvido no laboratório da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA). As amostras de solo foram obtidas no território do Campus Tomé-Açu, em vegetação de mata secundária, sendo o solo classificado como 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.

Keywords: Monitoramento, Irrigação, Automação e Instrumentação Agrícola.

ALMEIDA, M. N. S.; FERREIRA, W. W. L.; ALMEIDA, A. M.; PACHECO, A. B.;
SOUZA, D. P.; SANCHES, A. C.
CALIBRATION AND EVALUATION OF SOIL MOISTURE SENSORS FOR SOIL
MOISTURE MONITORING USING THE ARDUINO PLATFORM

2 ABSTRACT

Monitoring soil moisture is highly important for the management of irrigated systems and promotes the efficient use of water. Thus, this study aimed to calibrate and evaluate soil moisture sensors using the Arduino platform. The work was carried out in the laboratory of the Federal Rural University of the Amazon (UFRA). Soil samples were obtained from the Tomé-Açu Campus territory in secondary forest vegetation, with the soil classified as red–yellow latosol. Three (YL-69) model sensors and six anti-corrosive soil moisture sensors (S-12) were used, which were installed in polyethylene pots containing approximately 1.0 dm³ of soil. The sensors were connected to a data acquisition system consisting of an Arduino® UNO microcontroller. The YL-69 sensors fit the linear regression model well ($R^2 > 0.90$). In turn, the S-12 (anti-corrosive) sensors achieved a better fit to the power mathematical model, with coefficients of determination in the range of 0.8312 to 0.8554. Both the YL-69 and S-12 sensors showed satisfactory fits for the calibration curve above the coefficient of determination of 0.83.

Keywords: Monitoring, Irrigation, Agricultural Automation and Instrumentation.

3 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) (Barbon *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 YL-69 e S12 conectados a uma plataforma Arduino.

4 MATERIAL E MÉTODOS

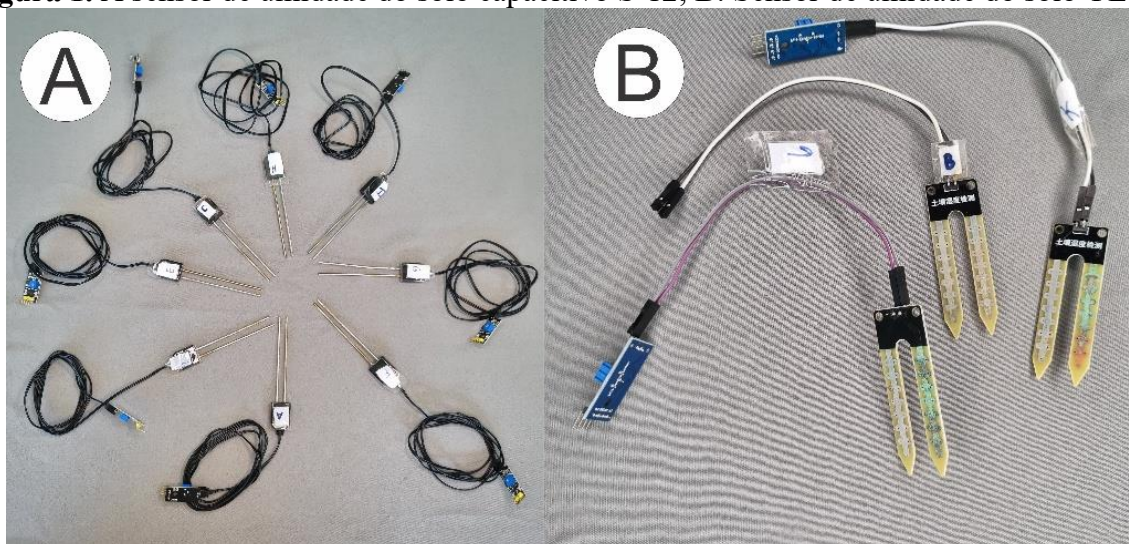
O experimento de calibração dos sensores de umidade do solo foi realizado no Laboratório de Engenharia de Água e Solo da Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus Tomé-Açu, Pará, situado na latitude $-2^{\circ}40'449,63''$, longitude $-48^{\circ}16'429,56''$ e na altitude de 19 m.

Para a composição dos vasos, foi coletado solo a uma profundidade de 0,20 m, sob vegetação de mata secundária do Campus Tomé-Açu, o solo característico da área é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (Brasil;

Cravo; Viegas, 2020). Posteriormente, para a remoção de detritos como galhos, folhas e raízes, o material foi peneirado com auxílio de peneiras da 2,5 mm. Após esse processo, foram conduzidas ao laboratório, e acondicionadas em nove 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 com água durante 24 horas e posterior secamento ao ar, para, então serem submetidas aos ensaios de laboratório.

Foram utilizados seis sensores de umidade do solo anticorrosivos e três sensores modelo YL-69, os quais foram instalados em vasos pote n.º 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++, editado na plataforma Arduino IDE®, no ambiente de desenvolvimento do Arduino para a coleta de dados analógicos dos sensores (IDE) (Quadro 1). Os sensores são exibidos nas figuras 1A e 1B.

Figura 1. A sensor de umidade do solo capacitivo S-12; B: Sensor de umidade do solo YL-69.



Fonte: Os autores.

Quadro 1. Exemplo de código utilizado na coleta de dados.

```

#define pinSensorA A0 //identifica as entradas analógicas de cada sensor
#define pinSensorB A2
#define pinSensorC A4
#define pinSensorD A5

void setup (){
  Serial.begin(9600); //Inicializa o Serial Monitor
}
void loop(){
  Serial.print("Valor A = "); //Imprime texto no Monitor Serial
  Serial.print(analogRead(pinSensorA));
  Serial.print("; ");
  Serial.print("Valor B = ");
  Serial.print(analogRead(pinSensorB));
  Serial.print("; ");
  Serial.print("Valor C = ");
  Serial.print(analogRead(pinSensorC));
  Serial.print("; ");
  Serial.print("Valor D = ");
  Serial.print(analogRead(pinSensorD));
  Serial.println("; ");
  delay(1000);
}

```

Fonte: Os autores

A coleta dos dados se processou por intermédio de um microcontrolador Arduino[®] alimentado diretamente pelo computador por meio de uma porta USB 5V. As informações foram atualizadas a cada um segundo no monitor serial do ambiente de programação do Arduino. Para realizar a pesagem das amostras analisadas foi utilizada uma balança de precisão com precisão de duas casas decimais. Inicialmente, procedeu-se à realização das pesagens iniciais, tanto com os sensores de umidade quanto sem eles, para obtenção do peso somente do solo no ponto de umidade analisado.

Esse procedimento foi conduzido como etapa preliminar antes de dar início às pesagens periódicas. A fim de coletar os dados dos sensores de umidade na plataforma Arduino, um período de 5 minutos foi observado para permitir a estabilização das leituras antes do início da

coleta. Posteriormente, esses dados foram registrados e armazenados em uma planilha eletrônica.

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 (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 por intermédio da Equação 1, a qual foi corrigida por meio densidade do solo, para obtenção da umidade volumétrica com a aplicação da Equação 2.

$$CGA = \frac{(a-b)}{b} \quad (1)$$

Onde:

CGA – conteúdo gravimétrico de água (umidade em base gravimétrica), em g g⁻¹.

a – Massa da amostra úmida, em g.

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

$$CVA = \rho * \frac{(a-b)}{c} \text{ ou } CVA = \rho * CGA * Ds \quad (2)$$

Onde:

CVA – Conteúdo volumétrico de água (umidade em base volumétrica), em m³ m⁻³.

ρ – massa específica da água a 4,0°C, em g cm⁻³;

Em que:

Ds – densidade do solo calculada considerando a amostra indeformada, em g cm⁻³.

mss – massa de solo seco mesmo deformado ou compactado após centrifugação (massa da amostra mais a massa do cilindro volumétrico, após secagem em estufa a 105°C até atingir peso constante, subtraídas da massa do anel vazio, limpo e seco), em g.

V – volume do cilindro, que corresponde ao volume original da amostra indeformada, em cm³.

Os dados foram submetidos a diferentes modelos matemáticos para

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 cm³.

Ds – Densidade do solo, em g cm⁻³ (equivalente a kg dm⁻³).

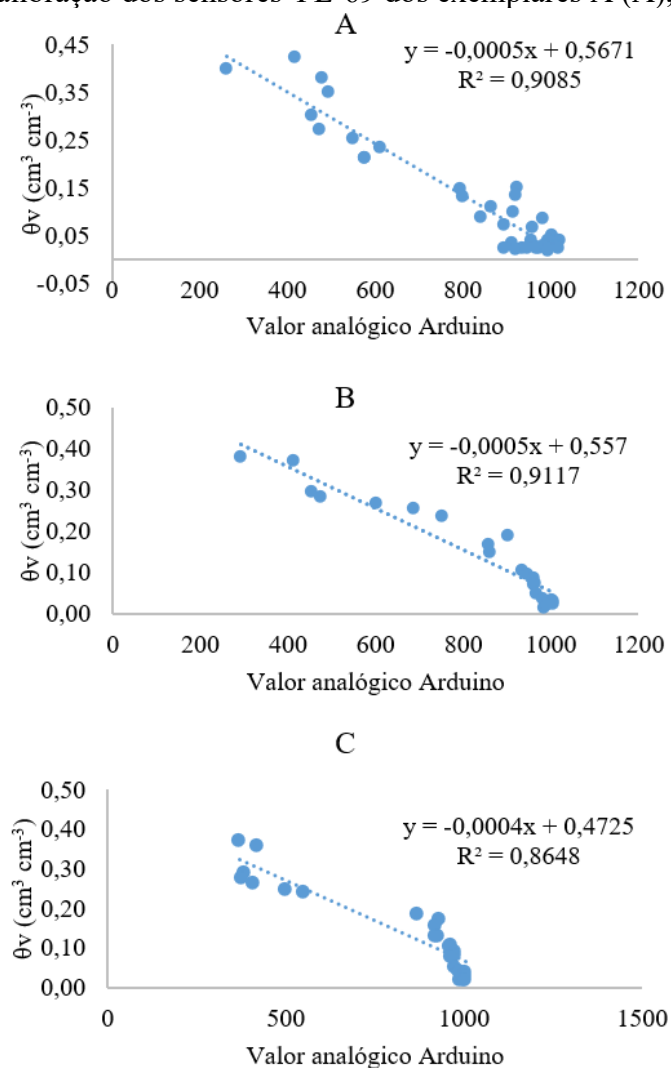
A densidade do solo foi determinada pelo método da amostra indeformada, recomendado pela EMBRAPA (Teixeira *et al.*, 2017), o qual é descrito na Equação 3.

$$Ds = \frac{Mss}{V} \quad (3)$$

escolha da curva de calibração de cada sensor que obteve o melhor ajuste, considerando o coeficiente de determinação, com auxílio da plataforma Excel.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os sensores do YL-69 apresentaram ajustes ao modelo de regressão linear com comportamento decrescente. Os coeficientes de determinação (R²) variaram de 0,8648 a 0,9085 demonstrando um bom ajuste e são exibidos na Figura 2. Esses valores R² apresentam-se “muito bons”, considerando os critérios de classificação de Moriasi *et al.* (2015).

Figura 2. Curvas de calibração dos sensores YL-69 dos exemplares A (A), B (B) e C (C).

Fonte: Os autores.

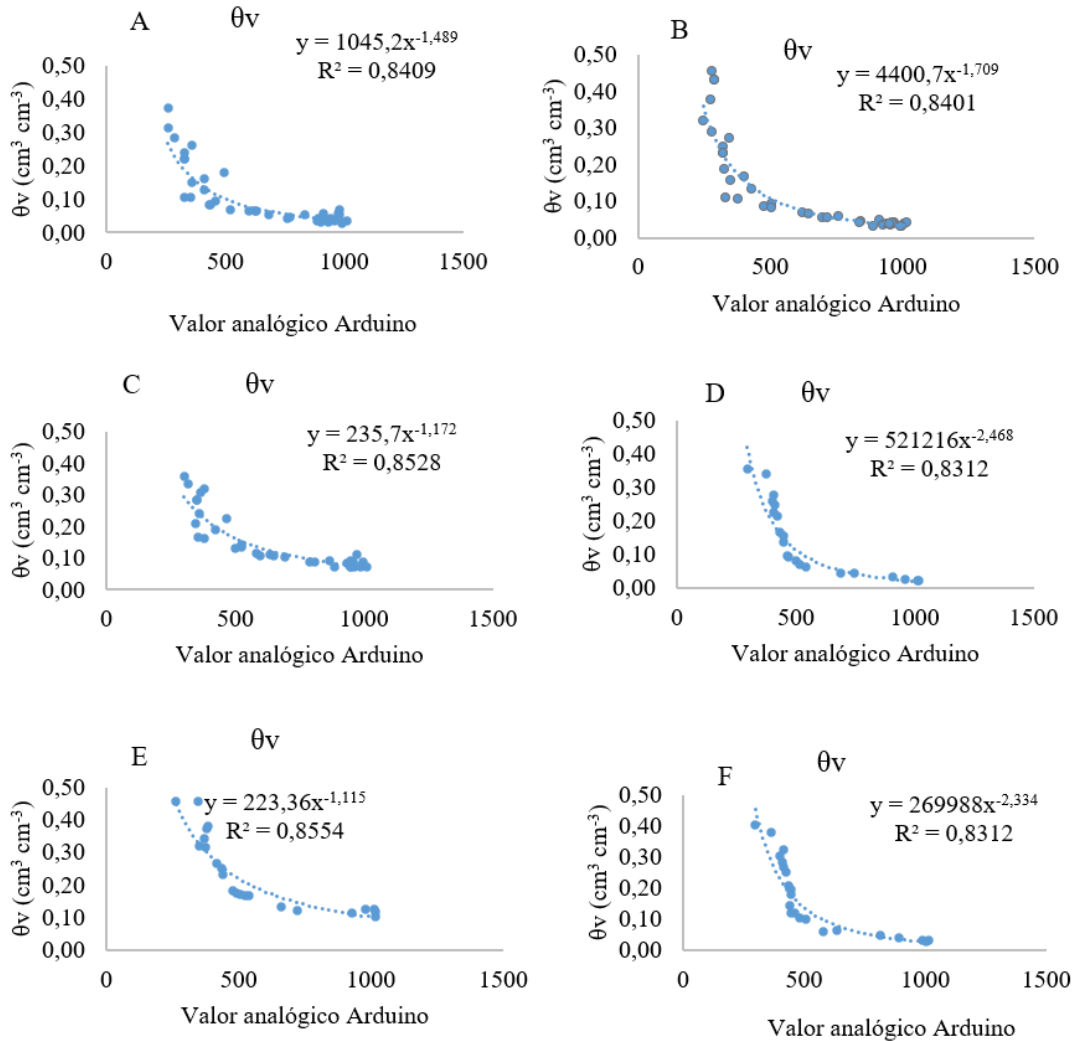
Jiménez (2018), trabalhou com a calibração do sensor YL-69 para quatro classes de solo e observou que para cada tipo de solo as curvas de calibração se ajustaram a diferentes modelos, sendo regressão linear e quadrática e modelo exponencial, concluindo que para cada tipo de solo é necessária uma calibração específica. Nesse trabalho também foi observado que as curvas de calibração tiveram ajustes “muito bons” ($R^2 > 0,85$).

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, os gráficos da Figura 3 apresentam os ajustes para os modelos S-12.

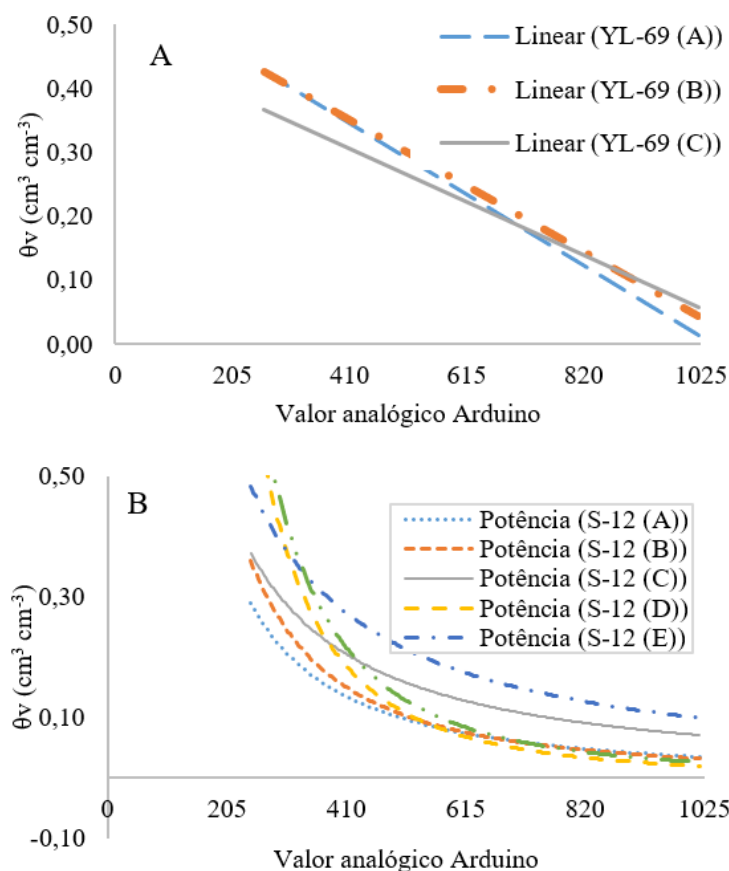
Figura 3. Curvas de calibração dos sensores S-12 dos exemplares A (A), B (B), C (C), D (D), E (E) e F (F).



Fonte: Os autores.

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 que são apresentados na Figura 4A 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 4A.

Figura 4. Comparativos entre os ajustes dos modelos dos sensores YL-69 (A), e S-12 (B).

Fonte: Os autores.

Para os exemplares do modelo S-12, observou-se uma discrepância maior entre as curvas de calibração. Como exibido na Figura 4B, nota-se com maior diferença entre as curvas dos exemplares (A) e (E). Para ambos os modelos calibrados (YL-69 e S-12), ressaltou-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.

6 CONCLUSÃO

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.

7 AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela concessão de bolsas de estudo, bem como à Universidade Federal Rural da Amazônia e Universidade Federal da Grande Dourados

(UFGD) pelo apoio nas várias etapas da condução deste trabalho.

8 REFERÊNCIAS

- AZEVEDO, A. T.; COELHO, R. D.; CARNEVSKIS, E. L.; ALMEIDA, A. M. de; TABILE, R. A. Development of an Automatic Weather Station for Irrigation Management via IoT. **Agricultural Research**, Washington, DC, v. 14, p. 1-10, 2024. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40003-024-00786-8>. Acesso em: 20 fev. 2026.
- BALTHAZAR, G. D. R.; SILVEIRA, R. M. F.; CRUZ, M. V. A. da; SILVA, I. J. O. da. Development of an electromechanical device for real-time detection of litter moisture in commercial broiler. **Smart Agricultural Technology**, Amsterdam, v. 12, article 101103, 2025.
- BARBON, G.; MARGOLIS, M.; PALUMBO, F.; RAIMONDI, F.; WELDIN, N. Taking Arduino to the Internet of Things: The ASIP programming model. **Computer Communications**, Netherlands, v. 89, p. 128-140, 2016.
- BUSKE, T. C. **Comportamento da umidade do solo determinada por métodos expeditos**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.
- BRASIL, E. C.; CRAVO, M. da S.; VIEGAS, I. de J. M. (ed.). **Recomendações de calagem e adubação para o estado do Pará**. 2. ed. rev. e atual. Brasília, DF: Embrapa, 2020. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1127233>. Acesso em: 11 dez. 2025.
- GAO, W.; BAI, R.; LING, S. Artificial Intelligence-Enabled Cellular Agriculture: Multiscale Modeling, Process Optimization, and Future Directions. **Trends in Food Science & Technology**, Cambridge, v. 163, article 105193, 2025.
- JIMÉNEZ, A. de los Á. C. **Calibração de sensor de umidade do solo modelo yl-69 para manejo da irrigação**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, 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, p. 1763-1785, 2015.
- SILVA, T. J. A. da; BONFIM-SILVA, E. M.; PACHECO, A. B.; DUARTE, T. F.; SOUSA, H. H. F.; JOSÉ, J. V. Evaluation of various soil moisture sensors in four different soil types. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 34, n. 6, p. 963-971, 2018.
- 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. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1085209/1/ManualdeMetodosdeAnalisedeSolo2017.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2025.
- TODD, M.; GALLANT, A. J. E.; WANG, A.; PLUCINSKI, J.; WONG, V. N. L. Quantifying Inter- and Intra-Sensor Variability in Low-Cost Soil Moisture and Soil Temperature Sensors: A Comparative Study. **Smart Agricultural Technology**, Amsterdam, v. 12, article 101186, 2025.