

DESENVOLVIMENTO DE SENSORES PARA PERFIS DE UMIDADE DE SOLO NA REGIÃO DE BARRA DO BUGRES - MT

Ewerton Anderson Ferreira de Lima¹

Armando da Silva Filho²

RESUMO

A caracterização da umidade do solo e da curva de retenção de água é fundamental para o manejo eficiente da irrigação, modelagem hidrológica e estudos em física do solo. Todavia, métodos tradicionais para determinação da tensão matricial, como câmaras de Richards e tensiômetros de precisão, apresentam alto custo e exigem infraestrutura especializada, limitando seu uso em instituições com poucos recursos. Este estudo apresenta o desenvolvimento, fabricação e avaliação de um sensor poroso de baixo custo, produzido com uma mistura gesso-cimento, dotado de eletrodos internos conectados a um microcontrolador para leitura elétrica indireta da umidade. Três amostras de solo foram preparadas, secas, saturadas e submetidas a incrementos controlados de água, permitindo correlacionar a resistência elétrica do sensor ao teor de umidade. Os resultados demonstraram resposta consistente, repetibilidade adequada e coerência com os valores esperados para solos arenosos. O sensor mostrou-se simples, reprodutível e financeiramente viável, destacando-se como alternativa promissora para aplicações em ensino, agricultura familiar e experimentações de pequena escala.

Palavras-chave: Umidade do solo; Tensão matricial; Sensor poroso; Física do solo; Irrigação.

ABSTRACT

This article Characterizing soil moisture and water retention curves is fundamental for efficient irrigation management, hydrological modeling, and soil physics studies.

¹Graduando em Ciência da Computação pela Universidade do Estado de Mato Grosso (Unemat). ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-7540-9732>. E-mail: ewerton.lima@unemat.br

²Professor da Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade do Estado de Mato Grosso (Unemat). Doutor em Física Ambiental (UFMT) ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-9602-4131>. E-mail: armandosf2000@unemat.br

However, traditional methods for determining matric tension, such as Richards chambers and precision tensiometers, are expensive and require specialized infrastructure, limiting their use in institutions with limited resources. This study presents the development, fabrication, and evaluation of a low-cost porous sensor, produced with a gypsum-cement mixture, equipped with internal electrodes connected to a microcontroller for indirect electrical reading of moisture. Three soil samples were prepared, dried, saturated, and subjected to controlled increments of water, allowing the electrical resistance of the sensor to be correlated with the moisture content. The results demonstrated a consistent response, adequate repeatability, and coherence with the expected values for sandy soils. The sensor proved to be simple, reproducible, and financially viable, standing out as a promising alternative for applications in education, family farming, and small-scale experiments.

Keywords: Soil moisture; Matric tension; Porous sensor; Soil physics; Irrigation.

INTRODUÇÃO

Este artigo apresenta o desenvolvimento e a aplicação de um sensor de baixo custo. O dispositivo atua como um bloco poroso que, ao entrar em equilíbrio com a umidade do solo, permite a medição da tensão matricial por meio de sensores acoplados. Os materiais utilizados e a viabilidade de fabricação tornam o sensor uma alternativa acessível para estudos de manejo hídrico e monitoramento da disponibilidade de água para as plantas. Os resultados obtidos demonstram a capacidade do sensor em fornecer dados consistentes para a construção da curva de retenção, evidenciando seu potencial para uso em práticas agrícolas e em pesquisas de física do solo. A determinação da curva de retenção de água ainda depende, em grande parte, de equipamentos de alto custo ou métodos demorados, o que limita sua aplicação em pesquisas com poucos recursos. Assim, este trabalho busca suprir essa lacuna por meio do desenvolvimento de um sensor simples, barato e reprodutível, capaz de fornecer dados confiáveis sobre a umidade do solo.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A crescente demanda por soluções tecnológicas sustentáveis para a agricultura tem incentivado o desenvolvimento de instrumentos que promovam o



uso racional da água no campo. Sensores de umidade do solo desempenham medições mais precisas da água disponível para as plantas.

Formação do Solo

A formação do solo ocorre pela atuação de fatores como clima, organismos vivos, relevo, material de origem e tempo. A rocha matriz, ao longo do tempo, transforma-se em partículas minerais que se misturam à matéria orgânica (Lima, 2007).

Granulometria

A granulometria define o tamanho das partículas, influenciando diretamente na porosidade, condutividade hidráulica e capacidade de retenção. Argila (<0,002 mm), areia (2,0–0,05 mm) (Nobile; Nunes; Baldocchi, 2014).

Capacidade de Campo

Após uma chuva ou irrigação intensa, o excesso de água escoar sob ação da gravidade, até que o solo atinge um estado de equilíbrio hídrico conhecido como capacidade de campo (Brito, 2011).

Evapotranspiração

Evapotranspiração é a soma da evaporação da água do solo mais a transpiração das plantas. A evapotranspiração de referência (ET_o) é amplamente utilizada no dimensionamento de sistemas de irrigação. (Stone; Silveira (1995).

Capacidade de Água Disponível (CAD)

A CAD indica a quantidade de água disponível às plantas entre a capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP).

Fórmula geral: $CAD=CC-PMP$



(Reichardt; Timm, 2012).

LISÍMETROS

Os lisímetros são dispositivos usados para estudar evaporação, evapotranspiração e balanço hídrico, podendo conter solo nu ou cultivado (Santos, 2020).

Lisímetros Pesaveis

Pesagem eletrônica: usa células de carga e possui excelente precisão (0,025–0,2 mm), mas requer calibrações frequentes devido à sensibilidade térmica (Santos, 2020).

SENSORES DE UMIDADE DE SOLO

Sensores de umidade do solo são dispositivos que medem a quantidade de água no solo. A água reduz a resistência elétrica entre eletrodos, tornando possível monitorar a umidade por meio de sinais digitais convertidos por microcontroladores, como o módulo HX711 ou ADCs internos (Patsko, 2006).

Sensores Capacitivos

Quando energizados, criam um campo elétrico, que é gerado através do circuito interno, quando algo interfere nesse campo, o sensor faz a detecção. (Pereira, 2022).

Sensores Resistivos



Os sensores resistivos são baseados na condutividade elétrica da água, que depende da temperatura, eletrodos e concentrações iônicas. Os íons indicam modificações na composição da água, inclusive os sais que existem nela, resultando no nível de condutividade (Behrens, 2019).

CÉLULAS DE CARGA

Estão associados a medição da resistência, as células de carga são compostas por sensores resistivos que são responsáveis por sentir a deformação ou peso aplicado e também tem a base de um transdutor que gera o sinal elétrico da deformação (Silva, 2021).

HX711

É um amplificador e conversor de sinal que será utilizado em aplicações de leitura em células de carga. As células de carga usadas em aplicações de pesagem, fornecem uma tensão de saída muito baixa e o amplificador recebendo esses sinais, as converte em valores digitais (Oliveira, 2020).

METODOLOGIA

Fabricação do Sensor

O sensor foi construído utilizando um tubo de PVC de 13cm e meia polegada de diâmetro, perfurado ao longo do corpo para permitir a entrada e saída de água, conforme a figura 1:

Figura 1 - Confecção do sensor

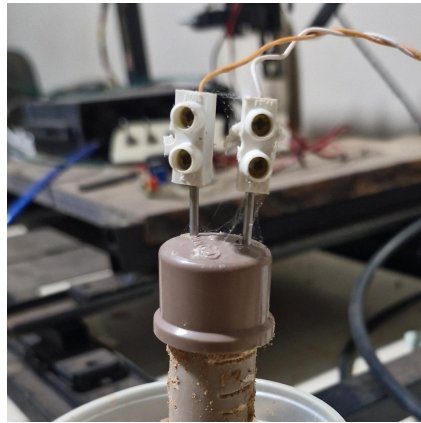




Fonte: elaborado pelos autores (2025).

Eletrodos de inox foram fixados nas tampas superiores e inferiores (caps) e por dentro a mistura de gesso (70%) e cimento (30%), conforme a figura 2:

Figura 2 - fixação dos eletrodos



Fonte: elaborado pelos autores (2025).

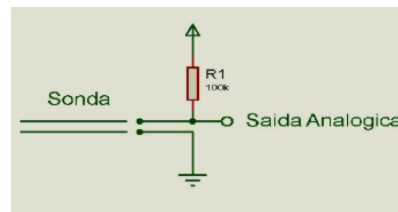
Preparo do Solo

Três amostras de solo (500g cada) foram secas a 100°C por 20 horas, a amostra foi saturada e, após drenagem por 24 horas, registrou massa final de 570g, indicando retenção de 70g (70ml) de água.

Procedimento Experimental

Repetindo a secagem das amostras de 500g cada e inseridos os sensores, a água foi adicionada a cada uma das amostras em incrementos de 10ml a cada 10 minutos, registrando-se os valores de tensão de saída. Os dois eletrodos do sensor foram conectados ao microcontrolador PIC18F452, utilizando sua entrada analógica de 10 bits de resolução, conforme a figura 3:

Figura 3 - Saída



Fonte: elaborado pelos autores (2025).

O PIC mede a queda de tensão em um divisor resistivo:

O sensor funciona como um dos resistores, conforme absorve água, sua resistência diminui e isso altera a fração da tensão aplicada que chega ao ADC. Assim, a cada incremento de água, o PIC converte a tensão lida em um valor digital, resultando nos valores observados, conforme a figura 4:

18:20 — 10 mL → 0,3 V

18:35 — +10 mL → 0,7 V

18:45 — +10 mL → 1,25 V

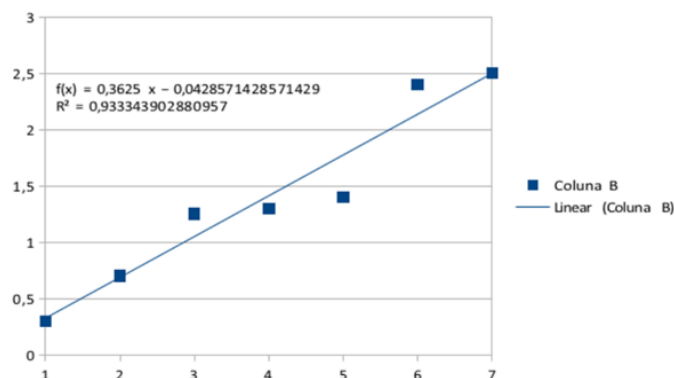
18:55 — +10 mL → 1,3 V

17:05 — +10 mL → 1,4 V

17:15 — +10 mL → 2,4 V

17:25 — +10 mL → 2,5 V

Figura 4 - Leituras



Fonte: elaborado pelos autores (2025).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Comportamento do Sensor

Observou-se aumento da tensão elétrica conforme mais água era adicionada ao solo. Isso ocorre porque a água reduz a resistência entre os eletrodos, permitindo passagem maior de corrente.

A curva tensão × água adicionada apresentou comportamento crescente, com tendência à estabilização quando a amostra se aproximou da saturação.

Repetibilidade

As três repetições mostraram variações pequenas, indicando boa reprodutibilidade do sensor, apesar da simplicidade do material utilizado.

Comparação de Valores Esperados

A retenção de 70 mL em 500 g de solo está alinhada à literatura que descreve solos arenosos com retenção entre 200–300 L/m³. O comportamento elétrico demonstrou coerência com o aumento gradual de umidade e sugere que o sensor pode ser calibrado para gerar curvas de tensão matricial.

Implicações Práticas

O sensor pode ser utilizado em monitoramento de irrigação de baixo custo, experimentos de ensino de física no solo, caracterização rápida de diferentes tipos de solo, automação simples em microcontroladores.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sensor apresentou desempenho satisfatório na medição da umidade do solo e na determinação da curva de retenção de água, demonstrando que materiais simples e de baixo custo podem ser empregados em estudos de manejo hídrico. Os resultados foram consistentes e compatíveis. Para trabalhos futuros, recomenda-se o aprimoramento do sistema eletrônico de aquisição de dados, integração com módulos de aquisição de dados mais precisos (HX711), calibração para diferentes classes de solo, construção de curvas de retenção completas e uso em experimentos de irrigação controlada. O baixo custo dos materiais e a facilidade de fabricação tornam o sensor uma ferramenta promissora para pesquisas agrícolas de pequena escala.

REFERÊNCIAS

BEHRENS, Jonathan; RUSSI, Jumar L.; DOS SANTOS, Niwton G. F. **Desenvolvimento de um sensor resistivo para monitoramento do nível da lâmina de água em lavouras de arroz.** In: Congresso Brasileiro de Automática – CBA, 2019. Disponível em: https://www.sba.org.br/open_journal_systems/index.php/cba/article/view/164/135. Acesso em: 02 nov. 2025.

BRITO, Alexsandro dos Santos et al. Estimativa da capacidade de campo pela curva de retenção e pela densidade de fluxo da água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/ZShc84Y9XHfLHdbN88cHDzQ/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 20 mai. 2025.

OLIVEIRA, Ana Claudia et al. **Protótipo de monitoramento de nível para reservatório com célula de carga.** Anais da Semana Nacional de Ciência e Tecnologia (SNCT) do IFS, 2020. Disponível em:



<https://periodicos.ifs.edu.br/periodicos/SNCT/article/view/1067>. Acesso em: 11 set. 2025.

DOS SANTOS, Eduardo Nogueira. **Construção e calibração de sistema eletromecânico utilizado em lisímetro de pesagem**. 2020. Disponível em: <https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789/33491/1/EDUARDO%20NOGUEIRA%20DOS%20SANTOS.pdf>. Acesso em: 15 mai. 2025.

LIMA, Valmiqui Costa; LIMA, Marcelo Ricardo. Formação do solo. In: LIMA, C. V. et al. **O solo no meio ambiente: abordagem para professores do ensino fundamental e médio e alunos do ensino médio**. 1. ed. Curitiba: Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, 2007. p. 1-10. Disponível em: http://www.mrlima.agrarias.ufpr.br/SEB/arquivos/formacao_solo.pdf. Acesso em: 10 jun. 2025.

NOBILE, Fabio Olivieri; NUNES, Hugo Dias; BALDOCCHI, Vinícius Oliveira. **Metodologias para a determinação da granulometria do solo**. Holos Environment, 2014. Disponível em: <https://www.cea-unesp.org.br/holos/article/view/8297/6346>. Acesso em: 10 jun. 2025.

PATSKO, Luís Fernando. **Tutorial – aplicações, funcionamento e utilização de sensores**. Maxwell Bohr: Instrumentação Eletrônica, p. 84, 2006. Disponível em: [file:///C:/Users/Piskaa/Downloads/TUTORIAL_Aplicacoes_Funcionamento_e_Util%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Piskaa/Downloads/TUTORIAL_Aplicacoes_Funcionamento_e_Util%20(1).pdf). Acesso em: 15 jun. 2025.

PEREIRA, Jonathan Weber; CANABARRO, Maiquel S. **Sensores de precisão para medir nível d'água no cultivo de arroz irrigado: agricultura 4.0**. 2022. Disponível em:

<https://guaiaca.ufpel.edu.br/bitstream/handle/prefix/11162/SENSORES%20DE%20PRECIS%C3%83O%20PARA%20MEDIR%20N%C3%8DVVEL%20D%E2%80%99%C3%81GUA%20NO%20CULTIVO%20DE%20ARROZ%20IRRIGADO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 15 jun. 2025.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Água na agricultura: irrigação e drenagem**. Barueri, SP: Manole, 2012. Disponível em: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www2.feis.unesp.br/irrigacao/pdf/aula_ilha_solteira_2012.pdf. Acesso em: 28 mai. 2025.

SILVA, Murilo et al. **Análise da hidrodinâmica com sensores capacitivos e resistivo de Arduino em solo do cerrado**. 2021. Disponível em: <https://repositorio.ifgoiano.edu.br/bitstream/prefix/2362/3/12%20-%20Disserta%c3%a7%c3%a3o.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2025.



STONE, Luís Fernando; DA SILVEIRA, Pedro Marques. **Determinação da evapotranspiração para fins de irrigação.** 1995. Disponível em: Determinação da evapotranspiração para fins de irrigação. Acesso em: 20 mai. 2025.

