



## ESTIMATIVA DE UMIDADE EM SOLOS ARENOSOS UTILIZANDO MÉTODOS ELETROMAGNÉTICOS (FDR) CALIBRADOS.

Áreas: Agrárias

Abner Resena Carvalho<sup>1</sup>, Amanda Ballani Borges<sup>1</sup>, Cleitom Leandro Salvador<sup>1</sup>, Helcio Jose Carneiro Junior<sup>1</sup>, Gustavo Henrique dos Santos Becker<sup>1</sup>, Vagner Ripoli Junior<sup>1</sup>, Antonio Carlos Andrade Gonçalves<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Acadêmico do Curso de Agronomia, Campus Maringá-PR, Universidade Estadual de Maringá-UEM. Integrante PET SESu/MEC-UEM. ra133270@uem.br

<sup>2</sup>Orientador, Doutor, Docente no Curso de Agronomia, Universidade Estadual de Maringá. Tutor do grupo PET Agronomia-UEM. acagoncalves@uem.br

**Resumo.** A medição precisa da umidade do solo é fundamental para o manejo eficiente da água em sistemas de irrigação. Métodos eletromagnéticos, como a reflectometria no domínio da frequência (FDR), são eficazes para essa tarefa. Este estudo visou criar um modelo de calibração específico para um sensor FDR em solos arenosos do Paraná e compará-lo com o modelo universal. Os resultados mostraram que um único modelo pode ser usado para solos com 73% a 84% de areia, enquanto o modelo universal e os fornecidos pelo fabricante não foram adequados.

**Palavras-chave:** Estimativa de umidade. Irrigação. Sensores

### 1. Introdução

A crescente demanda por produção agrícola de alta qualidade e em grandes volumes, com o menor impacto ambiental, leva à adoção de técnicas mais eficientes no setor agrícola. A irrigação, é essencial para alcançar esses objetivos, que requerem tecnologias avançadas, especialmente para medições precisas da umidade do solo. Métodos eletromagnéticos, como a reflectometria no domínio do tempo (TDR) e da frequência (FDR), são cada vez mais utilizados devido à sua precisão e facilidade de uso (HAILONG, 2021; HASILONG, 2021). Esses métodos estimam a umidade do solo com base na constante dielétrica ( $K_a$ ), que é convertida em umidade por meio de modelos de calibração (MOUAZEN; AL-ASADIB, 2018). Topp et al. (1980) sugeriu um modelo único para todos os meios porosos, mas estudos posteriores, como o de Gonçalves (2011), mostraram a necessidade de modelos específicos para tipos de solo. No noroeste do Paraná, solos arenosos ainda pouco explorados para agricultura irrigada foram estudados, criando modelos de calibração específicos para duas composições granulométricas distintas usando tecnologia FDR, e comparando-os com um modelo universal.

## 2. Materiais e métodos

Entre os sensores disponíveis para estimar a umidade do solo com base em tecnologia eletromagnética e medição da constante dielétrica ( $K_a$ ), foi utilizado o MEC10 (INFWIN - <https://www.infwin.com/mec10-soil-moisture-ec-and-temperature-sensors485-modbus>), fornecido pela empresa IRRIGATE, que possui três hastes de 70mm de comprimento.

As amostras de solos arenosos foram coletadas em Umuarama-PR (73% de areia, Franco Argilo Arenoso - FAA) e Cidade Gaúcha-PR (84% de areia, solo Arenoso - ARE). Amostras de 0,18m de altura foram preparadas em recipientes plásticos de 0,07m de diâmetro, com o sensor posicionado no centro. Utilizou-se terra fina seca ao ar (TFSA), com umidade ajustada e massa de solo seco medida. Foram preparadas até 18 amostras variando de TFSA a saturação. A umidade foi determinada gravimetricamente após a mistura de solo e água, e a constante dielétrica ( $K_a$ ) foi lida usando um software fornecido pelo fabricante do sensor, operado em um sistema com CPU/Windows 11, com a conexão entre sensor e CPU fornecida pela IRRIGATE.

Após avaliações preliminares, foram realizadas três repetições para os solos FAA e ARE. Para cada amostra, a umidade da TFSA foi determinada e, com base nessa medida, o solo úmido foi preparado com água em incrementos de 5mL (5g). Cada amostra foi então colocada no recipiente e a constante dielétrica foi medida com o sensor FDR. A densidade do solo foi mantida constante, utilizando 360 gramas de TFSA para ambos os solos. Análises estatísticas descritivas e modelos de calibração polinomial de terceiro grau foram ajustados através de regressão linear múltipla para cada condição estudada e comparados entre si.

## 3. Resultados e discussões

A umidade do solo com base na massa ( $u$ ) foi usada para calcular a densidade do solo ( $d_s$ ), com uma média geral de 1,43Mg m<sup>3</sup> para ambos os tipos de solos. A umidade volumétrica ( $\theta$ ) foi obtida multiplicando essas duas variáveis.

**Tabela 1 - Estatística descritiva dos valores de umidade com base na massa ( $u$ ), umidade volumétrica ( $\theta$ ) e constante dielétrica do solo ( $K_a$ ) para as amostras dos dois solos arenosos.**

estatística	Solo FAA			Solo ARE		
	$u$	$\theta$	$k_a$	$u$	$\theta$	$k_a$
N	43	43	43	56	56	56
média	0.140	0.200	8.738	0.134	0.192	8.459
mediana	0.139	0.199	8.630	0.132	0.189	8.350
Desvio padrão	0.084	0.120	4.151	0.080	0.115	3.878
assimetria	0.046	0.043	0.054	0.015	0.014	-0.023
maior	0.286	0.408	15.300	0.274	0.391	14.760
menor	0.004	0.005	2.890	0.004	0.006	2.680

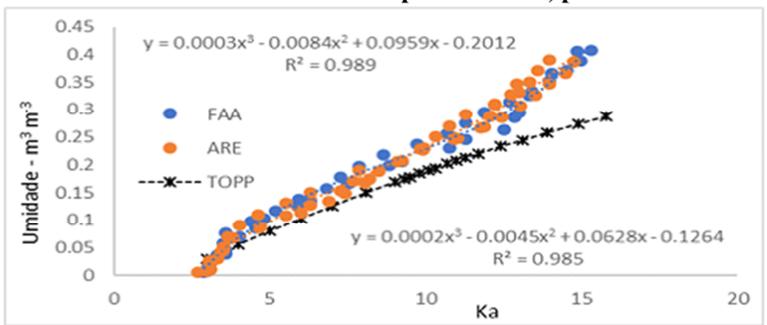
Os valores de umidade e  $K_a$  para ambos os solos são semelhantes, mas os máximos de umidade são maiores no solo FAA em comparação com o ARE. Os valores



mínimos de umidade foram quase idênticos, indicando que a umidade na condição de TFSA foi similar para ambos. Os valores médios e medianos de umidade foram ligeiramente superiores para o solo FAA, devido ao seu maior teor de argila. A assimetria das distribuições foi próxima de zero, confirmando a normalidade dos dados.

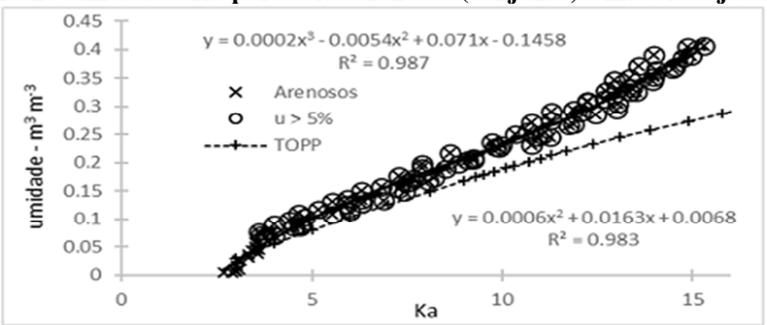
Modelos de regressão polinomial de terceiro grau foram ajustados para os solos FAA e ARE, conforme mostrado na Figura 1. A semelhança entre os modelos sugere que um único modelo pode ser viável para calibrar o sensor FDR em solos arenosos da região noroeste do Paraná, porém mais pesquisas são necessárias para confirmar essa generalização. Além disso, o modelo universal não se mostrou adequado para esse sensor FDR, como evidenciado por Gonçalves (2011), que encontrou resultados insatisfatórios com esse modelo em solos tropicais.

**Figura 1: Umidade volumétrica e correspondente Ka, para solos FAA e ARE.**



Um único modelo de grau 3, com coeficientes significativos avaliados por análise de variância da regressão múltipla, foi ajustado ao conjunto de valores (Figura 2), resultando em um modelo de calibração ótimo ( $R^2 > 0,98$ ). No entanto, para dados com  $u > 5\%$ , faixa de interesse agrônômico, um modelo de grau 2 ( $R^2 > 0,98$ ) é suficiente para a calibração. Gonçalves (2011) demonstrou que calibrações de qualidade podem ser obtidas com polinômios de grau 2, especialmente para valores de  $D_s$  semelhantes aos identificados neste estudo, em solos argilosos.

**Figura 2: Umidade e Ka para solos arenosos (conjunto) e modelos ajustados.**

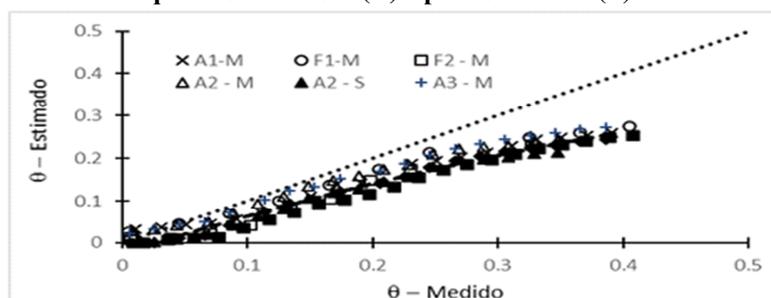


O software do sensor inclui dois modelos de calibração: um para solos minerais (M) e outro para solos arenosos (S). A eficácia desses modelos foi testada em amostras



de solo ARE e FAA (Figura 3). No entanto, os erros associados a esses modelos podem representar cerca de 60% do valor medido em laboratório, o que demonstra sua inadequação. Na faixa de umidade entre capacidade de campo (cc) e ponto de murcha ( $0,25$  a  $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ), os erros podem ser significativos em relação à água disponível do solo (AD).

**Figura 3. Qualidade dos modelos (M – solo mineral e S – solo arenoso) fornecidos junto ao FDR, para solo arenoso (A) e para solo FAA (F).**



#### 4. Considerações finais

A tecnologia FDR é adequada para estimar a umidade em solos arenosos, sendo possível usar um único modelo de grau 2 para ambos os casos. No entanto, os modelos internos do dispositivo produzem resultados incompatíveis, destacando a necessidade de calibrar o equipamento para cada tipo de meio poroso.

#### 7. Referências

GONÇALVES, A. C. A.; TRINTINALHA, M. A.; TORMENA, C. A.; FOLEGATTI, M. V. Influência da densidade do solo na estimativa da umidade em um Nitossolo Vermelho Distroférrico, por meio da técnica TDR. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 8, n.35. p. 1551-1559. 2011.

HAILONG, H.; TURNER, N.C.; AOGU, K.; DYCK, M.; FENG, H.; SI, B.; WANG, J.; JIALONG, LV. Time and frequency domain reflectometry for the measurement of tree stem water content: A review, evaluation, and future perspectives. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.306, p. 1-15. 2021.

MOUAZEN, A. M.; AL-ASADIB, A. R. Influence of soil moisture content on assessment of bulk density with combined frequency domain reflectometry and visible and near infrared spectroscopy under semi field conditions. **Soil & Tillage Research**, p.95-103, 2018.

TOPP, G. C.; DAVIS, J. L.; ANNAN, A. P. **Electromagnetic determination of soil water content: Measurements in coaxial transmission lines**.1980.