

CALIBRAÇÃO DE SENSORES TDR PARA APLICAÇÃO EM REFLETOMETRIA GNSS

LEANDRO CORTÊS CARDOSO¹, WAGNER CARRUPT MACHADO², VALDINEY JOSÉ DA SILVA³

¹ IGUFU – leandro.cortes@ufu.br

² IGUFU – wagnercarrupt@ufu.br

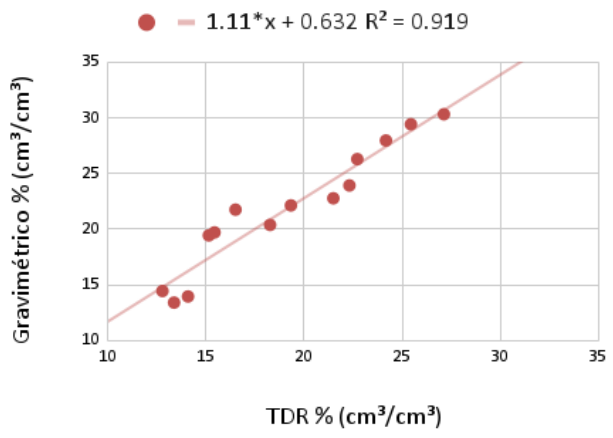
³ IGUFU – valdiney@ufu.br

A partir da última década, pesquisadores têm explorado os sinais GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*) refletidos para determinar propriedades das superfícies refletoras, dentre elas a umidade do solo. Esta técnica é chamada de refletometria GNSS (GNSS-R) e tem como vantagem a determinação da umidade do solo da região abrangida pela zona de reflexão dos sinais de forma contínua [1, 2, 3 e 4]. Primordial em inúmeras aplicações (agricultura, obras de engenharia, monitoramento de inundações e desmoronamentos) [5], o método gravimétrico é definido como método direto de melhor precisão para determinação da umidade do solo, por ser um método de simples aplicação [6], é uma técnica precisa que pode ser utilizada para calibrar outros métodos. Dentre as técnicas indiretas, destacam-se os sensores TDR (*Time Domain Reflectometry*), que têm como princípio de funcionamento a determinação da relação da propriedade dielétrica do solo com sua umidade [7]. Apesar de precisa, a técnica gravimétrica fornece informações pontuais no espaço e não possibilita a determinação da umidade do solo de forma contínua, enquanto os sensores TDR fornecem informações pontuais e contínuas, possibilitando sua utilização na avaliação da técnica GNSS-R. O objetivo deste trabalho é calibrar dois sensores TDR (A e B) a partir da técnica gravimétrica visando a determinação da umidade do solo com GNSS-R. Os sensores TDR foram instalados próximos a um receptor GPS de baixo custo no campus da UFU em Monte Carmelo e amostras de solo foram coletadas em datas em que o mesmo apresentava diferentes níveis de umidade. A presente calibração foi feita com o auxílio dos softwares Excel e Matlab. Inicialmente, os dados foram separados em dois conjuntos, um com 80% e outro com 20% dos dados. O primeiro conjunto de dados foi usado para estimação e o segundo para validação dos resultados. Plotou-se o gráfico de dispersão entre os valores da umidade do solo determinados pelas técnicas gravimétrica e TDR, observando-se que a relação entre estas grandezas é linear, com coeficiente de determinação (R^2) igual a 0,92 e 0,88 e coeficiente de correlação de Pearson (r) igual a 0,96 e 0,94 para os sensores A, B, respectivamente (Figura 1). Em seguida, ajustou-se uma reta pelo método dos mínimos quadrados e determinou-se a sua equação para relacionar a umidade do solo determinada com os sensores TDR e com a técnica gravimétrica. Por fim, executou-se a validação das estimativas a partir do cálculo de diferenças entre os valores de umidade do solo provenientes da técnica gravimétrica e os valores de umidade do solo determinados com a técnica TDR corrigidos com as equações (20% dos dados) e calculou-se estatísticas descritivas. Os resultados desta análise podem ser vistos no quadro 1. Os R^2 ficaram próximos de 0,9 indicando que o modelo linear pode ser utilizado para calibrar os sensores TDR. Na análise de validação dos resultados observa-se que os valores de média dos sensores ficaram próximos de 1, porém, enquanto a média do sensor A foi negativa, a do B foi positiva, indicando uma pequena tendência em subestimar e superestimar os resultados, respectivamente. O desvio padrão mostra que a precisão das estimativas varia de cerca de 0,96%, (sensor B) a 1,6%, (sensor A). A calibração dos sensores TDR foi executada com sucesso, a qual é de suma importância para o resultado final da determinação da umidade do solo com GNSS-R, visto que, os parâmetros de validação são cruciais para a análise da técnica empregada. A próxima etapa da pesquisa visa a determinação de modelo matemático para relacionar o parâmetro determinado com GNSS-R (fase inicial) com a umidade do solo determinada com sensores TDR corrigida com as equações determinadas nesta pesquisa.

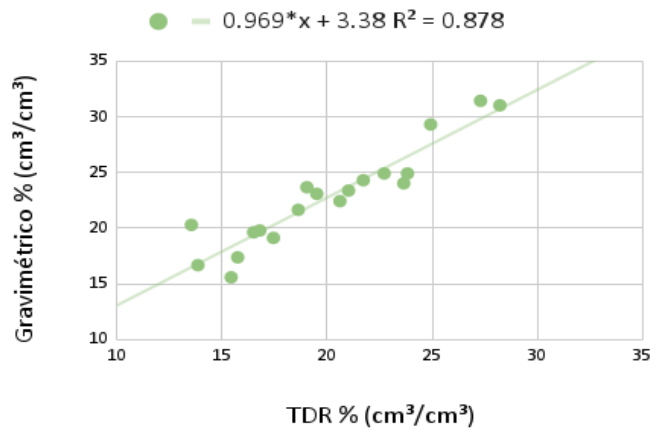
Figura 1 – Gráfico de dispersão entre a umidade determinada com as técnicas gravimétrica e TDR (A = sensor A, B= sensor B)



Regressão Linear TDR A



Regressão Linear TDR B



Fonte: Os autores (2023)

Quadro 1 – Estatísticas do conjunto de validação (%)

	TDR A		TDR B	
Média	-0,24	Média	0,38	
STD	1,60	STD	0,96	

Fonte: Os autores (2023)

Palavras-chaves: Refletometria GNSS. Umidade do solo. Sensor TDR. Calibração.

Referências

[1] LARSON, K.; BRAUN, J.; SMALL, ZAVOROTNY, E.; V.; GUTMANN, E.; BILICH, A. GPS multipath and its relation to near-surface soil moisture content. **IEEE J. Sel. Topics Appl. Earth Observ. Remote Sens.** v. 3, n. 1, p. 91-99, 2010.

[2] RODRIGUEZ-ALVAREZ, N.; CAMPS, A.; VALL-ILOSSERA, M.; BOSCH-LLUIS, X.; MONERRIS, A.; RAMOS-PEREZ, I.; VALENCIA, E.; MARCHAN-HERNANDEZ, J. F.; MARTINEZ-FERNANDEZ, J.; BARONCINI-TURRICCHIA, G.; PÉREZ-GUTIÉRREZ, C.; SÁNCHEZ, N. Land geophysical parameters retrieval using the interference pattern GNSS-R technique. **IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.**, v. 49, n. 1, p. 71-84, 2011.

[3] TABIBI, S.; NIEVINSKI, F. G.; VAN DAM, T.; MONICO, J. F. G. Assessment of modernized GPS L5 SNR for ground-based multipath reflectometry applications. **Adv. Space Res.** v. 55, n. 4, p. 1104-1116, 2015

[4] EURIQUES, J. F.; KRUEGER, C. P.; MACHADO, W. C.; SAPUCCI, L. F.; NIEVINSKI, F. G. Soil Moisture Estimation with GNSS Reflectometry: A Conceptual Review. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 73, n. 2, p. 413-434, 2021.

[5] PEREIRA, S.; OLIVEIRA FILHO, D.; MANTOVANI, E. C.; RAMOS, M. M.; MARTINS, J. H. Refletometria no domínio do tempo na determinação do conteúdo de água no solo. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient.** v. 10, n. 2, p. 306-314, 2006.

[6] JUNIOR, J. OLIVEIRA, G. Desempenho do reflectômetro no domínio do tempo na detenção de variações de umidade do solo. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11131/tde-26082003-151706/publico/gilberto.pdf>>. Acesso em: 23 mar. 2023.

[7] SOUZA, C. F.; PIRES, R. C. M.; De MIRANDA, D. B.E; VARALLO, A.C.T. Calibração de sondas FDR e TDR para a estimativa da umidade em dois tipos de solo. **Irriga, Botucatu**, v. 18, n. 4, p. 597-606, 2013.