

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

ANÁLISE PRELIMINAR DOS DADOS DE UMIDADE DO SOLO EM RELAÇÃO À PRECIPITAÇÃO NO BAIRRO QUITANDINHA EM PETRÓPOLIS/RJ

Cristiane Ribeiro de Melo¹ & Marta Vasconcelos Ottoni²

Abstract: To ensure the reliability of the models obtained through the use of programs that calculate the water balance in the soil, it is necessary to compare the predicted data with data measured in the field. Likewise, the data measured in situ, using geotechnical sensors, need to offer reliability. To this end, it is necessary to reproduce as faithfully as possible the processes of water accumulation in the soil by recording the moisture content (θ) in relation to the incident rainfall. Even though the data collection in the field is performed automatically, it is necessary to verify that the sensors are free from systematic deviations or any associated error. The objective of this work is to present a proposal for a simplified consistency analysis of the moisture series captured by the Quitandinha – Geo probe (code 330390601G) monitored by the National Center for Monitoring and Alerts for Natural Disasters (Cemaden) in the city of Petrópolis/RJ. The results show an apparent anomaly in the behavior of the historical humidity series in the period between the day of installation and March 19, 2022. In addition to the presence of some dubious records that require further investigation.

Resumo: Para garantir a confiabilidade das modelagens, obtidas através do uso de programas que calculam o balanço hídrico no solo, torna-se necessário comparar os dados previstos com dados medidos em campo. Da mesma forma, os dados medidos *in situ*, com o uso de sensores geotécnicos, necessitam oferecer confiabilidade. Para tal é necessário reproduzir com a maior fidelidade possível os processos de acúmulo de água no solo através do registro do teor de umidade (θ) em relação a chuva incidente. Mesmo a tomada de dados em campo sendo realizada de forma automática, é necessário verificar se os sensores estão isentos de desvios sistemáticos ou qualquer erro associado. O presente trabalho tem como objetivo apresentar uma proposta de análise de consistência simplificada da série de umidade captada pela sonda Quitandinha – Geo (cód. 330390601G) monitorada de Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden) no município de Petrópolis/RJ. Os resultados mostram uma aparentemente anomalia no comportamento da série histórica de umidade no período entre o dia da instalação e o dia 19 de março de 2022. Além da presença de alguns registros duvidosos e que necessitam de maiores investigações.

Palavras-Chave – Umidade do solo, Precipitação, Consistência.

¹) Serviço Geológico do Brasil. Rua Escritor Souza Barros, 1001- Cabanga, Recife-PE, Brasil. E- mail: cristiane.melo@sgb.gov.br;

²) Serviço Geológico do Brasil. Av. Pasteur, 404 – Urca, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. e-mail: marta.ottoni@sgb.gov.br.

INTRODUÇÃO

O monitoramento da umidade do solo tem relevância em diversas aplicações, como no estudo da agricultura, de processos hidrológicos, em especial, em estudos de desastres geológicos, como os de movimentos de massa, pois a umidade do solo pode ser considerada como um dos fatores desencadeadores de tais eventos (Maffra e Centeno, 2016).

A umidade do solo pode ser estimada a partir de medições *in situ* usando diferentes sensores, mas também por métodos indiretos por meio do sensoriamento remoto por satélite (Moraes e Mendes, 2023).

Desde o ano de 2019, o monitoramento da umidade no solo tem sido realizado pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden) em diversas áreas do país, utilizando Plataformas de Coletas de Dados Geotécnicos (PCD Geo) automáticas. Essas PCDs foram instaladas em áreas localizadas em encostas de áreas alteradas pela população, suscetíveis de deslizamentos, com vasto histórico de ocorrências, bem como em encostas naturais com fortes indícios de processos ativos de movimentos de massa (Cemaden, 2025).

Com o avanço tecnológico e a utilização de PCDs, ocorreu o aumento na confiabilidade e na qualidade dos dados, fazendo com que muitas vezes a fase de avaliação da qualidade das informações disponibilizadas seja menosprezada ou ignorada, pelos usuários de programas e modelos hidrológicos. Para verificar a coerência das séries de umidade do solo coletadas com sensores de automáticos, e se os mesmos estão isentos de desvios sistemáticos, torna-se necessária uma análise de consistência (Melo *et al*, 2024).

Este trabalho tem como objetivo apresentar uma proposta de análise de consistência simplificada da série de umidade captada pela sonda Quitandinha – Geo (cód. 330390601G), utilizada no monitoramento hidrológico na região do bairro Quitandinha, no município de Petrópolis/RJ, por meio da avaliação conjugada do teor volumétrico diário da água no solo (θ) em relação à precipitação diária, nos períodos secos e úmidos.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

De acordo com Silva (2006), pode-se dizer que a região do bairro do Quitandinha é um local caracterizado por solos residuais e colúvios, ambos com matriz siltosa, sendo, portanto, suscetíveis a movimentos de massa e processos erosivos. O bairro e seu entorno sofrem, principalmente nas épocas de chuvas, com deslizamentos provocados tanto por causas naturais, como por ações antrópicas.

A sonda de umidade do solo Quitandinha – Geo (cód. 330390601G) está instalada na região do bairro Quitandinha, em uma área com alto índice de ocorrência a deslizamentos. A grande vulnerabilidade do local faz com que sejam necessários estudos para entender as dinâmicas da água no solo, causadoras de tais movimentos. A Figura 1 apresenta a localização da sonda em relação aos pontos deslizados, cadastrados pela Defesa Civil Municipal, no período de 2015 a 2021.

As variações climáticas expressivas ocasionam diferenciações nos índices térmicos e pluviométricos ao longo do ano. A temperatura média no mês mais frio varia de 10°C a 15°C, e as chuvas concentradas nos meses de novembro a março são abundantes, apresentando áreas com totais pluviométricos anuais acima de 2.000mm (Silva, 2006).

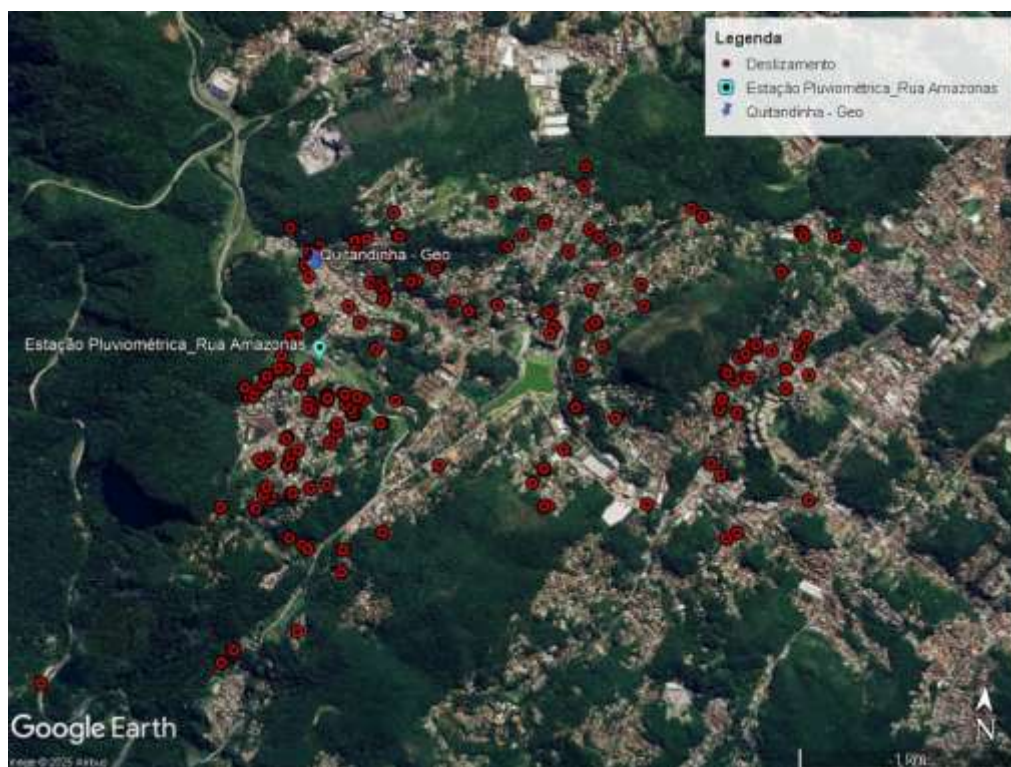


Figura 1. Localização da Sonda Quitandinha – Geo (cód. 330390601G), em relação aos pontos de deslizamento em vermelho (2015 – 2021). Fonte: Google Earth, 2025.

A Figura 2 apresenta as médias mensais de chuva para o período de 2015 a 2024, da estação pluviométrica automática Rua Amazonas (cód. 2243433), também monitorada pelo Cemaden, e localizada em área próxima à estação Quitandinha_Geo, conforme evidenciado na Figura 1.

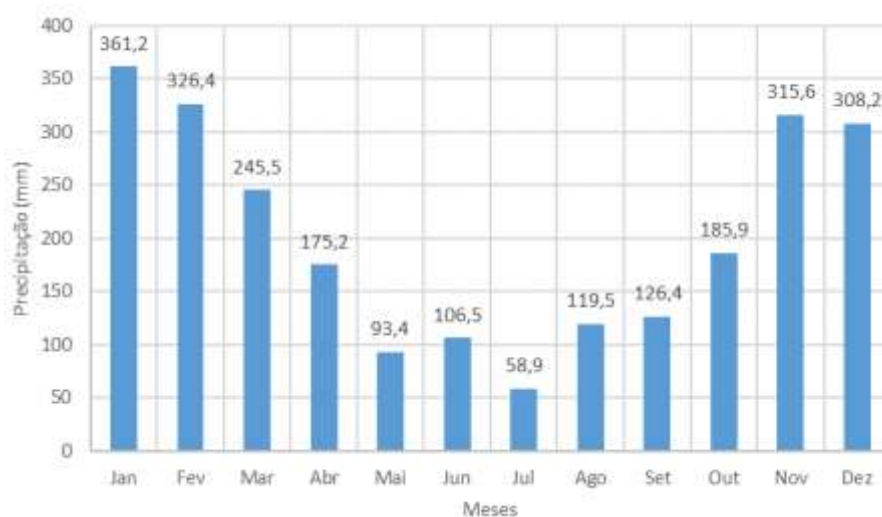


Figura 2. Totais médios mensais de chuva da estação pluviométrica automática Rua Amazonas (cód. 2243433) - período de 2015-2014.

METODOLOGIA

A metodologia deste estudo foi dividida em 5 etapas. Na primeira fase (etapa 1) foi escolhida a estação pluviométrica mais próxima da sonda Quitandinha_Geo e que melhor representasse a pluviometria da região. Em seguida, na segunda fase, foram harmonizados os dados de chuva e umidade para o período de 24 horas

Na etapa 3 foi plotada toda a série diária registrada pela sonda de umidade, para visualização de erros grosseiros e mudanças de tendência em todos os níveis de profundidade medidos. Em seguida, na fase 4, plotou-se o dado de umidade diária associado ao de precipitação diária relacionado, para entender o comportamento da umidade em relação à precipitação e separar o período supostamente falho da série de dados de umidade. Os dados de umidade classificados como suspeitos foram apenas identificados, mas não eliminados da série em questão.

Por fim, na fase 5, buscou-se identificar a ordem de medida do teor de água acumulado no solo, registrado pela sonda, na data de ocorrência de alguns eventos de deslizamento na região, registrados pela Defesa Civil Municipal.

Sonda Quitandinha – Geo (cód. 330390601G)

A Plataforma de Coleta de Dados Geotécnicos (PCD Geo) é composta por um pluviômetro automático (Pluvio DB da DualBase) e uma sonda que contém sensores de capacitância para monitoramento de umidade do solo (EnviroSCAN, da Sentek). A PCD Geo modelo Campbell 2013 foi desenvolvida pela empresa Campbell Scientific do Brasil (Andrade *et al*, 2023).

A sonda específica para monitoramento de umidade da zona não saturada mede o teor volumétrico da água no solo (θ), em percentual (%), a cada 10 minutos. Os sensores de capacitância instalados no solo registram o volume de água a cada 0,5 metro em 6 profundidades, sendo a primeira sonda instalada a 50cm de profundidade (Melo *et al*, 2023).

Os teores medidos a cada 10 minutos foram transformados em valores de umidade média diária, para serem comparados aos acumulados precipitados de 24 horas. Os dados registrados encontram-se disponíveis na página do Cemaden (2025).

Estação Pluviométrica Rua Amazonas (cód. 2243433)

Nos arredores do bairro Quitandinha, o CEMADEN apresenta uma rede de monitoramento composta por 09 estações com registro automático de dados, a cada 10 minutos. Todas possuem algum tipo de falha nos dados, possivelmente por falha ou manutenção no sensor, ou por problemas na transmissão dos dados.

De acordo com Melo *et al* (2024), dentre as estações, as PCDs Rua Amazonas (cód. 2243433) e Rua Araruama (cód. 2243432) apresentam as séries diária mais extensas (9 anos) e com menor número de falhas. A correlação entre as séries brutas das duas estações é de 83%. Após a fase de consistência e preenchimentos de falha, a correlação entre as estações passou a 92% (dados consistidos). A consistência foi realizada utilizando o Programa de homogeneização de dados pluviométricos - Hidro-Plu. As informações utilizadas pelo programa Hidro-Plu (banco de dados) são oriundas do Sistema de Informações Hidrológicas – Hidro, alimentado com os dados diários acumulados de 24 horas de cada uma das estações envolvidas na análise.

De acordo com o exposto, qualquer uma das séries pluviométricas é compatível ao estudo aqui proposto. Entretanto, a distância linear entre a sonda Quitandinha_Geo e as duas estações serviu como critério de escolha. A estação Rua Amazonas (cód. 2243433) é a mais próxima, distando aproximadamente 500 metros do local estudado, enquanto a estação Rua Araruama (cód. 2243432) está a 700 metros. Dessa forma, optou-se pelo uso da série diária (acumulados de 24 horas) da estação Rua Amazonas (cód. 2243433).

Relação entre a pluviometria e o teor de umidade no solo em situação de deslizamento

Em seu trabalho, Gonzales *et al* (2021) utiliza a dependência estatística para encontrar o par de períodos de chuva mais relevante e calcula a probabilidade de ocorrência de deslizamentos em função da pluviometria, na região do Quitandinha. Conclui que há um pico de dependência no par de períodos 24h e 96h, de forma que este foi considerado o período mais relevante para observação das probabilidades de ocorrência de deslizamento.

Dessa forma, foram avaliados os teores de umidade registrados no solo nos dias de chuva com registro de deslizamento na área para identificar se há compatibilidade entre os valores registrados pela sonda.

RESULTADOS

A estação Quitandinha_Geo (cód. 330390601G) apresenta série de dados disponível para o período de novembro/2021 a dezembro/2023 (Figura 3). Observa-se que a série apresenta diminuição do teor volumétrico da água no solo, para todos os níveis de profundidade da sonda, no mês de março de 2022 (Tabela 1). Para uma melhor avaliação da mudança de tendência, torna-se importante entender o que motivou tal mudança. Por exemplo, um período de instabilidade da sonda ou problemas no sensor.

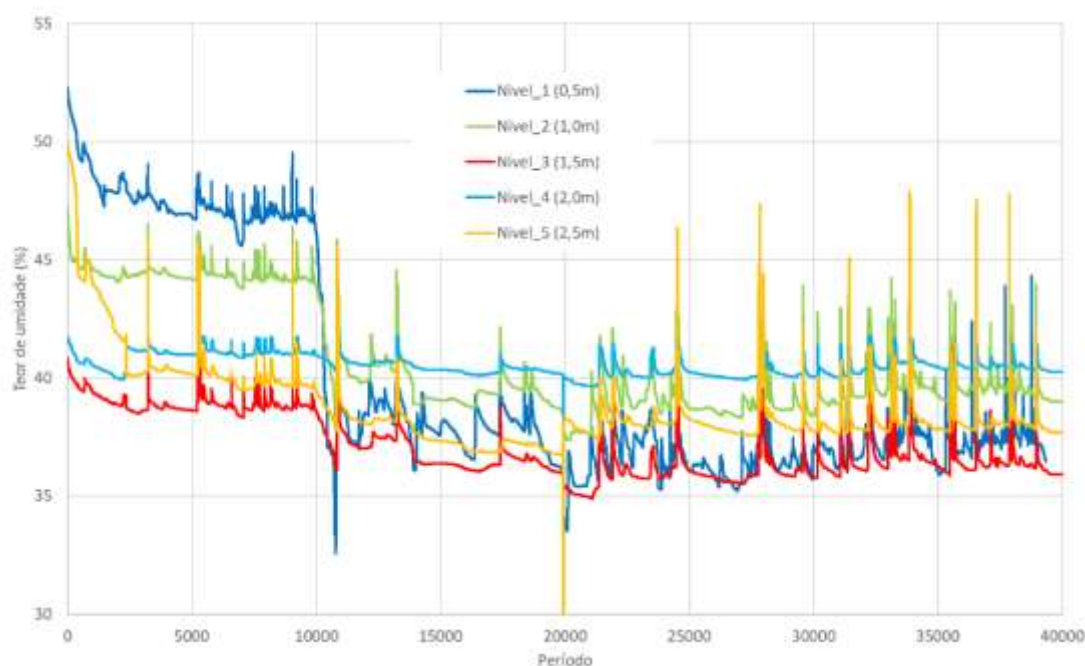


Figura 3. Teor volumétrico da água no solo (θ) em %, medido na estação Quitandinha_Geo

Tabela 1. Teor de umidade (%) registrado para a sonda, profundidade de 0,5 metros a 2,0 metros, em março de 2022.

Data	Precipitação (mm)	Umidade % N1 (0,50m)	Umidade % N2 (1,0m)	Umidade % N3 (1,50m)	Umidade % N4 (2,0m)
01/03/2022	0,0	45,66	43,72	38,45	40,94
02/03/2022	0,0	45,23	43,61	38,39	40,93
03/03/2022	0,0	44,61	43,47	38,32	40,91
04/03/2022	12,2	43,73	43,27	38,22	40,89
05/03/2022	0,0	43,56	43,18	38,17	40,88
06/03/2022	0,0	43,31	42,94	38,08	40,86
07/03/2022	0,0	42,83	42,69	38,00	40,84
08/03/2022	0,0	42,01	42,36	37,92	40,82
09/03/2022	0,0	41,01	42,00	37,81	40,79
10/03/2022	0,0	39,59	41,53	37,66	40,76
11/03/2022	0,0	38,95	41,32	37,58	40,74
12/03/2022	22,2	37,22	40,78	37,38	40,69
13/03/2022	0,0	37,06	40,64	37,30	40,67
14/03/2022	0,0	36,97	40,31	37,14	40,61
15/03/2022	0,0	36,81	40,02	36,99	40,56
16/03/2022	0,0	36,69	39,85	36,89	40,53
17/03/2022	0,0	36,03	39,41	36,71	40,47
18/03/2022	0,0	35,09	38,95	36,54	40,41
19/03/2022	0,0	33,83	38,40	36,36	40,35
20/03/2022	149,1	35,41	38,84	36,69	40,45
21/03/2022	84,5	39,94	42,74	39,23	41,50
22/03/2022	1,0	38,74	40,91	37,81	40,91
23/03/2022	0,8	38,47	40,62	37,62	40,80
24/03/2022	0,0	38,19	40,43	37,49	40,74
25/03/2022	0,0	37,91	40,28	37,38	40,70
26/03/2022	0,0	37,63	40,16	37,30	40,67
27/03/2022	5,2	37,40	40,08	37,23	40,64
28/03/2022	4,5	37,32	40,05	37,17	40,62
29/03/2022	0,0	37,27	39,99	37,11	40,61

Para melhor detalhar tal análise, optou-se por avaliar a série do teor de umidade registrado nos primeiros 50 cm (Nível 1), por ser a camada mais próxima da superfície com registro de dados e com respostas mais rápidas na alteração de umidade frente aos eventos de chuva. (Figura 4) em comparação a outras profundidades com sensores.

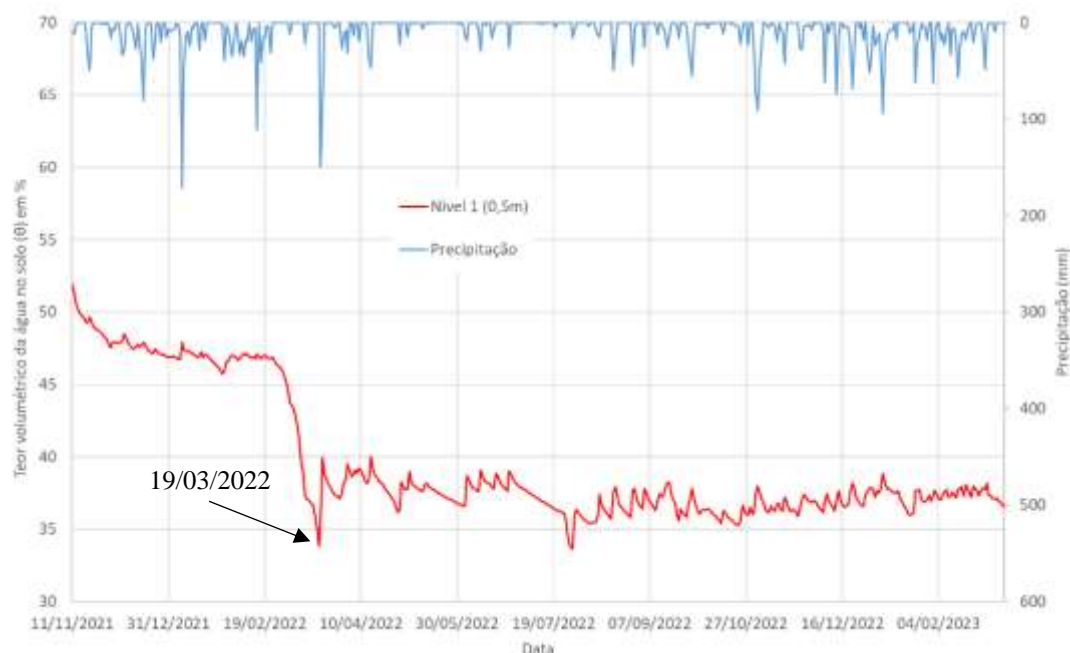


Figura 4. Teor volumétrico da água a 50cm de profundidade, em relação à precipitação na estação pluviométrica Rua Amazonas (cód. 2243433)

De acordo com a série (Figura 4 / Tabela 1), após um período de aproximadamente 10 dias sem qualquer registro de chuva (23/02 a 03/03/2022), tempo suficiente para drenagem nas primeiras camadas do solo, no dia 04/03/2022 há registro de 12,2 mm de chuvas. Entretanto, o teor de umidade na primeira camada, que deveria se elevar, continua em declínio até o dia 20/03/2022, onde ocorre precipitação de 149,0mm. Tal ponto serve como marco da mudança dos valores medidos e surgimento de uma tendência mais abaixo, principalmente no Nível 1 a 0,50 cm de profundidade.

Uma outra verificação da qualidade das informações se dá quando plotado o percentual de umidade em relação à precipitação nos três anos de registros de dados do sensor do Quitandinha. Espera-se observar uma tendência linear entre os dados de precipitação e umidade anual.

De acordo com a Figura 5, fica claro que há uma visível separação entre as primeiras medições em 2021 e início de 2022, em relação ao resto da série. Após o dia que se observou mudança de comportamento da série de umidade (19/03/2022) do sensor do Quitandinha-Geo, os pares de dados precipitação x umidade apresentaram tendência linear homogênea (2022 e 2023).

O ponto referente ao dia 19/03/2022 apresenta comportamento fora de todas as tendências, reforçando a possibilidade de problemas com os registros entre a data da instalação até a referida data.

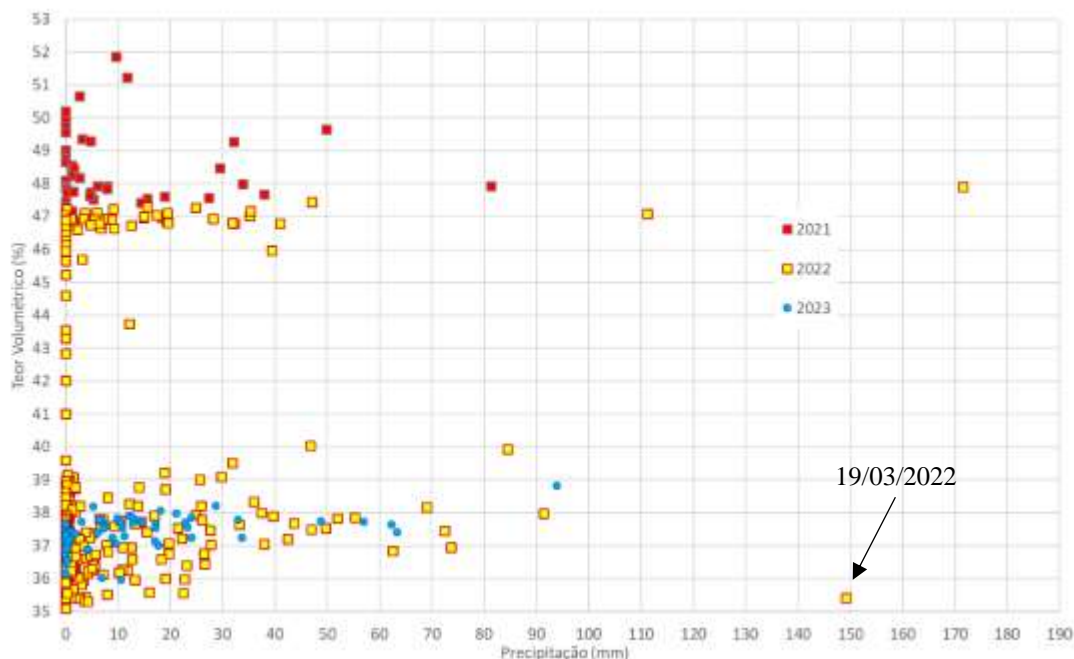


Figura 5. Relação: precipitação de 24 horas da Estação Rua Amazonas em relação ao teor de umidade medido na camada 50cm, pela sonda Quitandinha-Geo

Teor de água acumulado no solo durante eventos de deslizamento na região

Mesmo apresentando ser uma parte aparente duvidosa da série de umidade, buscou-se avaliar se há variação na ordem de grandeza do teor acumulado no solo, em datas de deslizamentos registradas pela Defesa Civil entre os anos de 2021 e 2022, na região do Quitandinha. A Tabela 2 mostra as precipitações acumuladas para 24 horas e 96 horas, antes dos deslizamentos e os teores registrados pela sonda de umidade na profundidade de 50cm. Pela ausência de medição de dados de retenção de água em diferentes potenciais matriciais no horizonte do solo onde o sensor do CEMADEN foi instalado, não se sabe se a umidade abaixo registrada é a da saturação.

Tabela 2. Teor de umidade registrado no dia do deslizamento

Data do deslizamento	Acumulado (mm)		Teor de umidade (θ) em % N1 (0,50m)
	24 horas	96 horas	
18/12/2021	81,3	139,6	47,92
19/12/2021	4,6	142,8	47,62
20/12/2021	0,0	123,9	47,44
16/02/2022	0,0	123,2	46,90
17/02/2022	41,0	158,7	46,79

A Tabela 1 mostra que mesmo durante o período entre a instalação da sonda e o dia 19/03/2022, período aparentemente anômalo, há coerência entre os valores medidos nos dias citados

de deslizamento na primeira camada do solo. Mostrando que em tal camada do solo, a umidade se aproxima de 50% da capacidade de armazenamento de água.

CONCLUSÕES

Foi apresentado neste trabalho uma análise preliminar simplificada do teor de umidade registrado pela sonda Quitandinha_Geo (cód. 330390601G), para o período de 2021 a 2023, em relação à precipitação registrada pelo pluviômetro automático na estação Rua Amazonas (cód. 2243433), ambas do Cemaden.

A avaliação concluiu que aparentemente há uma anomalia no comportamento da série histórica de umidade no período entre o dia da instalação e o dia 19 de março de 2022. Ou seja, a série apresenta desníveis na sequência registrada para as profundidades, além de falta de tendência das informações, entre o dia da instalação e o dia 19/03/2022. Tal informação indica que o uso do período inicial da série para análise comparativa ou validação de modelos deve ser feita com atenção, pois pode não refletir as condições reais do solo no momento da medição.

Uma sugestão para validar os registros de umidade da sonda seria compara-los com resultados de simulação de umidade com informações de propriedades hidráulicas medidas nas profundidades de instalação da sonda e de dados de precipitação de estação próxima ao sensor, utilizando modelos próprios para isso, de modo a reproduzir no modelo as mesmas condições existentes *in loco*.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, M.; BORTOLOZO, C.; MENDES, R.; METODIEV, D.; MENDES, T. S. G., Gabriel SANT'ANA, M. **Análise da Chuva e Umidade do Solo Monitorados pela PCD Geotécnica UR12 COHAB II no Desastre de Maio de 2022 em Recife/PE.** (2023) III END - Encontro Nacional de Desastres da ABRHidro. Niterói-RJ. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=14474>
- CEMADEN. Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. [2025]. Estações Geotécnicas. Disponível em: <http://www2.cemaden.gov.br/mapainterativo/#>. Acesso em: 26 mai. 2025.
- CEMADEN. Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. [2024]. Disponível em: <https://www.gov.br/cemaden/pt-br/assuntos/noticias-cemaden/defesas-civis-do-rj-recebem-treinamento-do-cemaden-mcti-sobre-dados-das-pcds-geo-e-o-sistema-de-monitoramento-de-riscos-de-deslizamentos>. Acesso em: 25 maio 2025.
- GONZALEZ, F. C. G.; MENDONÇA, M. B.; COELHO, G. V. S. **Probabilidade de ocorrência de deslizamentos em função da pluviometria aplicada à bacia do rio Quitandinha, Petrópolis-RJ.** VIII Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas. (2021). Porto de Galinhas – PE.
- GOOGLE EARTH PRO. Brasil: Google, [2025]. Disponível em: <http://www.google.com/earth>. Acesso em: 25 mai. 2025.
- MAFFRA, C. Q. T. & CENTENO, J. A. S. **Soil Moisture Estimation using Remote Sensing and its Possible Applications in the Study of Landslides.** Revista Brasileira de Cartografia (2016), Edição Especial Movimentos de Massa e Processos Erosivos.

MELO, C. R.; OTTONI, M. V.; GUEDES, P. A.; MELO, S. C. **Análise Comparativa entre a Umidade do Solo Medida *In Situ* e com Uso de Modelo Matemático Computacional, para Evento de Deslizamento em Recife.** XXV SBRH - Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Aracaju – Sergipe (2023). Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=14962>

MELO, C. R.; CRISPIM, A. K. N.; MELO, S. C.; SANTOS, K. A.; GUEDES, P. A. **A Importância da Consistência das Séries Pluviométricas Utilizadas em Projetos. Estudo de Caso do Bairro do Quitandinha, Petrópolis/RJ.** XVII SRHNe - Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. João Pessoa – PB (2024). Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=16306>

MORAES, M. A. E. & MENDES, R. M. **Índice de Precipitação Antecedente para Estimar Umidade do Solo e Correlacionar como Processo Desencadeador na Ocorrência de Movimento de Massa.** Revista H-TEC Humanidades e Tecnologia. v. 7 n. 02 (2023)

SILVA, D. C. de O. Aplicação do Modelo SHALSTAB na Previsão de Deslizamentos em Petrópolis. (2006) Dissertação de mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.