

## XXV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

### **ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE A UMIDADE DO SOLO MEDIDA *IN SITU* E COM USO DE MODELO MATEMÁTICO COMPUTACIONAL, PARA EVENTO DE DESLIZAMENTO EM RECIFE**

*Cristiane R. de Melo*<sup>1</sup>; *Marta V. Ottoni*<sup>2</sup>; *Paulo A. Guedes*<sup>3</sup> & *Solange C. de Melo*<sup>4</sup>

**Abstract:** One of the triggers for landslides is soil moisture, a factor that cannot always be measured at the time of the event, for a variety of reasons. In the absence of measured data, one option is the use of mathematical models that reliably reproduce the real information. Hence, the work presented here sought to compare the mathematical model Hydrus 1D to the humidity data, measured with the EnviroSCAN probe from Sentek. The rig is operated by the National Center for Natural Disaster Monitoring and Alerts – Cemaden. The conclusion shows that there is a significant similarity in the relationship between the humidity measured by the Cemaden probe and that simulated with the Hydrus 1D program. The simulated values are close to the expected, varying by about 10% in relation to the measured values. More research is needed to deepen the knowledge about this relationship for the area, in other scenarios, relating precipitation and antecedent infiltration to landslide, with measured and simulated data. The humidity sensor was sensitive to landslides, even located approximately 1km from the events, making an important contribution to issuing alerts. The work points to the need for more investment in the installation of sensors, even if located at a certain distance, but subjected to measurements on similar soil, for the assessment of susceptibility to landslides. It also points to the need for more investment in modeling methods, to improve the quality of alerts.

**Resumo:** Um dos deflagradores de deslizamento é a umidade do solo, fator que nem sempre pode ser medido no instante do evento, pelos mais diversos motivos. Na falta de dados medidos, uma opção é o uso de modelos matemáticos, que reproduzam com confiabilidade as informações reais. Desta forma, o trabalho aqui apresentado buscou comparar o modelo matemático Hydrus 1D aos dados de umidade, medida com sonda EnviroSCAN da Sentek. A sonda é operada pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais – Cemaden. A conclusão mostra que há uma significativa semelhança na relação entre a umidade medida pela sonda do Cemaden e a simulada com o programa Hydrus 1D. Os valores simulados encontram-se próximos do esperado, variando em cerca de 10% em relação aos valores medidos. Mais pesquisas são necessárias para aprofundar o conhecimento sobre esta relação para a área, em outros cenários, relacionando infiltração e precipitação antecedente ao deslizamento, com dados medidos e simulados. O sensor de umidade foi sensível ao deslizamento, mesmo localizado a aproximadamente 1km dos eventos, sendo uma importante contribuição na emissão de alertas. O trabalho aponta a necessidade de mais investimentos na instalação de sensores, mesmo que localizados a uma certa distância, mas submetidos a medições em solo semelhante, para a avaliação de suscetibilidade ao deslizamento. Também aponta a necessidade de mais investimentos em métodos de modelagem, para melhorar a qualidade dos alertas.

**Palavras-Chave** – Infiltração, Precipitação, Deslizamento.

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;

3) Instituto Federal de Pernambuco. Av. Prof. Luís Freire, 500 - Cidade Universitária, Recife, PE, Brasil. e-mail: paulo.guedes@recife.ifpe.edu.br.

4) Serviço Geológico do Brasil. Rua Escritor Souza Barros, 1001 – Cabanga, Recife, PE, Brasil. e-mail: solange.melo@sgb.gov.br.

## INTRODUÇÃO

A instabilidade do solo das encostas está relacionada ao aumento da umidade do solo no qual a ruptura pode ocorrer, sem que a condição de saturação seja alcançada, dentre outros fatores desestabilizadores. O avanço no conhecimento do mecanismo deflagrador depende da implantação de monitoramentos de campo, capazes de registrar a dinâmica hidrológica no momento do evento (Fernandes *et al.*, 2001). Entretanto, a instalação de sensores de umidade de água no solo, distribuídos espacialmente em áreas de risco e que forneçam informações temporais detalhadas, não é simples e necessita de alto investimento.

Modelos numéricos têm sido desenvolvidos para análise da estabilidade dos taludes, mas a maioria deles não representa a infiltração em meios porosos e não saturados, o que traz grande desvantagem na obtenção de resultados simulados mais próximos da realidade, já que a dinâmica da água nos solos exerce forte influência na estabilidade dos terrenos (Rojas, 2017).

Uma opção para preencher essa deficiência dos modelos de estabilidade de taludes é uma avaliação combinada, dos resultados obtidos por modelos que simulam a suscetibilidade ao deslizamento, com aqueles oriundos da modelagem por balanço hídrico do solo. Para o sucesso dessa proposta, torna-se importante que as informações geradas por esses modelos sejam confiáveis. A confiabilidade pode ser investigada, ao se comparar os dados previstos pelo modelo com dados medidos no campo.

A sonda EnviroSCAN da Sentek (261160611G), foi instalada pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais – Cemaden, na UR12 COHAB II, na cidade do Recife/PE. Ela monitora os níveis de umidade presente no solo, por medição de propriedades físicas.

Este trabalho tem como objetivo avaliar a confiabilidade do modelo computacional HYDRUS (PC-progress, 2023) na simulação da série temporal de umidade de água no solo. A análise foi realizada em uma região da cidade do Recife/PE, com histórico de desastre por deslizamento. Foram usados dados reais de umidade no solo, para fins de comparação: os dados da sonda do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais – Cemaden, instalada no local de investigação.

## CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

Os eventos de deslizamento aqui analisados ocorreram nos dias 12/04/2021 e 28/05/2022, na 1ª Travessa da Chapada do Araripe e Rua Monte Pascoal, respectivamente, na comunidade de Jardim Monte Verde (bairro do Ibura). É uma área de litígio, localizada entre os municípios de Recife e Jaboatão dos Guararapes, em Pernambuco.

Segundo Andrade *et al.* (2023), a comunidade está localizada em uma área de Formação Barreiras, constituída em sua maioria de areias argilosas e areias argilo-siltosas. Estas apresentam similaridade entre os percentuais granulométricos, plasticidade variando de baixa a média, com baixa compressibilidade e baixa coesão. A sonda de umidade utilizada foi a EnviroSCAN da Sentek do Cemaden, instalada a aproximadamente 1 km das cicatrizes de deslizamento, conforme apresentado na Figura 1. A sonda encontra-se em solo de mesma constituição granulométrica dos pontos onde ocorreram os eventos.

A Tabela 1 ilustra a composição do solo apresentada em Melo (2021), para a comunidade de Lagoa Encantada, também em área de Formação Barreiras, localizada a 1 km da área onde está instalada a sonda monitorada pelo Cemaden e dos deslizamentos aqui estudados.

Figura 1. Localização dos pontos deslizados e da sonda EnviroSCAN, monitorada pelo Cemaden  
Fonte: Google Earth, 2023

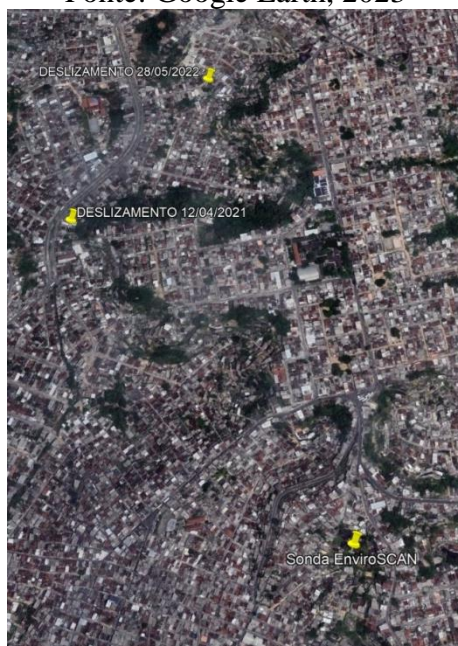


Tabela 1. Composição granulométrica por profundidade

Coordenada		Profund (m)	Composição Granulométrica (%)				% Pass.na #200	Consistência (%)	
Lat.	Long.		Pedreg	Areia				WL	IP
				Grossa	Média	Fina			
08° 7' 32,32"	34° 57' 5,29"	0,15 a 0,60	0,1	4,1	35,0	21,6	39,3	25,71	13,26
		0,60 a 1,41	1,0	16,0	42,4	10,5	30,1	31,13	10,61
		1,41 a 2,15	2,4	14,9	42,0	11,2	29,5	35,19	13,80
		2,15 a 2,50	3,1	19,2	39,9	9,8	28,1	35,87	13,79
		2,50 a 3,50	6,5	7,5	29,8	13,9	42,3	46,86	21,07
08° 7' 32,80"	34° 54' 5,40"	0,00 a 3,40	1,0	17,9	46,5	13,7	20,8	19,45	6,15
		3,40 a 5,37	0,6	12,8	48,8	13,8	24,0	25,33	11,85
08° 7' 32,70"	34° 57' 7,40"	0,00 a 0,50	0,1	3,7	36,4	26,0	22,9	27,75	11,83
		0,50 a 1,60	0,0	2,5	34,9	27,5	35,1	25,74	14,50
		1,60 a 2,80	0,1	4,1	35,0	21,6	39,3	25,71	13,26
		2,80 a 4,13	0,1	4,6	45,3	22,6	27,5	17,71	8,07
08° 7' 12,00"	34° 57' 3,60"	0,00 a 2,25	0,2	4,0	40,8	26,3	28,7	22,82	6,73
		2,25 a 3,00	0,8	4,4	35,0	20,9	38,9	24,96	7,22
		3,00 a 3,80	0,1	4,1	37,2	22,3	36,2	20,08	5,55

Fonte: Melo, 2021

## METODOLOGIA

Na região estudada neste trabalho, de acordo com Melo *et al.* (2022), o quadrimestre chuvoso ocorre entre os meses de maio e agosto. Foi avaliada a série pluviométrica de 2001 a 2022, da estação Recife (código 00834017), que faz parte da Rede Hidrometeorológica Nacional – RHN. A estação é operada pelo Serviço Geológico do Brasil – SGB, e está localizada a aproximadamente 10km do Ibura.

Foram definidos dois cenários de avaliação. No Cenário 1, avaliou-se a umidade medida pela sonda do Cemaden, para o evento ocorrido no dia 28/05/2022, com ênfase até a profundidade de 2 metros, profundidade média de ruptura para a qual foi simulada a umidade utilizando o modelo Hydrus 1D. Neste caso, foi realizada a comparação entre a lâmina diária de água em mm medido pela sonda e a correspondente lâmina simulada para o período, a partir do primeiro dia do ano até o dia do movimento de massa, seguindo a mesma premissa apresentada por Gusmão Filho (1997) (Melo *et al.*, 2023). No Cenário 2, buscou-se avaliar o comportamento da infiltração no solo em relação à umidade antecedente ao evento, para os dois eventos em análise: 28/05/2022, ocorrido no período chuvoso, e 12/04/2021, que aconteceu fora da quadra chuvosa.

Os dois métodos utilizados para obtenção da umidade do solo não consideram a topografia da área avaliada. O modelo Hydrus foi idealizado apenas para terrenos planos e a sonda do Cemaden está instalada em área plana. Os dados de precipitação utilizados na análise foram registrados pela PCD Geo UR12 COHAB II (261160611G), e avaliados juntamente com os dados de teor de umidade em Cemaden (2023).

### Hydrus (módulo 1D)

O balanço hídrico do solo foi realizado utilizando o modelo Hydrus (módulo 1D), que simula o movimento unidimensional de água, baseado na Equação de Richards, para o fluxo de água em ambientes porosos. Os principais dados de entrada são a precipitação, as características e propriedades do solo.

A simulação no Hydrus foi realizada para a profundidade de 200 cm, sendo subdividida em duas camadas: 1) uma camada inicial de solo com classe textural Franco Argilo-Arenoso (*Sandy Clay Loam*) de 0 cm a 16 cm de profundidade; e 2), uma segunda camada de 17 cm a 200 cm de solo de classe Areia Franca (*Loamy Sand*). O modelo hidráulico analítico escolhido para avaliar a infiltração, na área piloto, foi o de Van Genuchten (1980), sem consideração da histerese do solo, submetido à pressão atmosférica e drenagem livre. O período da série histórica de chuva utilizado foi do ano de 2022, registrado pela estação pluviométrica Alto da Bela Vista (cód. 261160604A) da Agência Pernambucana de Águas e Climas - APAC, localizada a, aproximadamente, 2,5km da área deslizada.

### Sonda Cemaden

A sonda Cemaden, específica para monitoramento de umidade da zona não saturada, mede o teor volumétrico da água no solo ( $\theta$ ) em percentual. Os sensores de capacitância instalados no solo pelo CEMADEN registram o volume de água a cada 0,5 metros em 6 profundidades (0,5m, 1,0m, 1,5m, 2,0m, 2,5m e a 3,0m). A sonda registra as informações diariamente a cada 10 minutos. Dessa forma, a umidade apresentada neste trabalho refere-se à umidade média diária. Os dados da registrados encontram-se disponíveis na página do Cemaden (2023).

Para que os valores medidos pela sonda sejam comparados aos valores calculados pelo Hydrus 1D, torna-se necessária a conversão do teor em percentual (%) em lâmina de água milímetros (mm). A seguinte equação (Equação 1) foi utilizada para essa conversão:

$$L_h = \left( \frac{\%_h + \%_{h-0,5}}{2 \times 100} \right) \times (h - h_{h-0,5}) \times 1000 + L_{h-0,5} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

$L_h$  – lâmina de água total na profundidade analisada, em milímetros;

$L_{h-0,5}$  – lâmina de água na profundidade acima da atual analisada, em milímetros;

$\%_h$  – Teor de umidade na profundidade  $h$ , em percentual;

$\%_{h-0,5}$  – Teor de umidade na profundidade acima da atual analisada, em percentual;

$h$  – Profundidade analisada da sonda, em metros;

$h-0,5$  – Profundidade da sonda no ponto anterior à profundidade analisada, em metros.

## RESULTADOS

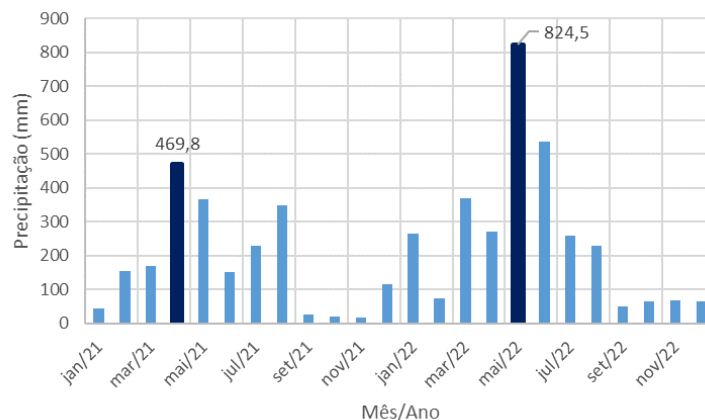
### Avaliação da precipitação antecedente aos eventos de deslizamento

A Figura 2 apresenta a precipitação média mensal nos anos de 2021 e 2022, obtidas dos registros da PCD Geo UR12, com destaque nos meses de abril/21 e maio/22, quando ocorreram os deslizamentos avaliados neste trabalho. Observa-se que a chuva nos meses antecedentes ao deslizamento de 12/04/2021 são inferiores à chuva ocorrida antes do deslizamento de 28/05/2022.

De acordo com Melo et al. (2023), a precipitação média acumulada antecedente aos movimentos de massa, na região de Jardim Monte Verde e seu entorno, entre o primeiro dia do ano e o dia do evento, é da ordem de 1.000 mm.

A precipitação acumulada antes do evento ocorrido em 28/05/2022 é de 1.598 mm, com acumulado de 248 mm em 72 horas. Entretanto, a chuva registrada antes de 12/04/2021 é de 544 mm, com acumulado de 198 mm em 72 horas. Há uma significativa diferença entre a precipitação acumulada anterior aos dois eventos, sendo a precipitação antecedente acumulada de 2021 muito abaixo do esperado para causar deslizamentos na área.

Figura 2. Precipitação mensal de janeiro/2021 a dezembro/2022 (em destaque os meses de abril/2021 e maio/2022)



Além das diferenças entre os acumulados de chuva, há uma diferença significativa em relação à chuva ocorrida no dia dos deslizamentos. A precipitação diária registrada foi de 186,4 mm, em 28/05/22 e de 26 mm, em 12/04/2021.

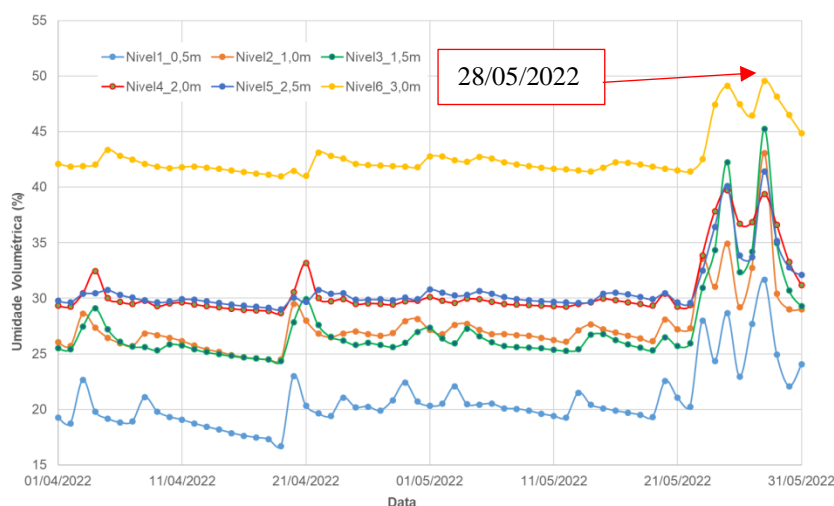
Considerando a baixa precipitação, é razoável imaginar que fatores externos possam ter contribuído para o deslizamento. Por exemplo, um vazamento no sistema de abastecimento ou o lançamento de águas servidas. Entretanto, tais situações não necessariamente deflagraram o evento.

### Cenário 1 – Avaliação do volume medido pela sonda do Cemaden e calculado pelo modelo Hydrus, para o deslizamento de 28/05/2022

A Figura 3 ilustra o teor volumétrico medido pela sonda do Cemaden, em percentual. Há uma sobreposição do teor percentual entre as profundidades de 1,0 metro e 1,5 metros, e entre as profundidades de 2,0 metros e 2,5 metros. Aproximadamente uma semana antes do dia do deslizamento, a partir de 22/05/2022, ocorre sobreposição dos teores percentuais de 4 níveis de profundidade (1,0 metro a 2,5 metros). Atribui-se a sobreposição dos percentuais de umidade por profundidade à característica de solo homogêneo, onde não há interrupção morfológica no ambiente do perfil.

Os registros na profundidade de 1,5 metros mostram uma camada mais suscetível a perda e a ganhos de água, por estar mais próxima da superfície. Enquanto a 3,0 metros de profundidade, indica um possível acúmulo de água, de acordo com a composição do solo, apresentada na Tabela 1.

Figura 3. Teor volumétrico (%) por profundidade da sonda EnviroSCAN, para os meses de abril e maio de 2022.



A Figura 4 apresenta a lâmina de água registrada pela sonda do Cemaden, em milímetros, nas diversas profundidades, em relação àquela simulada no mesmo ponto pelo Hydrus 1D. Observa-se que o solo, dependendo do seu estado de umidade, torna-se sensível à chuva, com resposta na infiltração, mostrando-se muito drenante e propício ao deslizamento.

De acordo com a Tabela 1, análise granulométrica e de consistência (Limite de liquidez e Limite de plasticidade), o solo na profundidade de 1,5 m se apresenta muito responsivo à chuva, infiltrando rápido, proporcionando acúmulos e perdas rápidas de umidade. Quando a água encontra a camada a 3 m impeditiva, cria-se um lençol suspenso, como apresentado na Figura 3. De acordo com Andrade

*et al.* (2023), os efeitos da oscilação da zona saturada profunda e da formação de lençóis suspensos temporários em camadas mais superficiais, combinados às chuvas, compõem situações propícias aos deslizamentos, em sua maioria rasos.

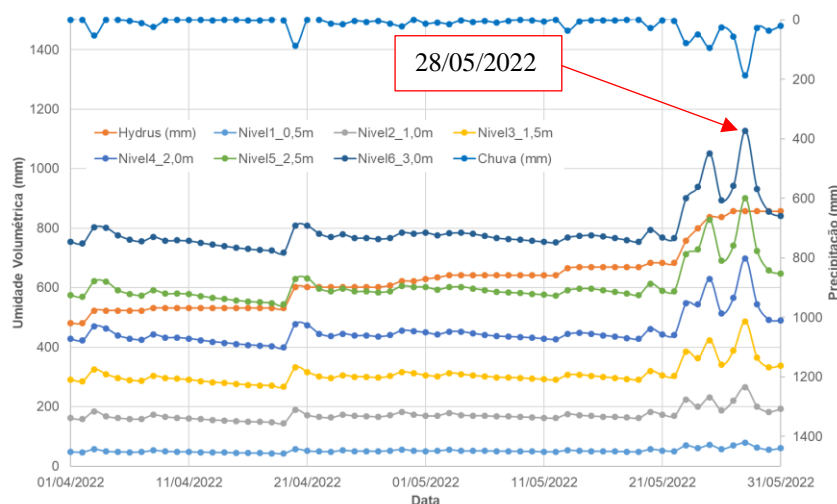
A Figura 4 mostra que os resultados do programa Hydrus para a profundidade de 2 m são compatíveis aos valores medidos pela sonda, para a profundidade entre 2,0 metros e 2,5 metros. Tal diferença pode ser atribuída aos dados de entrada no programa Hydrus ligados à estratigrafia do terreno, pois o referido programa modelou a umidade para um perfil composto de apenas duas camadas (solo *Sandy Clay Loam* de 0cm a 16cm de profundidade e solo *Loamy Sand* de 17cm a 200cm).

Entretanto, também é importante notar que pode haver diferenças entre os valores reais de umidade e os dados observados pela sonda. Isto pode ocorrer especialmente quando há salinidade no solo, o que pode afetar o sensor, causando medições superdimensionadas. A temperatura também influencia as medições, então pode ser relevante considerá-la ao interpretar os dados do sensor (Costa, 2014; Baumhardt *et al.*, 2000). Finalmente, segundo Baumhardt *et al.*, 2000, pode ser necessário reavaliar a calibração de fábrica, especialmente se há interesse em avaliar solos quase saturados. O trabalho sugere que pode ser necessário realizar uma calibração específica para o solo em questão, pois a calibração original pode não estimar adequadamente a umidade, em caso de quase saturação.

No cálculo da umidade com o Hydrus 1D, foi utilizada a chuva acumulada a partir de janeiro do ano analisado até o dia do evento. Acredita-se que uma análise para um período menor, entre 5 e 10 dias de antecedência, possa oferecer melhores relações.

Os cálculos mostram que a umidade registrada pela sonda a 2,5 metros, entre os dias 01/04/2022 e 22/04/2022, apresenta-se 8% superior ao valor simulado. Entretanto, após 23/04/2022 os valores da sonda encontram-se em média 10% menores.

Figura 4. Umidade registrada pela sonda EnviroSCAN nas diversas profundidades, em relação à umidade simulada com o uso do Hydrus 1D, para o evento ocorrido em 28/05/2022.



### Cenário 2 – Avaliação da evolução da umidade antecedente ao deslizamento, registrado pela sonda do Cemaden, para os eventos ocorridos nos dias 12/04/2021 e 28/05/2022

Os registros da sonda do Cemaden apresentaram falha nos períodos anteriores a 15/03/2021. Dessa forma, a série de umidade para o mês de março resume-se à quinzena antecedente ao mês onde ocorreu o deslizamento de 12/04/2021.

Ao contrário do que acontece no evento de 28/05/2022 (Figura 3), o teor de umidade a 0,5 metros é superior às outras profundidades, com exceção do sensor a 1,0 metros, onde os resultados foram superiores (Figura 5).

A Figura 6 ilustra lâmina de água a cada profundidade, em milímetros. Observa-se o mesmo comportamento das lâminas de água por profundidade, ocorrido no evento de 2021 (Figura 4). A Figura 6 também indica que houve um aumento mais significativo da lâmina de água na profundidade de 3,0 metros após a chuva do dia 11/04/2021, um dia antes do deslizamento, em relação as outras profundidades, indicando a surgência de um ponto de acúmulo de água.

O gráfico da Figura 6 também mostra que após a chuva 24hs antecedente ao movimento de massa, o solo apresenta umidade constante em todas as profundidades, não respondendo mais aos aportes de chuva subsequentes. Ou seja, o solo não permitia mais a entrada de água por infiltração e provavelmente a chuva excedente foi transformada em escoamento superficial.

Figura 5. Teor volumétrico (%) por profundidade da sonda EnviroSCAN, para os meses de março e abril de 2021.

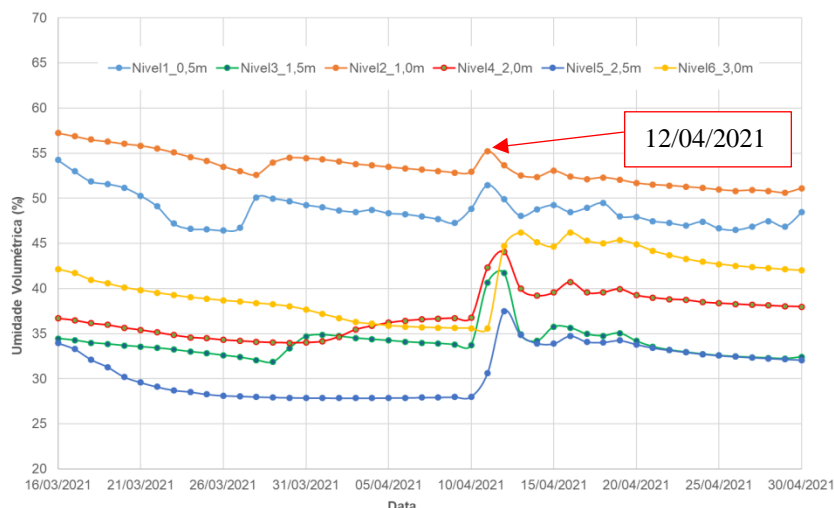
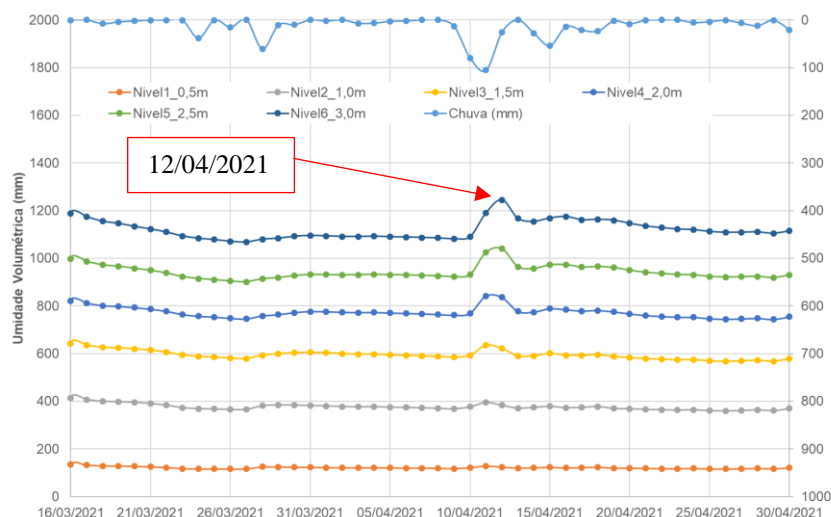


Figura 6. Umidade registrada pela sonda do Cemaden nas diversas profundidades, para o evento ocorrido em 12/04/2021.





Analisando o armazenamento da água no solo relativo aos dois eventos, observa-se o seguinte. Em 28/05/2022 (Figura 4), a chuva coincidiu com os picos de lâminas de água registradas pela sonda, nas diferentes profundidades de medição. No entanto, para o de 12/04/2021 (Figura 6), o atraso na resposta do solo à chuva foi de 1 dia, que pode ser atribuído à umidade antecedente no solo. Nesse último caso, o sensor registrou lâminas de água antecedentes superiores às registradas para o evento do dia 28/5/2022. Assim, para esse evento não foi necessário um volume de água de precipitação muito significativo para a ocorrência do deslizamento. A precipitação acumulada 5 dias antes do evento de abril de 2021, incluindo a do dia do evento, foi de 224,4 mm. Mas se observou uma quantidade bem diferente para o evento de maio de 2022, onde os volumes precipitados foram na ordem de 411,4 mm, 55% superior à da ocorrência de 12/04/2021.

## CONCLUSÕES

A conclusão mostra que há uma significativa semelhança na relação entre a umidade medida pela sonda do Cemaden e a simulada com o programa Hydrus 1D, para todas as profundidades. Os valores simulados encontram-se próximos do esperado. Para a sonda de 2,5 metros, entre os dias 01/04/2022 e 22/04/2022, apresentam-se 8% superiores aos valores simulados. Entretanto, após 23/04/2022 os valores da sonda encontram-se em média 10% menores. Mais pesquisas são necessárias para aprofundar o conhecimento sobre esta relação para a área, em outros cenários. Por exemplo através de análises estatísticas de correlação e de tendência, relacionando a precipitação e a infiltração antecedente ao deslizamento.

Constatou-se que o sensor foi sensível ao deslizamento, mesmo localizado a aproximadamente 1km dos eventos, sendo uma importante contribuição na emissão de alertas. Mostra a necessidade de mais investimentos na instalação de sensores, mesmo que localizados a uma certa distância, mas submetidos a medições em solo semelhante, para a avaliação de suscetibilidade. Também aponta a possibilidade de estudos futuros, que tentem correlacionar dados de umidade do sensor com a susceptibilidade ao deslizamento, bem como com a estimativa de infiltração simulada, para regiões de solo com estrutura e propriedades similares, mas ainda sem o sensoriamento adequado.

Conclui-se também que nem sempre a chuva do dia é suficiente para causar o deslizamento, mas a umidade na qual o solo se encontra influencia o evento. Sendo assim, este trabalho indica que os alertas deveriam ser elaborados com base em informações combinadas de precipitação e de dados hidrológicos e topográficos dos terrenos.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, M.; BORTOLOZO, C.; MENDES, R.; METODIEV D.; MENDES, T. S. G. & SANT'ANA, G. M. Análise da Chuva e Umidade do Solo Monitorados pela PCD Geotécnica UR12 COHAB II no Desastre de Maio de 2022 em Recife/PE. In: III Encontro Nacional de Desastres, Niterói, Rio de Janeiro, 2023.

BAUMHARDT, R.L.; LASCANO, R.J.; EVETT, S.R. Soil material, temperature, and salinity effects on calibration of multisensory capacitance probes. Soil science society of america journal, V.64, P.1940-1946, 2000.

CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTAS DE DESASTRES NATURAIS – CEMADEN. Estações Geotécnicas. Disponível em: <http://www2.cemaden.gov.br/mapainterativo/#>. Acesso em: 26 mai. 2023.

COSTA, B.R.S (2014). Calibração de sensor de capacitância para medida da umidade em solos do semiárido. Dissertação (mestrado em engenharia agrícola). UNIVASF - universidade federal do vale do São Francisco. Juazeiro, BA.

FERNANDES, N. F.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T.; VIEIRA, B. C.; MONTGOMERY, D. R. & GREENBERG, H. *Condicionantes Geomorfológicas dos Deslizamentos nas Encostas: Avaliação de Metodologias e Aplicação de Modelo de Previsão de Áreas Susceptíveis*. In: Revista Brasileira de Geomorfologia, 2001, Volume 2, Nº 1. p 51-71. <https://doi.org/10.20502/rbg.v2i1.8>.

GOOGLE EARTH. Imagem de localização Jardim Monte Verde. Brasil: Google, [2023]. Disponível em: <http://www.google.com/earth>. Acesso em: 26 mai. 2023.

GUSMÃO FILHO, J. A. *Chuva e Deslizamento nas Encostas Ocupadas*. In: *WORKSHOP “A Metodologia e os Recursos Hídricos Aplicados à Defesa Civil”*, Recife, 1997.

MELO, C. R. (2021). Utilização de Informações Espaciais de Alta Resolução para Análise de Suscetibilidade de Deslizamento sob Situação de Precipitações Intensas. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife. <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/22181>.

MELO, C. R.; GUEDES, P. A. & MELO, S. C. *Avaliação da Relação entre Precipitações Extremas em 2022 e a Iminência de Deslizamentos, em Recife*. In: XVI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste & 15º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Portuguesa, caruaru, Pernambuco, 2022.

MELO, C. R.; GUEDES, P. A.; OTTONI, M. V. & MELO, S. C. *Análise do Balanço Hídrico no Solo, em Relação aos Deslizamentos de 28/05/2022, em Jardim Monte Verde, PE*. In: III Encontro Nacional de Desastres, Niterói, Rio de Janeiro, 2023.

PC-progress. Engineering Software Developer. HYDRUS-1D. (2023). Disponível em: <https://www.pc-progress.com/en/Default.aspx?hydrus-1d> em maio de 2023.

ROJAS, K. R. C. *Estudo dos Deslizamentos Superficiais Deflagrados por Chuvas Implementando a Análise não Saturada e Transiente em Escala Regional*. 2017. 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia civil e ambiental). Universidade de Brasília. Brasília.

VAN GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Sci. Soc.* 44: 892–898 p. 1980.