XXII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
XI Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
24 a 28 de agosto de 2026 – Brasília/DF
DOI: 10.47094/COBRAMSEG2026.4/74

ESTUDO DA UMIDADE DO SOLO DO SÍTIO HISTÓRICO DE OLINDA/PE
2026

Yasmim Araújo Freitas
Graduanda, UPE, Recife, Brasil, yaf1@poli.br

Wellington Carlos Damásio de Santana
Graduando, UPE, Recife, Brasil, wcds@poli.br

Pedro Eugenio Silva de Oliveira
Professor, UPE, Recife, Brasil, pedrocivil@hotmail.com

Marcílio André Félix Feitosa
Professor, UPE, Recife, Brasil, marcilio@poli.br

Andréa Batista de Farias Dias
Professora, UPE, Recife, Brasil, deinhabf@hotmail.com

RESUMO: O Sítio Histórico de Olinda (SHO), localizado no estado de Pernambuco, é reconhecido como um patrimônio histórico e cultural da humanidade pela Unesco. Sendo assim, faz-se necessário manter a preservação dos seus arredores e edificações. Seu terreno, majoritariamente, inclui um relevo acidentado com taludes de inclinação entre 14° e 45° (Gusmão, Dias e Oliveira, 2025), apresentando áreas com potencial risco para a ocorrência de deslizamentos em suas encostas (Barreto, 2024). Este trabalho apresenta um estudo do comportamento do solo do SHO em dez cenários distintos de percentuais de umidade. Foi realizada uma coleta das amostras de solo do SHO que foram divididas em recipientes e misturadas com diferentes volumes de água. Utilizou-se, para a medição do percentual de umidade, um módulo sensor capaz de medir o conteúdo volumétrico de água dentro do solo e fornecer o percentual de umidade como um sinal analógico de saída para um microcontrolador. Além disso, foi calculada a umidade das amostras pelo método gravimétrico da estufa. Esse estudo propõe comparar o resultado de umidade do solo com as leituras de umidade realizadas pelo módulo sensor de umidade HD-38 para, no futuro, está ferramenta ser aplicada na avaliação de riscos de deslizamento.

PALAVRAS-CHAVE: Sensor de umidade, monitoramento de encostas, deslizamentos, Sítio Histórico de Olinda.

ABSTRACT: The Historic Site of Olinda (SHO), located in the state of Pernambuco, is recognized as a historical and cultural heritage site of humanity by Unesco. Therefore, it is necessary to preserve its surroundings and buildings. Its terrain predominantly features rugged relief with slopes ranging between 14° and 45° (Gusmão, Dias e Oliveira, 2025), presenting areas with potential risk for the occurrence of landslides on its hillsides (Barreto, 2024). This study presents an analysis of the soil behavior of the SHO under ten distinct moisture percentage scenarios. A collection of soil samples from the SHO was carried out, and the samples were divided into containers and mixed with different volumes of water. For the measurement of moisture content, a sensor module capable of measuring the volumetric water content in the soil and providing the moisture percentage as an analog output signal to a microcontroller was used. In addition, the moisture content of the samples was calculated using the oven-drying gravimetric method. This study proposes comparing the soil moisture results with the moisture readings obtained by the HD-38 moisture sensor module so that, in the future, this tool may be applied in landslide risk assessment.

KEYWORDS: Moisture sensor; slope monitoring; landslides; Historic Site of Olinda.

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, existe uma variedade de centros históricos considerados patrimônio mundial da humanidade pela Organização das Nações Unidas para Educação, Ciência e Cultura (Unesco) (Barreto, 2024), sendo um deles o Sítio Histórico de Olinda (SHO) situado no estado de Pernambuco. Neste local, existe um grande número de manifestações culturais que atraem turistas de todos os cantos do país, principalmente no Carnaval, quando o fluxo de pessoas aumenta consideravelmente. Visto sua relevância cultural e econômica na região metropolitana do Recife, é de extrema importância a manutenção e preservação de todo o seu perímetro tombado.

Existem pesquisas científicas sobre esse local desde a década de 1980 com ênfase na caracterização geológica dos Morros de Olinda (Gusmão, 1986) e, atualmente, por meio do Grupo de Pesquisa de Engenharia Aplicada ao Meio Ambiente (AMBITEC), foi realizada uma avaliação geotécnica das encostas no SHO (Gusmão, Dias e Oliveira, 2025). A partir desses estudos, foram apresentadas as características geotécnicas críticas em algumas áreas como a Bica dos Quatro Cantos (Figura 1) e no entorno de algumas edificações. Além disso, seu relevo possui taludes com inclinações entre 14° e 50° (Gusmão, Dias e Oliveira, 2025), condições que indicam um potencial risco de movimentação e deslizamento destas encostas. Essa situação pode se agravar devido a percentuais elevados de umidade do solo (Maffra, 2016) que geralmente são causados por fatores como grandes volumes de chuvas ou vazamentos de encanações. Devido a isso, se faz necessário um estudo mais aprofundado dessa região e a intervenção da Prefeitura de Olinda para buscar meios de diminuir os riscos de deslizamentos nas áreas em condições críticas.



Figura 1. Bica dos Quatro Cantos. (Fonte: Autor)

Este trabalho busca fazer ensaios com amostras de solo do SHO utilizando um sensor de umidade que realiza a leitura do conteúdo volumétrico de água dentro do solo e fornece o sinal de leitura para um microcontrolador (Arduíno Uno). Os dados coletados serão apresentados via gráficos com objetivo de verificar as características do solo e fazer a correlação dessas leituras com o método do Gravimétrico de Estufa. É importante destacar que este projeto faz parte da primeira etapa de um projeto maior, que busca fazer o monitoramento dos parâmetros de: variação de inclinação de taludes, volume de chuvas da região e umidade do solo.

2 METODOLOGIA

As etapas de desenvolvimento deste trabalho consistiram no levantamento bibliográfico da literatura a respeito deste tema e ensaios utilizando o método Gravimétrico da estufa juntamente com a medição dos parâmetros através do módulo sensor.

2.1 Características do solo

As amostras de solo utilizadas neste trabalho foram retiradas do talude próximo ao colégio academia Santa Gertrudes (Figura 2) que apresenta como características uma inclinação de 26° e a profundidade em que as amostras foram retiradas foi de 1,30 e 1,50 metros (Gusmão, Dias e Oliveira, 2025).



Figura 2. Talude analisado. (Fonte: Gusmão, Dias e Oliveira, 2025).

Com base no parecer técnico referente à avaliação geotécnica preliminar do perímetro tombado do Sítio Histórico de Olinda (SHO) (Gusmão, Dias e Oliveira, 2025), o solo estudado neste trabalho possui as características apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Características do solo do SHO.

Granulometria do material	Solo areno-argiloso
Umidade de Campo (%)	0,41 - 6,70
Densidade real dos grãos (%)	2,40 – 2,70
Limite de Plasticidade (%)	17 - 22
Limite de Liquidez (%)	21 - 25
Índices de Plasticidade (%)	0,42 – 6,98
Umidade Ótima (%)	12 - 14

Para mais informações a respeito da avaliação geotécnica recomenda-se a leitura do trabalho de "Consultoria Solos: Parecer técnico referente à avaliação geotécnica preliminar do Perímetro Tombado do Sítio Histórico de Olinda/PE" [1] (Gusmão, Dias e Oliveira, 2025).

2.2 Ensaios com o método Gravimétrico de Estufa

A umidade do solo pode ser determinada através de vários métodos, neste trabalho foi escolhido o procedimento de secagem na estufa com o objetivo de comparar os resultados deste experimento a partir dos valores lidos pelo sensor de umidade.

Dessa maneira, o método da estufa consistiu nos seguintes procedimentos (EMBRAPA, 1997):

I. Pesagem dos recipientes metálicos vazios;
II. Coleta de 10 amostras de solo em recipiente numerados;
III. Mistura de diferentes quantidades de água para cada amostra;
IV. Pesar amostras com massa úmida (Figura 3);
V. Colocar as amostras em uma estufa a 105ºC por 24 horas;
VI. Pesar novamente as amostras com massa seca.

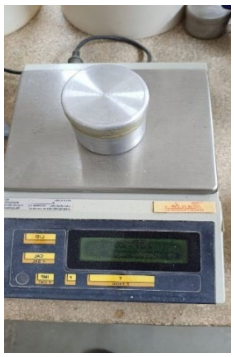


Figura 3. Pesagem das Cápsula. (Fonte: Autor).

As especificações técnicas da balança estão disponíveis na Tabela 2.

Tabela 2. Especificações técnicas da balança.

Modelo	AS 2000 C
Resolução	0,5 g
Carga máxima	2000 g
Carga mínima	0,5 g

Neste sentido, o próximo passo foi calcular o conteúdo de umidade do solo a partir dos resultados obtidos no experimento. Este cálculo foi realizado utilizando a Equação (1) (KLEIN, 2008).

$$h[\%] = \frac{Mu-Ms}{Ms}\ x\ 100 \quad (1)$$

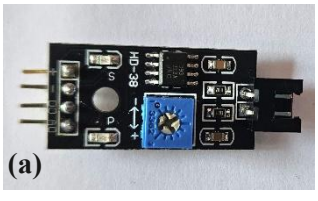
Em que:
h: percentual de umidade [%];
Mu: Massa úmida [g];
Ms: Massa seca [g].

Esse experimento foi feito em paralelo com as medições do sensor de umidade, para calibração do sensor e comparação entre as duas medições.

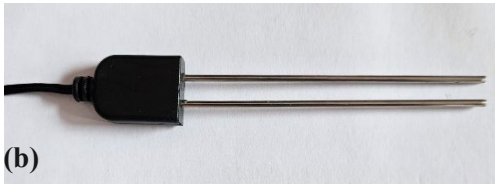
2.3 Sensor de umidade HD-38

O sensor de umidade de solo utilizado nos ensaios foi o modelo HD-38 que se destaca por possuir sondas anticorrosivas e pela sua compatibilidade com microcontroladores como o Arduino. Este sensor pode ser alimentado por tensão de Corrente Contínua (CC) no intervalo entre 3.3 V e 12 V, para isso ele possui o pino de alimentação positiva (VCC) e o pino de referência (GND) (Figura 4a). Enquanto na sua saída, há uma porta destinada para a leitura do sinal digital (D0) e outra para a resposta analógica (A0) (Faridah, 2024), estes sinais são gerados a partir da resistência elétrica entre as duas sondas ao passar corrente elétrica no solo. Portanto, em ambientes muito úmidos a corrente irá fluir melhor e, consequentemente, a resistência será menor, ou seja, o valor da resistência será inversamente proporcional ao percentual de umidade (Figura 4b).

Além disso, este dispositivo possui de um potenciômetro para definir o valor do limite inferior do sinal de entrada e um circuito LM393 que compara o valor definido pelo potenciômetro com o valor lido na entrada analógica, gerando assim, a saída digital deste sinal.



(a)



(b)

Figura 4. Sensor de Umidade: (a) Módulo do sensor; (b) Sonde de contado com o solo.

2.4 Medições com o sensor de Umidade

Neste trabalho o foco principal foi na comparação e na correlação entre as medições realizadas pelo sensor de umidade e os ensaios com o método do gravimétrico de estufa, citado anteriormente, com o objetivo de gerar uma curva de calibração e ajustes para o sensor HD-38 baseados nos resultados da técnica da estufa. Para a leitura e interpretação dos sinais do sensor, se utilizou o Arduino Uno, um microcontrolador que pode ser programado via IDE Arduino, que permite a criação de códigos em linguagem C++ para o controle e monitoramento de dispositivos conectados a esse dispositivo.

Antes das medições, foi testado o sensor em ambiente seco (ar – 0% de umidade) e em ambiente úmido (água – 100% de umidade) para definir os limites mínimos e máximos de leitura do mesmo. Esses valores foram usados no código para definir o intervalo de leitura e converter os dados lidos pelo Arduino, que variam entre 0 a 1023, para valores de porcentagem no intervalo de 0 a 100%. Como a resistência é inversamente proporcional a passagem de corrente, de acordo com a configuração do modulo sensor, os dados numéricos de 0 a 1023 correspondem a 100% e a 0% de umidade, respectivamente.

Inicialmente, as medições ocorreram no Laboratório de Solos da Universidade de Pernambuco, em que foram separadas 10 amostras, onde as duas primeiras medições (Cápsulas 1 e 2) foram feitas em solo seco, sem adição de água (Figura 5a). As cápsulas seguintes passaram por 4 situações de adição de líquido:

- Cápsula 3 e 4: Adição de 210 ml de água;
- Cápsula 5 e 6: Adição de 420 ml de água;
- Cápsula 7 e 8: Adição de 630 ml de água;
- Cápsula 9 e 10: Adição de 840 ml de água;

Considerando a necessidade de representar diferentes estados de umidade do solo durante o experimento, a definição das quantidades de água adicionadas levou em conta a relação entre o volume de água incorporado e a massa de solo utilizada nos ensaios. Para cada condição experimental foram utilizados aproximadamente 3 kg de solo, de modo que a adição inicial de 210 ml de água corresponde aproximadamente a 7% de umidade em relação à massa de solo seco. A escolha desse valor inicial baseou-se no fato de que a umidade ótima de compactação de solos arenosos geralmente se encontra em faixas próximas de 9% a 16%, dependendo da granulometria e das características do material. Dessa forma, optou-se por iniciar os ensaios em uma condição de umidade inferior à faixa ótima, permitindo avaliar o comportamento do sensor desde estados mais secos até condições progressivamente mais úmidas do solo.

A partir dessa condição inicial, foram realizados incrementos sucessivos de 210 ml de água, possibilitando a simulação de diferentes estados de umidade do solo, abrangendo desde condições abaixo da umidade ótima até valores superiores a essa faixa. Essa estratégia experimental permitiu avaliar a resposta do sensor ao longo de um intervalo representativo de umidades normalmente observadas em solos arenosos em ensaios geotécnicos de compactação, conforme valores típicos reportados na literatura técnica (Federal Highway Administration, 2021).

A mistura do solo com a água ocorreu de forma manual em um recipiente de plástico maior para uniformizar a umidade por todo o solo (Figura 5b).



Figura 5. Experimento com o sensor: (a) Medição de umidade com o sensor; (b) Processo de uniformização da umidade.

3 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

As informações coletadas nos dois ensaios estão exibidas nas Tabelas 3 e 4, na Tabela 3 temos os dados e resultados do experimento do Gravimétrico de Estufa. Vale ressaltar, que na coluna de Umidade, o cálculo foi obtido com base na Equação (1).

Tabela 3. Experimento do Gravimétrico de Estufa.

Ordem das Capsulas	Peso da Capsula vazia(g)	Quantidade de água (ml)	Capsula+solo Antes da estufa(g)	Capsula+solo Depois da estufa (g)	Umidade (%)
1	35,54	0	120,67	119,83	0,70
2	39,19	0	98,07	97,40	0,69
3	37,89	210	91,14	84,93	7,31
4	40,33	210	97,18	89,87	8,13
5	39,85	420	98,75	85,57	15,27
6	39,92	420	70,51	60,68	16,20
7	28,33	630	82,03	66,37	23,59
8	31,85	630	69,15	55,78	23,97
9	31,08	840	86,42	65,53	31,88
10	31,32	840	104,03	78,85	31,93

A Tabela 4 apresenta as leituras realizadas com o sensor de umidade HD-38, na segunda coluna temos as leituras analógicas do Arduino variando de 1023 a 0 níveis e na terceira coluna esses valores são convertidos para uma faixa invertida para iniciar no 0 até o 1023, por meio da função map() do Arduino. Na coluna 4, esses valores são apresentados no formato de porcentagem.

Tabela 4. Leituras com o sensor de umidade.

Ordem das capsulas	Leitura analógica	Leitura invertida	Umidade (%)
1	1023	1	0,00
2	1023	1	0,00
3	631	392	38,32
4	631	392	38,32
5	330	693	67,74
6	330	693	67,74
7	284	739	72,24
8	284	739	72,24
9	273	750	73,31
10	273	750	73,31

Com o objetivo de verificar a precisão do sensor de umidade, suas leituras foram comparadas com os valores de percentual de umidade do método do Gravimétrico de Estufa (Tabela 3). Assim, essa comparação foi realizada por meio do gráfico da Figura 6, em que no eixo X se encontra a umidade do gravimétrico de estufa e no eixo Y as leituras invertidas do sensor de umidade.

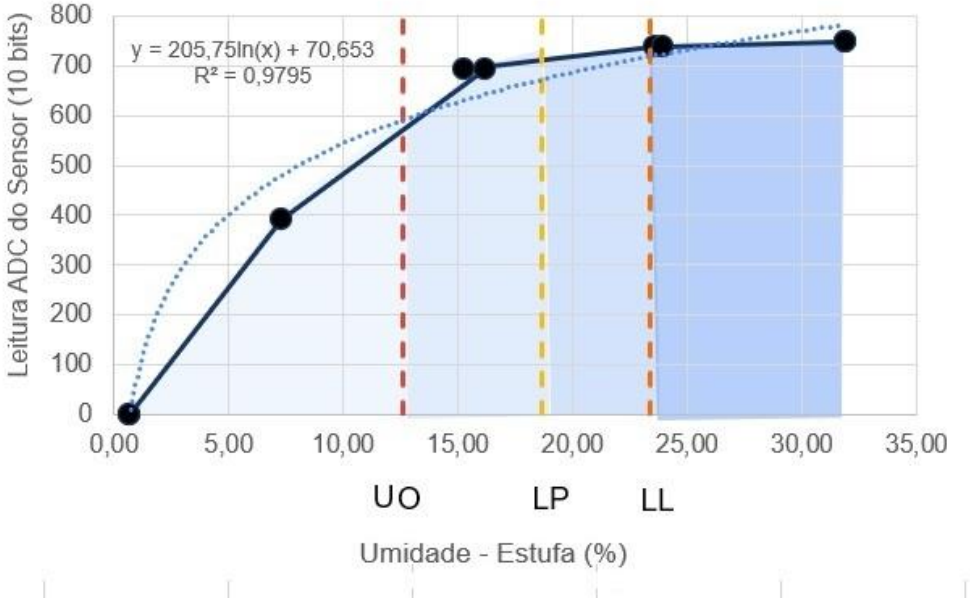


Figura 6. Gráfico de comparação entre os dois experimentos.

Neste sentido, se pode identificar no gráfico três estágios importante:

- Umidade ótima (UO): se refere ao ponto em que o teor de água não permite expulsar ar dos poros do solo (Klein, 2014);
- Limite de Plasticidade (LP): Ponto de umidade que torna o solo quebradiço (Klein, 2014);
- Limite de Liquidez (LL): Ponto de umidade que o solo se comporta como fluído (Klein, 2014).

No gráfico, evidencia-se a correlação entre os dois métodos através da Equação 2, em que y equivale a leitura do sensor (LS). Em outro cenário, pode-se utilizar essa equação em função dos valores obtidos pelo sensor HD-38 para a equação resultar nos valores de umidade (h) do método do Gravimétrico de Estufa (Equação 3).

$$y = LS = 205{,}75\ ln\ ln\ (x)\ + 70{,}653 \tag{2}$$

$$x = h = exp\left(\frac{y-70{,}653}{205{,}75}\right) \tag{3}$$

Em relação as características do solo do SHO, com base no comportamento do gráfico se percebe que a partir do ponto LP o sensor diminui a percepção de umidade, indicando um possível grau de saturação do solo, estado no qual os seus poros estão preenchidos com água (Dhruvin, 2024). Além disso, é possível verificar a variação das leituras do sensor com a umidade da estufa, e que ambas apresentam um crescimento proporcional com a adição de água no solo. Contudo, se percebe que o sensor possui uma sensibilidade maior em determinar os valores de umidade em comparação com método da estufa, que possui como percentual máximo de umidade igual a 31,93 %.

4 CONCLUSÃO

A análise dos resultados permite observar que as leituras obtidas pelo sensor de umidade estão superiores aos valores resultantes do ensaio gravimétrico de estufa, um dos fatores que pode ocasionar esta diferença é a sensibilidade do sensor que está elevada em condições baixas de umidade e satura com facilidade quando a umidade passa dos 30%. Esses erros podem ser minimizados com a calibração através do potenciômetro presente no módulo sensor e por meio da definição de pontos mais precisos de umidade mínima e máxima determinados via software.

Apesar disso, a partir dos dois métodos, ensaio com gravimétrico de estufa e medições com o sensor, foi possível identificar o ponto de saturação cujas ambas as leituras apresentaram uma região do gráfico com menor absorção de água pelo solo. Esse percentual de umidade pode ser utilizado para auxiliar em futuras pesquisas com o sensor nesse tipo de solo. Ademais, essa informação evidencia uma característica importante do solo do SHO e o percentual de umidade necessária para a sua saturação. Vale destacar, que o estudo do grau de saturação de um solo representa um mecanismo importante para deslizamentos de taludes, principalmente, em ocasiões de chuvas intensas. A partir dos dados obtidos, é possível se realizar um monitoramento mais preciso do SHO e para projetos futuros, implementar um sistema de alerta para a Defesa Civil do estado, baseado na análise de variáveis como umidade do solo e inclinação de taludes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Barreto, J.C. (2024) *Avaliação patrimonial-ambiental em restauro arquitetônico e urbano no patrimônio mundial: o casario do sítio histórico de Olinda, no Brasil*. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife.

Dhruvin, J., Alexandrina, U., Costin, U. (2024) *A review of soil modeling for numerical simulations of soil-tire/agricultural tools interaction.* Journal of Terramechanics.

EMBRAPA (1997). *Manual de métodos de análise de solo*. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro: Embrapa, p. 212.

Faridah, S.N., Sapsal, M.T., Jamaluddin, T.A.A., Achmad, A.D., Surya, M.A. (2025) *Stability of soil moisture sensors for agricultural crop cultivation*. Res. Agr. Eng., 71: 88–94.

Federal Highway Administration (2021). *Soils and Foundations Reference Manual*. Washigton, DC: US. Disponível em: < https://www.fhwa.dot.gov/engineering/geotech/pubs/05037/05a.cfm >. Acesso em: 05 mar. 2026.

Gusmão, A.D, Dias, A.B.F, Oliveira, P.E.S. (2025) *Consultoria solos: Parecer técnico referente à avaliação geotécnica preliminar do Perímetro Tombado do Sítio Histórico de Olinda/PE (SHO) [recurso eletrônico]*. Recife: UFPE; IPHAN, 2025. 99 p. il. Color. Disponível em: <https://lup-ufpe.net.br/temp/download/consultoria-solos-parecer-tecnico-referente-a-avaliacao-geotecnica-preliminar-do-perimetro-tombado-do-sitio-historico-de-olinda-pe/>. Acesso em: 06 jan. 2026.

Gusmão Filho, J. A., de Silva, J. M. J., Figueiredo, L. C., Costa, W. D., Amorim Jr., W. M. (1986) *Caracterização Geológico-Geotécnica dos Morros de Olinda*. Recife.

Klein, V. A (2014). *Física do Solo*.3 ed. Passo Fundo: Editora da UPF, p.263.

Maffra, C.Q.T, Centeno, J.A.S. (2016) *Estimativa da umidade do solo por meio de sensoriamento remoto e suas possíveis aplicações no estudo de deslizamentos de terra*. Revista Brasileira de Cartografia, Curitiba: Universidade Federal do Paraná (UFPR).