

Comportamento hidráulico e mecânico de um perfil de solo não saturado em conjunto com sensores de umidade na baixada Santista-SP

Vinícius Samahá Salles

Aluno do curso de Engenharia Civil, UNESP/FEG, Guaratinguetá, Brasil, vinicius.samaha@unesp.br

Mariana Ferreira Benessiuti Motta

Professora Assistente Doutora, UNESP/FEG, Guaratinguetá, Brasil, mariana.motta@unesp.br

João Vitor Almeida Leite

Aluno do curso de Engenharia Civil, UNESP/FEG, Guaratinguetá, Brasil, jva.leite@unesp.br

Jhonathan dos Santos Pacheco

Aluno do curso de Engenharia Civil, UNESP/FEG, Guaratinguetá, Brasil, jhonathan.santos@unesp.br

Márcio Roberto Magalhães de Andrade

Pesquisador, CEMADEN, São José dos Campos, Brasil, marcio.andrade@cemaden.gov.br

Daniel Metodiev

Bolsista, CEMADEN, São José dos Campos, Brasil, daniel.metodiev@cemaden.gov.br

RESUMO: Os deslizamentos são fenômenos naturais, porém a ação antrópica pode facilitar e acelerar esse processo. Durante chuvas intensas, comuns no Brasil, a situação torna-se preocupante, aumentando a probabilidade de ocorrência de tais desastres, visto que o solo fica com elevado grau de saturação. Portanto, compreender o comportamento da água em um solo é fundamental para o monitoramento eficaz do risco. Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo caracterizar os horizontes do solo a partir das características hidráulicas e mecânicas de um perfil de solo não saturado em um local monitorado pelo CEMADEN (Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais) na cidade de São Vicente-SP, por meio de uma Plataforma de Coleta de Dados geotécnicos (PCD). A caracterização mecânica foi realizada *in situ*, com ensaio Penetrômetro Dinâmico Leve (DPL) ao longo do perfil, já a caracterização hidráulica foi realizada em laboratório utilizando o equipamento KSAT para investigar a condutividade hidráulica saturada do solo nos diferentes horizontes identificados. A partir dos ensaios, verificou-se que há variação de resistência à penetração e de condutividade hidráulica saturada ao longo da profundidade, sendo analisados e compreendidos como possíveis zonas críticas de instabilidade em eventos pluviométricos.

PALAVRAS-CHAVE: Solos tropicais, Ensaio de campo, Ensaio de laboratório, Penetrômetro Dinâmico Leve, Baixada Santista-SP.

ABSTRACT: Landslides are natural phenomena, but human actions can facilitate and accelerate this process. During intense rains, common in Brazil, the situation becomes worrying, increasing the likelihood of such disasters as the soil becomes highly saturated. Therefore, understanding water behavior in soil is essential for effective risk monitoring. In this context, this study aims to characterize soil horizons based on the hydraulic and mechanical characteristics of an unsaturated soil profile at a site monitored by CEMADEN (National Center for Monitoring and Alerts of Natural Disasters) in the city of São Vicente-SP, using a Geotechnical Data Collection Platform (PCD). Mechanical characterization was performed *in situ*, with a Light Dynamic Penetrometer (DPL) test along the profile, while hydraulic characterization was conducted in the laboratory using the KSAT test to investigate the saturated hydraulic conductivity of the soil in the different identified horizons. From the tests, it was found that there is variation in penetration resistance and saturated hydraulic

conductivity along the depth, which are analyzed and understood as possible critical zones of instability during rainfall events.

KEYWORDS: Tropical soils, Field test, Laboratory test, Light Dynamic Penetrometer, Baixada Santista-SP.

1 INTRODUÇÃO

Os deslizamentos de terra na Baixada Santista são eventos geológicos recorrentes que representam uma ameaça significativa para a região. Esta área, caracterizada por uma combinação de fatores topográficos, geológicos e climáticos, está suscetível a deslizamentos de encostas, especialmente durante períodos de chuvas intensas. Esses eventos não apenas colocam em risco a segurança das comunidades locais, mas também podem resultar em perdas materiais e de vidas humanas.

Em 2020, na Baixada Santista, ocorreu um grande deslizamento provocado por fortes chuvas e intensificado pela topografia acidentada da região, causando a morte de 45 pessoas e resultando na interdição de 477 moradias, conforme relatado pela Secretaria de Segurança Pública (SSP) (G1, 2020). Este incidente evidencia os desafios enfrentados pela região e destaca a necessidade de estudos sobre o comportamento do solo para aprimorar a eficácia dos sistemas de alerta.

A compreensão do comportamento hidráulico e mecânico dos solos é essencial para uma variedade de aplicações geotécnicas. Na Baixada Santista, região litorânea do estado de São Paulo, a complexa interação entre os perfis de solo e as condições ambientais apresenta desafios particulares, amplificado por ser em região tropical onde o regime de chuva é intenso (Carvalho *et al.*, 2009), destacando a importância de estudos específicos nesta área.

Neste sentido, este artigo apresenta uma investigação sobre o comportamento hidráulico e mecânico próximo a uma plataforma de coleta de dados geotécnicos (PCD) em um local monitorado pelo CEMADEN (Centro Nacional de Monitoramento e Alertas) na cidade de São Vicente-SP. As compreensões dessas ações são fundamentais para caracterizar os horizontes de solo de modo a determinar faixas de umidade de risco, garantindo assim maior refinamento nas emissões de alerta para a região.

Para realizar a caracterização mecânica foi realizado ensaio *in situ* DPL (Penetrômetro Dinâmico Leve) em diferentes profundidades ao decorrer do perfil, para que fosse identificado as diferenças na resistência à penetração do solo em todas as profundidades monitoradas pela PCD. A caracterização hidráulica foi realizada em laboratório a partir do equipamento KSAT em amostras indeformadas coletadas em diferentes profundidades. Com este ensaio, obtém-se a condutividade hidráulica do solo saturado, que serve para investigar os fenômenos de infiltração e percolação da água nos diferentes horizontes identificados.

As realizações destes ensaios com a correlação das medições de umidade da PCD fornecem informações que podem servir como subsídio para a melhoria dos sistemas de alerta associados a movimento de massa, auxiliando assim a tomada de decisão dos técnicos do CEMADEN para a emissão de futuros alertas de deslizamentos na região estudada.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Avaliação do Comportamento Mecânico a partir de Ensaio com DPL

Conforme Sitarenios *et al.* (2021) o comportamento hidromecânico da camada de solo não saturado é crucial na compreensão dos fenômenos de deslizamentos de terra causados por chuvas, resultando na saturação gradual do solo superficial, o que resulta em uma diminuição da resistência ao cisalhamento disponível e, consequentemente, na formação de uma zona de ruptura.

O ensaio DPL Nilsson permite a avaliação da variação da resistência à penetração ao longo do perfil do solo. Similar ao tradicional SPT (Standard Penetration Test), o DPL Nilsson é uma versão modificada do ensaio DPL desenvolvida no Brasil. Esta versão permite a execução por poucas pessoas, além de possuir transporte e montagem facilitados, tornando-o ideal para a realização de ensaios em locais de acesso mais complexo (BASTOS, 2016).

Segundo Gomes (2016), o teste consiste em um cone e um conjunto de hastes que são inseridos no solo pela energia dinâmica do martelo ao bater no batente após deslizar 75 cm na guia. A haste guia é conectada a

um conjunto de hastes, cada uma com 1 metro de comprimento, podendo o conjunto alcançar profundidades de até 12 metros. Um coxim de borracha é utilizado para absorver o impacto entre o martelo e o batente.

As características geométricas e o peso do material são especificados pela norma alemã DIN 4094-3 (2002). A partir de uma sequência de golpes realizados com a queda livre do martelo, cuja massa é de 10 kg, registra-se o valor N_{10} ao longo da cravação do perfil. Este valor indica a quantidade de golpes necessários para cravar 10 cm. Nilsson (2008) destaca que além desse dado, é possível determinar torques máximos, atrito lateral e resistência de ponta, os quais podem ser utilizados para estimar, de forma aproximada, outros parâmetros geotécnicos como coesão, ângulo de atrito, compactidade dos solos granulares e consistência de solos argilosos.

Diversos autores utilizam o ensaio de DPL em perfis de solo aplicado à estabilidade de taludes. Dentre as aplicações, destaca-se a determinação da camada resistente relacionada ao topo rochoso e a avaliação do N_{10} ao longo da profundidade para identificação de horizontes com contrastes de resistência à penetração (e.g. Hegazy e Mayne, 2002; Gomes, 2016). Nesse contexto, segundo os autores, o ganho de resistência ao longo da profundidade é proveniente do aumento do teor de silte e areia.

Outro fator que influencia o comportamento mecânico do solo e as medições de parâmetros de resistência de ponta e atrito lateral é a variação do teor de umidade. Conforme o estudo de caso realizado por Giacheti *et al.* (2019), a interferência da variação de umidade no ensaio de DPL é mais evidente em profundidades de até 4 metros, estando, portanto, na zona ativa de sucção do perfil.

2.2 Avaliação do Comportamento Hidráulico a Partir da Condutividade Hidráulica Saturada do Solo

Segundo Viera *et al.* (2001), os comportamentos hidráulicos durante chuvas estão diretamente relacionados à influência da água na estabilidade das encostas. Tal fato mostra a importância do entendimento dos comportamentos hidráulicos e de suas propriedades.

De acordo com Lambe e Whitman (1979), propriedades físicas como tamanho das partículas, índice de vazios, composição mineralógica, e grau de saturação estão correlacionados com a condutividade hidráulica do solo. Além desses fatores, segundo Melchior *et al.* (2010), a formação de fissuras no solo e ação de raízes de vegetação presentes contribuem para o aumento da condutividade hidráulica, em razão da criação de caminhos preferenciais de fluxo na camada.

Para compreender o comportamento hidráulico, existem diversos ensaios de campo e laboratório para a obtenção da condutividade hidráulica. Os métodos de laboratório possibilitam o controle das condições de contorno, resultando em dados mais precisos desde que as amostras sejam de boa qualidade e indeformadas, de acordo com Bicalho *et al.* (2009).

O ensaio com o equipamento KSAT permite realizar ensaios de carga constante ou variável em laboratório, em amostras de solo de maneira automática. Obter a condutividade hidráulica saturada do solo é de suma importância para compreender e tomar decisões sobre o comportamento do perfil diante a uma determinada condição de saturação. Para a realidade da Baixada Santista, identificar a variação deste parâmetro ao longo da profundidade significa entender as condições que podem levar o solo à perda de estabilidade.

No trabalho de Coelho (2020), foi estudado um perfil de encosta na Serra do Mar, onde foram observadas discontinuidades significativas entre o solo residual maduro e solo residual jovem, podendo favorecer o aparecimento de discontinuidades hidráulicas. No solo residual maduro, a água percola com maior facilidade, contrastando o solo residual jovem que tem certa dificuldade, causada pela diferença entre seus atributos físicos, gerando uma zona saturada e possível instabilidade local.

3 ÁREA DE ESTUDO E PCD GEOTÉCNICA

A região da Baixada Santista – SP é uma área crítica definida pelo REDEGEO (projeto do CEMADEN, financiado pela FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos) e apresenta uma extensa lista de ocorrências de deslizamentos de terra. A região compreende nove municípios: Bertioga, Cubatão, Guarujá, Itanhaém, Mongaguá, Peruíbe, Praia Grande, Santos e São Vicente. Geomorfologicamente, está localizada na unidade Província Costeira, que apresenta duas estruturas de relevo distintas: a Serrania Costeira (subzona Serra do Mar) e as Baixadas Litorâneas, com precipitação anual variando de 1600 a 2000 mm (FREITAS *et al.*, 2022; QUEIROZ *et al.*, 2019; ALMEIDA, 2018).

As Plataformas de Coleta de Dados (PCDs) instaladas pelo CEMADEN, consistem em sondas EnviroScanTM e um pluviômetro. As sondas foram instaladas em tubos de acesso personalizados fabricados pela Sentek Pty. Ltd. Dentro de cada sonda, estão distribuídos sensores de capacidade Sentek, que fornecem uma medida volumétrica de água (em milímetros de água por 100 milímetros de solo medido). Cada sonda é equipada com seis sensores, permitindo a determinação da umidade do solo a cada meio metro, alcançando três metros de profundidade. Esta distribuição da profundidade permite monitorar variações de umidade para as camadas do solo que são relevantes para o estudo do comportamento do solo não saturado.

A localização da PCD estudada está na aldeia indígena Guarani Paranapuã, dentro do Parque Estadual Xixová Japuú, na cidade de São Vicente, São Paulo, nas coordenadas -23.982131, -46.380465. Essa região é caracterizada pela preservação da mata atlântica. A PCD está instalada no Morro da Prainha, em uma área íngreme da floresta coberta por vegetação densa, que serve para atenuar o choque das chuvas sobre o solo, além de diminuir a erosão e infiltração, ajudando na estabilidade do solo (GUIDICINI, 1984).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Perfil de Solo Estudado

A estação de PCD analisada foi a de Paranapuã, localizada na cidade de São Vicente, SP. Foram retiradas amostras indeformadas e deformadas ao longo da profundidade próxima ao sensor da PCD. Além da coleta de amostras para ensaios laboratoriais, foi realizado o ensaio de DPL para a caracterização da resistência do solo em diferentes profundidades.

Foi realizada a classificação tátil-visual ao longo da profundidade com as amostras deformadas que foram extraídas ao longo da profundidade com o trado, considerando todas as amostras obtidas de 0 a 3 metros. Ademais, visando a caracterização física do perfil em laboratório, optou-se por selecionar três amostras para a realização dos ensaios de granulometria conjunta, limites de consistência e densidade dos grãos (de 0,2m a 0,8m – solo orgânico; de 1,3m a 1,7m – solo residual maduro; e de 2,8m a 3,3m – solo residual jovem) por serem intervalos de transição de camadas.

A determinação do limite de plasticidade e de liquidez foi conduzida conforme as diretrizes estabelecidas pelas normas NBR 7180 (2016) e NBR 6459 (2016), respectivamente. Para a classificação granulométrica, foi utilizada a NBR 7181 (2018) como referência bibliográfica. Além disso, foi realizado o ensaio para determinação da massa específica dos grãos determinado pela NBR 6458 (2016). A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos nos ensaios de caracterização física.

Tabela 1. Propriedades e índices físicos dos solos analisados.

Solo	Gs	w (%)	γ_t (kN/m ³)	e	n	S (%)
Solo Orgânico	2,565	25,34	12,91	1,35	0,57	38,9
Solo Residual Maduro	2,622	23,87	13,68	1,28	0,56	43,3
Solo Residual Jovem	2,630	15,91	13,85	1,11	0,53	34,4

Solo	Pedregulho (%)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	w _L (%)	w _P (%)
Solo Orgânico	0,2	75,8	10,5	13,5	-	NP
Solo Residual Maduro	1,3	66,7	23,3	8,7	-	NP
Solo Residual Jovem	1,1	72,9	21,8	4,2	-	NP

Gs – Densidade relativa dos grãos; w – Umidade gravimétrica; γ_t - Peso específico total; e – Índice de vazios; n – Porosidade; S – Grau de Saturação; w_L – Limite de Liquidez; w_P – Limite de Plasticidade; NP – não plástico.

As amostras deformadas retiradas em profundidade através do trado foram utilizadas para a classificação tátil-visual. Essa classificação é importante para entender os tipos de solos e suas prováveis características, servindo como base comparativa com outros ensaios, como DPL, a fim de entender as mudanças nas características e no comportamento do solo.

De forma geral, pode-se observar que o perfil de solo é tipicamente areno argiloso a siltoso, não plástico, classificado pela SUCS como SM (Areia Siltosa) nas três profundidades analisadas.

4.2 Comportamento Mecânico – DPL

No dia 07/03/2024, às 10h30, foi realizado *in situ* o ensaio de DPL no local de estudo, aproximadamente a um metro da sonda Paranapuã. Na manhã daquele dia, ocorreu uma chuva leve, afetando principalmente os níveis de umidade nas camadas mais superficiais do solo. No entanto, devido à densa cobertura da mata fechada, apenas uma pequena parte da chuva conseguiu penetrar no solo.

Pretendendo ter resultados mais confiáveis, foi realizado o segundo ensaio às 15h30. A Tabela 2 apresenta os registros dos valores de umidade dos sensores nos dois momentos de realização do ensaio. Pode-se observar que ao longo deste dia o teor de umidade volumétrico manteve-se constante ao longo do perfil.

Tabela 2. Umidades volumétricas ao longo do perfil de solo nos dois horários de ensaios com DPL.

Profundidade [m]	Umidade às 10h30 (%)	Umidade às 15h30 (%)
0,5	30,02	30,14
1,0	32,75	32,61
1,5	25,55	25,48
2,0	23,14	23,18
2,5	24,13	24,15
3,0	30,06	30,06

Nos dois ensaios realizados, procedeu-se a uma verificação tátil-visual com o objetivo de selecionar a melhor ponteira para o penetrômetro, conforme destacado no estudo de Bastos (2016). Optou-se pela utilização da ponteira de 90° devido às características arenosas do solo constatado. O ensaio *in situ* iniciou com a retirada da camada superficial, cerca de 5 cm, para evitar que haja alteração de medida causada pela vegetação do local. Após isso, foi realizada a fixação da haste com a ponteira e da haste guia para o martelo, e iniciado o ensaio anotando a quantidade de golpes a cada 10 cm, adicionando-se uma nova haste a cada metro. Após 3,05 metros de penetração, foi atingindo o topo rochoso, em que foi dado mais 30 golpes sem nenhum avanço da haste do DPL, resultando na paralisação da análise.

O segundo ensaio procedeu-se próximo ao sensor do PCD, criando-se, no entanto, um novo furo para o ensaio, a fim de evitar qualquer influência da resistência à penetração do solo. A realização se deu de modo semelhante ao primeiro, chegando em uma profundidade de 3 metros até a paralisação do ensaio por ter dado 30 golpes sem avanço da haste.

Ao término do ensaio, foram realizadas análises dos resultados, nas quais foram comparadas as diferenças de N_{10} de cada sondagem correlacionando com a umidade volumétrica em profundidade no horário do local.

4.3 Comportamento Hidráulico em Laboratório – KSAT

O comportamento hidráulico do perfil foi realizado em três profundidades distintas considerando mudanças no tipo solo (0,5 m, 1,5m e de 3m de profundidade), a partir de amostras indeformadas em campo. O equipamento utilizado para a realização do ensaio foi o KSAT da Meter Group. O procedimento consistiu em impor uma carga variável (com uma coluna de água inicial de 5 cm) e medir a taxa de percolação da água utilizando um sensor que se comunica automaticamente com o computador por meio do software KSAT. Cada amostra foi submetida a pelo menos dois testes, e foram testadas pelo menos duas amostras em cada profundidade. Os dados obtidos no ensaio são apresentados como média para cada profundidade analisada.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com base nos resultados obtidos, foi elaborada a Figura 1, que apresenta os resultados de N_{10} obtidos nos ensaios com DPL, os valores de umidade volumétrica e a análise tátil-visual ao longo da profundidade. Essa representação visa facilitar a compreensão das zonas de contraste encontradas durante a penetração da haste.

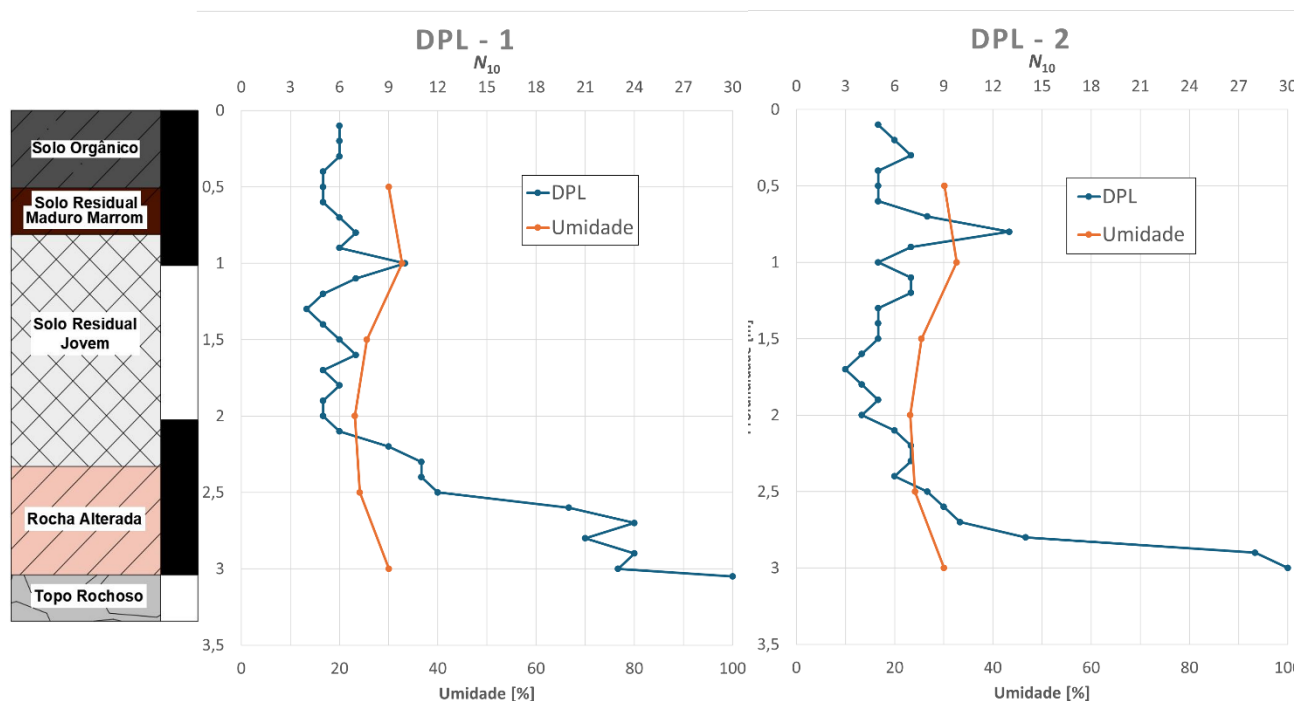


Figura 1. Comparativo entre os ensaios com DPL e classificação tátil-visual.

Os gráficos dos ensaios de DPL indicaram quatro intervalos distintos de resistência à penetração, cada um caracterizado por variações no índice de resistência N_{10} . No primeiro intervalo de solo orgânico a residual maduro, na profundidade de 0 até 0,6 m, os valores de N_{10} variam entre 5 e 7, nas duas situações ensaiadas. Entretanto, o segundo intervalo se destaca com um pico notável, sendo uma zona de contraste na profundidade de 0,6 m até 1,1 m, atingindo um N_{10} de 9. Tal intervalo está relacionado à região de transição de tipo de solo, entrando no solo residual jovem. Após a região de transição, no intervalo de 1,1 m até 2,5 m, os valores de N_{10} retornam para a média de 6, porém é uma camada de solo residual jovem e com uma umidade inferior ao primeiro intervalo. Já no último intervalo, há um aumento significativo de N_{10} , alcançando 30, indo de acordo com a classificação tátil-visual, que representa a zona de transição para rocha alterada e topo rochoso.

Para os dois ensaios de DPL, realizados em diferentes horários de um mesmo dia, percebe-se que as características registradas em ambos os ensaios são consistentes, com pouca variação na resistência do solo. Isso evidencia que a variação da resistência à penetração ao longo do perfil está relacionada à composição mineralógica e granulometria dos horizontes analisados, já que não houve variação de umidade suficiente para influenciar os valores de N_{10} nos dois horários realizados.

Ao comparar a resistência à penetração ao longo da profundidade com a variação do teor de umidade volumétrico registrada pelos sensores, pode-se verificar que a região com o pico de N_{10} (de 0,6 a 1,1m) está associada ao sensor com maior teor de umidade. Subsequente, no horizonte de solo residual jovem há um decréscimo tanto de resistência à penetração quanto de teor de umidade, caracterizando um material mais suscetível a infiltração. Por fim, na transição de rocha alterada e topo rochoso, tais valores voltam a subir.

Ademais, na Tabela 3 são apresentados os valores de condutividade hidráulica saturada (K_s) obtidos a partir dos ensaios de KSAT. Ao comparar com a Figura 1, nota-se que o pico de umidade registrado na interface entre o solo residual maduro e jovem está relacionado a camada subsequente de menor permeabilidade, dificultando a passagem de água para as profundidades inferiores. Vieira (2001) explica que a descontinuidade hidráulica menos acentuada (variando da ordem de 10^{-4} para 10^{-5} m/s) entre as camadas pode ser explicado pela

variação do teor de areia como foi registrado na granulometria do perfil estudado (Tabela 1). Conforme descrito no estudo de Coelho (2020), essa diferença de permeabilidade entre as camadas de solo residual maduro e jovem pode formar uma zona saturada e surgimento de poropressão positiva, causando instabilidade e sendo uma profundidade crítica para a estabilidade.

Tabela 3. Valores de condutividade hidráulica saturada para os horizontes de solo.

Classe de solo	Ks (m/s)
Solo Orgânico	$4,07 \times 10^{-5}$
Solo Residual Maduro	$1,41 \times 10^{-4}$
Solo Residual Jovem	$8,03 \times 10^{-5}$

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo avaliou o comportamento hidráulico e mecânico de um perfil do solo não saturado na região da Baixada Santista, destacando sua relevância para a compreensão dos deslizamentos de terra recorrentes na área. Essa avaliação foi realizada por meio de ensaios de campo e laboratório, buscando compreender os parâmetros e índices físicos do solo ao longo da profundidade.

Os resultados obtidos revelaram uma variação nos padrões do comportamento hidráulico e mecânico do solo no perfil estudado. A partir dos ensaios DPL, identificaram-se diferentes zonas de transição e contrastes, especialmente nas camadas de solo residual maduro, jovem e rocha alterada. Essas zonas foram correlacionadas com variações da permeabilidade, umidade e granulometria do solo, através da análise dos resultados e em associação com a literatura.

Os resultados deste estudo têm implicações significativas para a gestão de riscos de deslizamentos de terra na Baixada Santista. Com a compreensão dos fatores que influenciam o comportamento do solo, é possível correlacionar os dados da PCD instalada, auxiliando os técnicos do CEMADEN a tomarem decisões mais assertivas na emissão de futuros alertas de deslizamento.

Em conclusão, este estudo oferece uma contribuição importante para o entendimento dos processos geotécnicos que influenciam os deslizamentos de terra na Baixada Santista. Ao combinar abordagens de campo e laboratório, foi possível obter dados sobre o comportamento hidráulico e mecânico do solo, fornecendo uma base de informações para o CEMADEN. No entanto, é importante ressaltar que a pesquisa está em andamento, e os resultados apresentados são parte de um estudo mais amplo que abrange outros aspectos não abordados aqui, tais como comportamento microestrutural, obtenção de curvas de retenção de umidade do solo ao longo da profundidade e correlação de todos os parâmetros obtidos com os dados dos sensores de umidade.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio fornecido pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), com a concessão de bolsa de Iniciação Científica, processo nº 2023/13865-1, e Projeto de Pesquisa Regular, processo nº 2023/04461-4. Também agradecem o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) pela parceria nesta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, F. F. M. (2018) Fundamentos geológicos do relevo paulista: *Revista do Instituto Geológico*, v. 39, n. 3, p. 9-75, 2018.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 6458. *Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm - Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 6459. *Solo - Determinação do Limite de Liquidez*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 7180. *Solo - Determinação do Limite de Plasticidade*. Rio de Janeiro.

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2018). NBR 7181. *Solo - Análise Granulométrica*. Rio de Janeiro.
- BASTOS, N. J. (2016) *Interpretação racional do ensaio DPL*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.
- BICALHO, K. V.; MACHADO, S. L.; GERSCOVICH, D. M. S. (2015) *Condutividade hidráulica e fluxo em solos não saturados*. In: CARVALHO, J. C.; GITIRANA JUNIOR, G. F. N.; MACHADO, S. L.; MASCARENHA, M. M. A.; SILVA FILHO, F. C.; RODRIGUES, R. A. Solos não saturados no contexto geotécnico, *Oficina de Textos*, p. 297-326.
- COELHO, R. D. (2020) *Caracterização das propriedades físicas do solo e a instabilidade das encostas na Serra do Mar (Itaóca-SP)*. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (2002). DIN 4094-3: *Soil investigation and testing – Subsoil exploratory methods*.
- FREITAS, A. A. *et al.* (2020) Meteorological conditions and social impacts associated with natural disaster landslides in the Baixada Santista region from March 2nd–3rd. *Urban Climate*, v. 42, 2022.
- G1. *Veja quem são os mortos pela chuva que atingiu a Baixada Santista*. Disponível em: <https://g1.globo.com/sp/santos-regiao/noticia/2020/03/03/veja-quem-sao-as-vitimas-do-temporal-que-atinge-a-baixada-santista.ghtml>. Acesso em: 10 mar. 2024.
- GIACHETI, H. L.; DOURADO, J. C.; MALAGUTTI FILHO, W.; DE MIO, G. (2006) Comparação entre resultados de ensaios sísmicos Down-Hole e Cross-Hole no Campo Experimental da UNESP de Bauru. In: XIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica–Cobramseg.
- GOMES, G. J. C. (2016) *Modelagem da interface solo-rocha utilizando inferência Bayesiana*. Tese Doutorado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, PUC–Rio
- GUIDICINI, G. (1984) *Estabilidade de Taludes naturais e de Escavação*. São Paulo: *Editora da USP*.
- HEGAZY, Y.; MAYNE, P. (2002) Objective site characterization using clustering of piezocone data. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, v. 128, n. 12, p. 986–996.
- LAMBE, T. W.; WHITMAN, R. V. (1979) *Soil Mechanics*. SI Version, Wiley, New York, NY, USA.
- MELCHIOR, S.; SOKOLLEK, V.; BERGER, K.; VIELHABER, B. STEINERT, B. (2010) Results from 18 years of in situ performance Testing of Landfill cover systems in Germany. *Journal of Environmental Engineering*. v. 136, n. 8, p. 815-823.
- NILSSON, T. U. (2008) Parameter approach from DPL test. In: International Conference on Site Characterization, 2008, Taipei, Taiwan. Anais. London, UK: Taylor et Francis Group.
- QUEIROZ, D.; GARCIA, M. G. M.; DEL LAMA, E. A. (2019) Desafios para a avaliação de locais de interesse geológico em áreas urbanizadas: Baixada Santista, Litoral do Estado de São Paulo. *Anuário do Instituto de Geociências*, v. 42, p. 129-144.
- SITARENOS, P. CASINI, F.; ASKARINEJAD, A.; SPRINGMAN, S. (2021) Hydro-mechanical analysis of a surficial landslide triggered by artificial rainfall: the Ruedlingen field experiment. *Géotechnique*, v. 71, n. 2, p. 96-109.
- VIEIRA, B. C.; FERNANDES, N. F.; DE MELLO, R. L. C. (2001) Variação espacial da condutividade hidráulica saturada dos solos e suas relações com os escorregamentos da Bacia do Rio Papagaio (RJ). In: 3ª Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas (COBRAE). p. 25-32.