



Caracterização pedológica de duas vertentes na bacia do Rio Gurutuba, em Itaóca, SP

Douglas da Silva Cabral¹, Francisco Sérgio Bernardes Ladeira²

¹Graduação em Geologia pela Universidade Estadual de Campinas (2008). Atualmente é pesquisador em geociências do Serviço Geológico do Brasil – CPRM. E-mail: douglas.cabral@sgb.gov.br (autor correspondente) ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-3804-3667> ²Graduação em Bacharelado em Geografia pela Universidade Estadual Paulista - Júlio de Mesquita Filho (1989), Mestrado em Geografia (Geografia Física) pela Universidade de São Paulo (1995), Doutorado em Geografia (Geografia Física) pela Universidade de São Paulo (2001), Livre-Docência pela Universidade Estadual de Campinas (2021). Atualmente é docente da Universidade Estadual de Campinas. Tem experiência na área de Geociências, com ênfase em Paleopedologia, Superfícies Geomorfológicas e Relação Solo-Relevo. E-mail: fsbladeira@ige.unicamp.br ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9990-2332>

Artigo recebido em 11/04/2023 e aceito em 07/02/2024

RESUMO

O Brasil tem como principal causador de desastres naturais, os movimentos gravitacionais de massa e dentre estes, os deslizamentos se destacam. Nesse contexto, a região geomorfológica denominada Serra do Mar, entre os estados do Paraná e Rio de Janeiro, é cotidianamente afetada por desastres naturais e, principalmente, deslizamentos de solos. Desta forma, este trabalho busca, caracterizar pedologicamente diferentes encostas e determinar fatores que possam influenciar a ocorrência dos deslizamentos de forma não uniforme entre as vertentes. Para isso, o estudo baseou-se na caracterização de solos através de análises tátil-visual de campo e ensaios de caracterização geotécnica no município de Itaóca, SP, na região conhecida como Vale do Ribeira e inserida no domínio da Serra do Mar. A região foi selecionada devido sua geomorfologia com encostas íngremes e que registraram inúmeros deslizamentos planares no evento chuvoso ocorrido em janeiro de 2014, quando chuvas torrenciais nas bacias dos rios Guarda-Mão e Gurutuba, deflagaram um grande número de deslizamentos, ocasionando corridas de detritos e ceifando aproximadamente 25 vidas no município. Assim, acredita-se ser possível analisar as características de diferentes solos de encostas próximas e que foram atingidas igualmente pelas chuvas, mas registraram um número desigual de deslizamentos.

Palavras-chave: Pedologia; Solos; Suscetibilidade; Deslizamentos.

Pedological characterization of two slopes in the Gurutuba River basin, in Itaóca, SP

ABSTRACT

The main cause of natural disasters in Brazil is gravitational mass movements and among these, landslides stand out. In this context, the geomorphological region called Serra do Mar, between the states of Paraná and Rio de Janeiro, is daily affected by natural disasters and, mainly, landslides. Thus, this work seeks to characterize pedologically different slopes and determine factors that may influence the occurrence of landslides in a non-uniform manner between the slopes. For this, the study was based on the characterization of soils through tactile-visual field analysis and geotechnical characterization tests in the municipality of Itaóca, SP, in the region known as Vale do Ribeira and inserted in the domain of Serra do Mar. The region was selected due to its geomorphology with steep slopes and which registered numerous planar landslides in the rainy event that occurred in January 2014, when torrential rains in the basins of the Guarda-Mão and Gurutuba rivers, triggered a large number of landslides, causing debris flows and taking approximately 25 lives in the municipality. Thus, it is believed to be possible to analyze the characteristics of different soils on nearby slopes that were equally affected by the rains, but registered an unequal number of landslides.

Keywords: Pedology; Soils; Susceptibility; Landslides.

Introdução

Os registros de desastres naturais no Brasil estão quase sempre relacionados a ocorrência de processos geológicos de movimentos gravitacionais de massa ou hidrológicos, como inundações, corridas de detritos e enxurradas. Dentre eles, os deslizamentos se destacam por ser em número inferior aos processos hidrológicos em ocorrência, mas são os que geram o maior número de vítimas fatais (CRED, 2019).

Os movimentos gravitacionais de massa ocorrem de forma natural ou potencializados por fatores antrópicos. Oliveira (1998) afirma que os deslizamentos são caracterizados por movimentos rápidos e bruscos, onde o principal agente deflagrador do processo é a ação da água, muitas vezes associado a desmatamentos, erosão e variação de temperatura. Para Highland e Borbrowsky (2008), outros fatores como a declividade, as atividades vulcânicas, os abalos sísmicos e as águas de degelo também são preponderantes para a ocorrência dos deslizamentos registrados no mundo.

No Brasil a ocorrência desses processos também está intimamente ligada a ação das águas. Suas dimensões continentais e seu clima tropical, propiciou ao longo dos anos o registro de inúmeros eventos bastante destrutivos. Segundo Wolle e Carvalho (1989), escorregamentos rasos do tipo planar são os mais comuns no Brasil e representam um dos fenômenos naturais que mais produzem danos e vítimas no país, tendo a Serra do Mar, como um dos principais compartimentos geomorfológicos de ocorrência.

Durante os anos de 2008 e 2014 o Brasil presenciou a ocorrência destes eventos com uma frequência superior a normalidade. Nesse período, os movimentos gravitacionais de massa foram o ator principal na caracterização desses desastres naturais. Para Tominaga et al., (2009), os desastres naturais são eventos geradores de grande número de atingidos e vítimas fatais, além dos prejuízos financeiros.

Merece destaque o desastre ocorrido no ano de 2014, quando a zona rural do município de Itaóca, sul do Estado de São Paulo, foi fortemente atingida por chuvas que ocasionaram a morte de dezenas de pessoas, além de centenas de desabrigados e grandes prejuízos financeiros ao município. Neste evento, a ocorrência de um grande número de deslizamentos planares levaram a eventos ainda mais destrutivos, denominados aqui como corridas de detritos.

Para Caputo (1987), os deslizamentos (Landslide) são deslocamentos rápidos de uma

massa de solo ou de rocha que, rompendo-se do maciço, deslizam verticalmente e horizontalmente, ao longo de uma superfície de deslizamento. Nesta conjuntura, a ocorrência dos deslizamentos está subordinada a uma série de fatores que determinam a suscetibilidade de uma área à ocorrência destes eventos. Dentre estes fatores, a caracterização do solo e as condições geomorfológicas são preponderantes para determinar o grau de suscetibilidade de uma encosta a deslizamentos (Bitar et al., 2014). Porém, estudos que versem sobre a relação conjunta entre a pedologia, a geomorfologia e os movimentos gravitacionais são incipientes, tanto no Brasil, como na literatura internacional. No Brasil, a escassez de mapas de solos em escalas trabalháveis ajuda a explicar, ao menos em parte, tal situação.

No Brasil, apesar de importantes trabalhos, como os produzidos por Fonseca et al. (2005 e 2017), Cardoso Junior (2006) Lacerda (2007), Coutinho (2019), dentre outros, a temática ainda carece de mais estudos. Em um país de dimensões continentais, com características particulares de clima, solo, geologia e demais fatores, faltam estudos pedológicos e geotécnicos, que possam embasar trabalhos que visem antever a ocorrência de movimentos de massa. Essa condição, muitas vezes, atrelada a falta de informação básica, dificulta a obtenção de dados confiáveis e sólidos para a elaboração de produtos assertivos na prevenção de desastres naturais.

Em apoio ao avanço da pesquisa nesta área, estudos de casos se tornaram abundantes, como os realizados no município de Itaóca (SP), a saber: Gramani e Arduim, 2015, Gramani e Martins, 2016, Brollo et al., 2015, Carou, 2019, Bonini et al., 2020 e Coelho, 2020, são alguns exemplos.

Apesar dos estudos relacionando às propriedades físicas dos solos e a dinâmica hidrológica dos solos na ocorrência de escorregamentos e os esforços despendidos para a compreensão de casos como o ocorrido no município de Itaóca, a avaliação pedológica atrelada a condicionantes geotécnicos torna-se interessante na busca pelo entendimento dos processos deflagratórios do evento.

Na região da Serra do Mar, algumas propriedades dos solos são relacionadas à ocorrência de escorregamentos rasos (Furian et al., 1999; Furian et al., 2002; Colângelo, 2012; Mendes et al., 2008), não ficando apenas a cargo de condicionantes geomorfológicos, como a declividade. Para Sidle et al., (1985), propriedades físicas dos solos podem exercer influência direta na dinâmica hidrológica do perfil de alteração.

Para Highland; Bobrowsky (2008), os movimentos de massa formam rupturas complexas e que incluem mais de uma tipologia, como deslizamentos e quedas, por exemplo.

Bloom (1988) entende que as encostas mudam constantemente, tendendo ao equilíbrio. Já Gerscovich (2012), entende que a instabilidade de uma encosta é consequência da própria dinâmica de evolução das encostas. Essa dinâmica está intimamente ligada a formação das vertentes, que em ambientes montanhosos são produtos de processos construtivos e destrutivos. Segundo Janke e Price (2013), os terrenos montanhosos foram criados por forças terrestres internas e eventualmente são modificadas e destruídas por forças externas, ao longo do tempo geológico.

Os mecanismos básicos de ruptura (queda, deslizamento, fluxo de detritos, etc), combinados com os fatores constituintes da área, como litologia, estrutural, clima, vegetação, topografia e uso e ocupação do solo, produzem uma diversidade nos tipos de movimentos de massa (Lee e Jones, 2004).

No Brasil a ocupação desordenada das cidades, através da construção em terrenos impróprios à ocupação faz com que os movimentos de massa estejam entre os mais letais no país.

Segundo Macedo et al. (2022), entre 1988 e 2022, 4146 pessoas foram vitimadas por movimentos gravitacionais de massa no Brasil, sendo o deslizamento planar a principal tipologia.

Dito isso, o trabalho tem por objetivo estabelecer possíveis correlações pedológicas e geotécnicas com os deslizamentos ocorridos em janeiro de 2014 e estabelecer diferenças entre estes solos, indicando possíveis fatores que geraram ou potencializaram a suscetibilidade do solo a esses processos.

Material e métodos

Área de estudo

O município de Itaóca está localizado na porção sul do Estado de São Paulo, na divisa com o Estado do Paraná (Figura 1). Faz limite ao norte com o município de Apiaí e ao sul com o Estado do Paraná, com predomínio de relevo serrano. Está inserido na bacia hidrográfica do Rio Ribeira de Iguape, com seu afluente (Rio Palmital) cortando a área urbana de Itaóca. Na bacia do Rio Palmital se destacam os rios Guarda-Mão e Gurutuba, que tem suas nascentes nas porções altas do município, junto ao limite norte, com Apiaí.

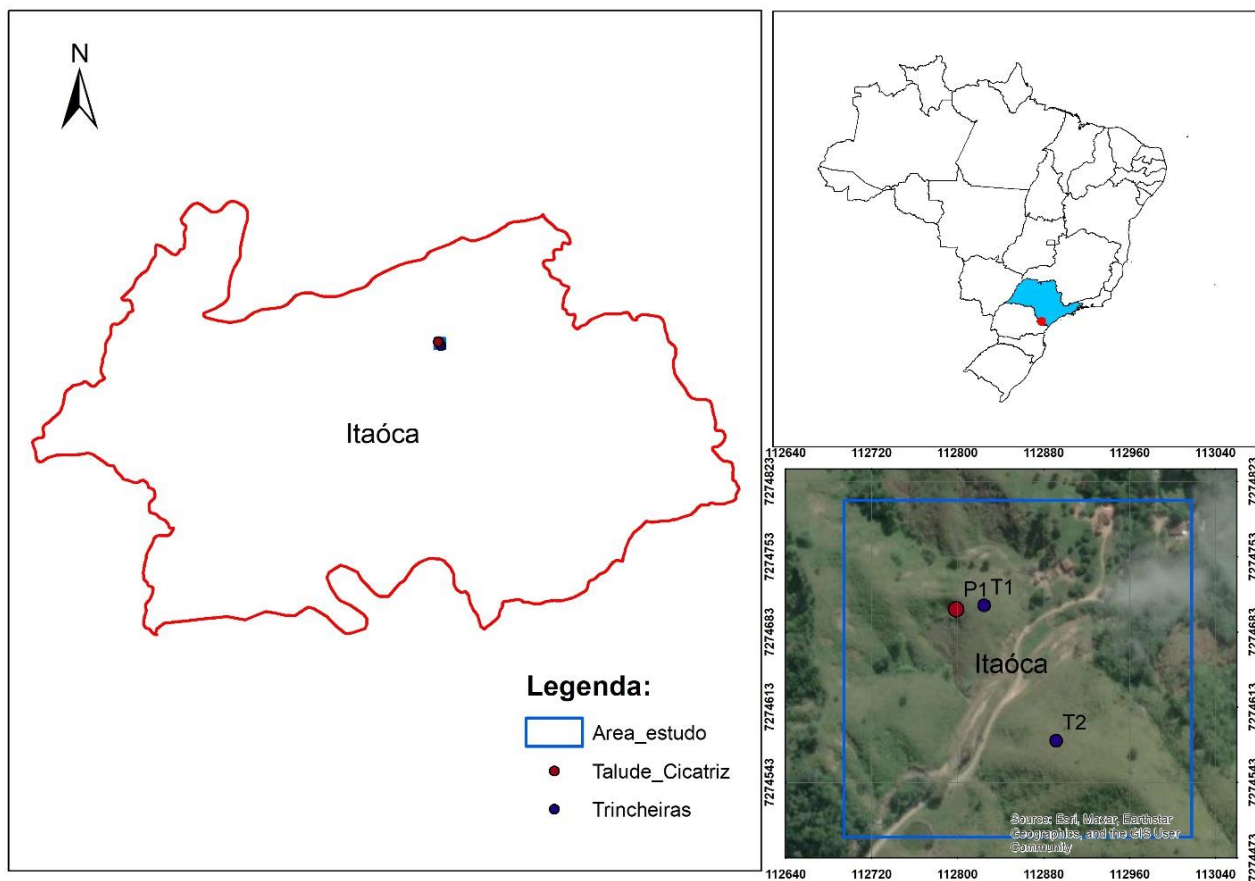


Figura 1 – Mapa de localização de Itaóca e da área de estudo.

Itaóca está inserida no contexto geológico regional do Cinturão Ribeira, composto pelo embasamento alóctone, granitoides intrusivos, rochas vulcanossedimentares, principalmente (Faleiros et al., 2012). Para Campanha e Sadowski (2002), a região do Vale do Ribeira se divide nos seguintes blocos: Andorinhas, Apiaí, Ribeira e por fim, Lajeado, onde está inserido os granitos Vargem Grande e Itaóca, estando a área de estudo totalmente inserida neste último.

O Granito Itaóca, segundo Campanha e Sadowski (2002), são rochas pouco deformadas, com exceção daquelas que se encontram próximas às zonas de cisalhamento. Para Mello (1995) e Salazar et al., (2008), o Granito Itaóca possui forma elipsoidal e área que supera os 200 km². Nessa conjuntura, o plúton Itaóca intrude uma sequência metamórfica de rochas de caráter oceânico do Subgrupo Lajeado. Possui composição cálcio alcalina, e idade aproximada de 623 milhões de anos, com sua gênese diretamente associada a evolução neoproterozóica da Província Mantiqueira Central.

Do aspecto pedológico, o mapeamento de Rossi (2017), indica o predomínio da subordem Argissolos Vermelho-Amarelos para o Maciço Itaóca.

Quanto ao clima, o município está classificado como clima subtropical úmido (Cfa), segundo a classificação Koppen-Geiger. Apresentando precipitação média anual de 115,6 mm, sendo o mês de janeiro o mais chuvoso, com média de 219,8 mm, segundo a série histórica 1970 – 2000 (DAEE, 2020).

Para a definição da área a ser trabalhada foram executadas análises de campo, da carta de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações de Itaóca (SGB-CPRM, 2019), além de análises de curvatura (Figura 2) e declividades dos terrenos (Figura 3). Essa avaliação teve o intuito de se obter uma área onde a suscetibilidade à ocorrência de deslizamentos e a declividade fossem homogêneas, mas a ocorrência de cicatrizes de deslizamentos tivesse sido desigual.

O estudo buscou estabelecer a encosta que melhor caracterizasse os eventos ocorridos em 2014, buscando declividades semelhantes (Figura 3), com uma variação na ocorrência de escorregamentos heterogênea. Assim, foram realizadas 2 trincheiras (T1 e T2) para caracterização táctil-visual e coleta de amostras, além da análise de um talude de uma cicatriz de deslizamento pretérito (P1) na bacia do Rio

Gurutuba. A localização destas investigações é apresentada nas figuras 1, 2 e 3.

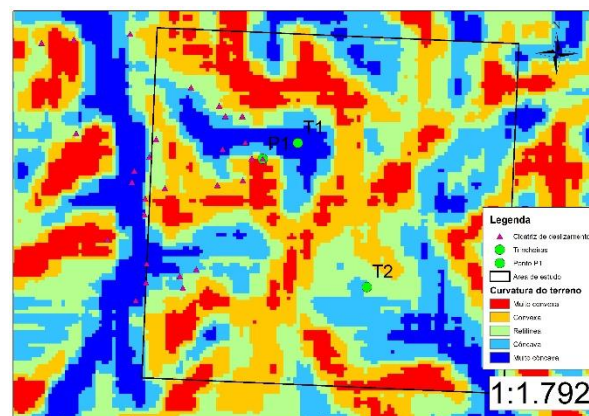


Figura 2 – Curvatura do terreno na área de estudo.

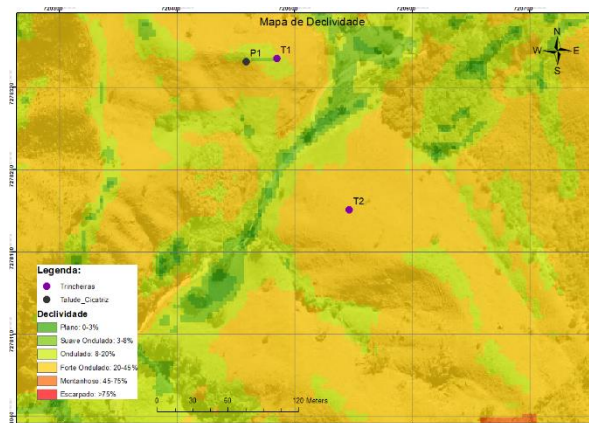


Figura 3 – Declividade do terreno na área de estudo.

Desta forma, o estudo aqui proposto se baseou em estabelecer ao menos dois locais onde o padrão de cicatrizes de deslizamentos fosse heterogêneo, mas estando localizados próximos, onde seria possível afirmar que a chuva os teria afetado na mesma proporção, naquele janeiro de 2014, porém apresentando consequências diferentes.

Metodologia

Para a análise dos horizontes de solos até o impenetrável ao enxadão foram executadas duas trincheiras, conforme indicado na Figura 1 e conforme ABNT NBR 9604 (2016). A trincheira T1, assim como o ponto de análise da cicatriz de deslizamento (P1) estão localizados numa encosta que sofreu fortemente com o evento chuvoso de janeiro de 2014 (Figura 4). Nessa vertente há ainda nos dias atuais vestígios de muitos deslizamentos ali ocorridos. Por outro lado, a trincheira T2 está localizado numa vertente ao lado e que foi atingida

pele mesmo volume de chuva e não há indícios de cicatrizes ocorridas naquele verão de 2014. Tal afirmação, com relação a ocorrência das chuvas,

pode ser feita devido à proximidade das vertentes analisadas e por relatos obtidos de moradores da região.



Figura 4 – Vertentes indicando a localização dos pontos de estudos.

Na encosta localizada na porção noroeste da área de estudo foi verificada a ocorrência de um grande número de cicatrizes de deslizamentos provenientes do evento ocorrido em janeiro de 2014 (Figura 4). Nessa encosta foram escolhidos dois pontos para avaliação, sendo um deles numa porção que não colapsou e o segundo foi uma cicatriz de deslizamento.

A abertura das trincheiras e a análise da cicatriz de deslizamento P1 ocorreu no mês de março, em dia ensolarado. Nessas condições foi possível a coleta de amostras deformadas para posterior análise granulométrica e determinação dos limites de consistência (limites de Atterberg), conforme ABNT NBR 7181 (2016) e ABNT 6459 e 7180 (2016), respectivamente. Também foi determinada a densidade dos grãos, seguindo a DNER - ME 093/94, 1994.

Para a densidade dos grãos utilizou-se da norma do DNER, através do aquecimento dos picnômetros, permitindo assim, a retirada do ar das amostras e obtendo a densidade real dos grãos.

Todos os horizontes observados nos pontos analisados tiveram amostras deformadas coletadas e os ensaios de granulometria foram realizados conforme as normas da ABNT, com utilização de defloculante e, também, foram executados os ensaios com a metodologia da ABNT modificada, sem a utilização de defloculante. Apenas os horizontes “A” não tiveram os ensaios de granulometria realizados por ser considerado o horizonte menos influente nos processos de deflagração de deslizamentos. Para estes horizontes utilizou-se dados referentes a granulometria a laser, realizada no laboratório

Unithal (Laboratório Agrônomo), em Campinas (SP). Neste mesmo laboratório foram executados ensaios químicos, denominados aqui simplesmente como “química de rotina”.

Resultados e discussão

O presente estudo dedicou-se a caracterizar os perfis de solos nos pontos selecionados. A análise tátil-visual atrelada aos resultados obtidos com a granulometria, permitiram classificar pedologicamente os solos e relacioná-los a ocorrência de deslizamentos registrados na área.

A seguir são apresentados os resultados obtidos para os três pontos de amostragem e análise morfológica durante a etapa de campo, que permitiu classificar todos os horizontes de solos encontrados.

Ponto P1

Na análise da vertente que mais sofreu com os deslizamentos em 2014, foi escolhido uma das cicatrizes ainda visíveis para caracterização. A análise tátil-visual deste solo foi realizada em campo e é apresentada a seguir na Tabela 1 e na Figura 5.

O ponto P1 apresentou-se com material fino (argila e silte) e bastante arenoso, inclusive com presença de cascalho. Isso confere a este solo uma condição de baixa coesão, dificultando, inclusive, a coleta de amostra indeformadas para eventuais ensaios que necessitem desse tipo de amostra. O perfil de solo atingiu 122 cm até a rocha (R), não tendo sido encontrado o horizonte B, ou

seja, abaixo do horizonte A já se deu os horizontes C e Cr, conforme indicado na Figura 5. Essa

condição caracteriza este solo como um Neossolo Litólico (Santos et al., 2018).

Tabela 1 - Características morfológicas da Cicatriz P1

Horizonte	Cor	Textura	Estrutura	Consistência	Plasticidade	Pegajosidade	Transição
A	10YR 2/1	Areno-argiloso	Granular pequeno a muito pequeno, forte.	Muito friável	Ligeiramente plástico	Ligeiramente pegajoso	Ondulado e abrupto
C	10YR 3/1 e minerais se alterando: 10YR 7/8	Areno-argiloso	-	Muito friável	Ligeiramente plástico	Ligeiramente pegajoso	Contato ondulado com CR2 e irregular com CR1 e abrupto
Cr1	Cor variegada: 10YR 8/8, 10YR 2/1 e 10YR 5/8	Cascalho	-	Friável	Não plástico	Não pegajoso	Irregular e abrupto
Cr2	Cor variegada: 10YR 3/1, 10YR 5/8 e 5YR 6/6	Cascalho	-	Friável	Não plástico	Não pegajoso	Irregular e abrupto

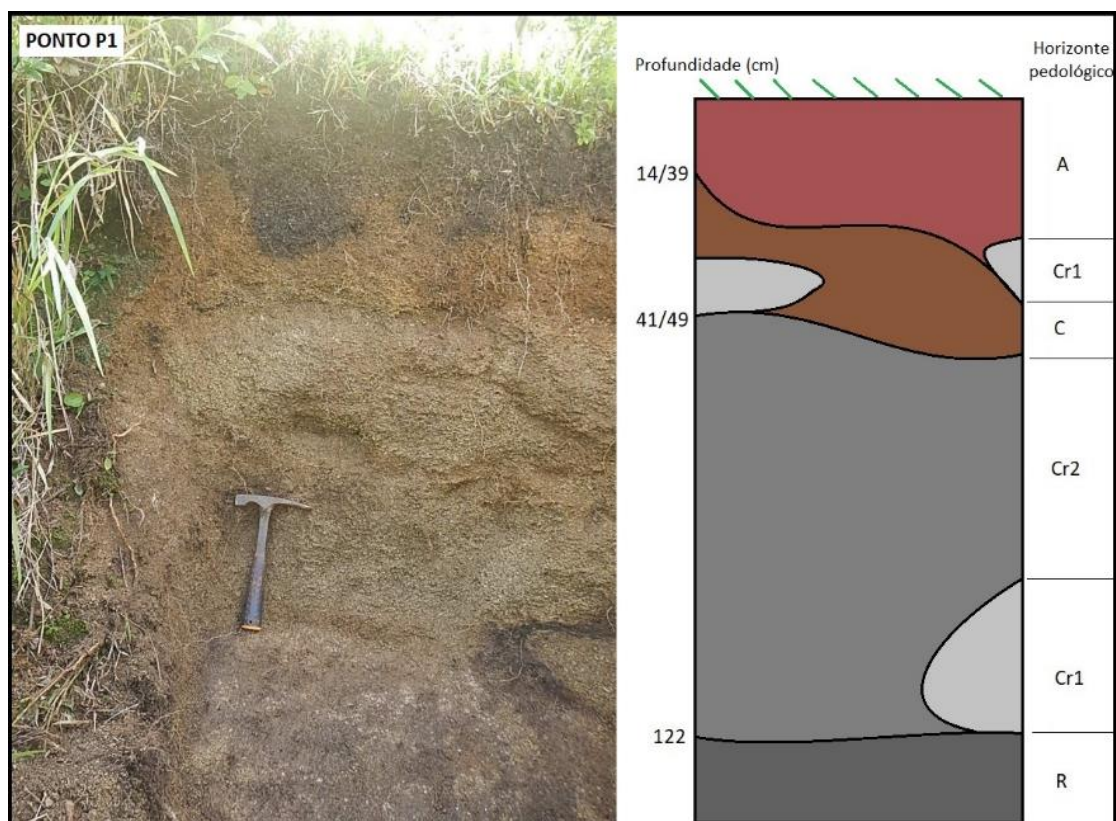


Figura 5 – Perfil de solo da cicatriz de deslizamento no ponto P1.

Trincheira T1

Ainda na vertente mais afetada pelos deslizamentos foi cavada uma trincheira num local bastante próximo ao Ponto P1, mas que não sofreu com movimentação de solo recentemente. Nesta trincheira foi verificado um perfil de solo bastante distinto daquele encontrado em P1, conforme indicado na Tabela 2 e na Figura 6.

Esse ponto de análise apresenta diferenças na morfologia do terreno consideráveis quando comparadas ao local da cicatriz de deslizamento. Neste local a curvatura do terreno apresenta uma condição de curvatura divergente e convexa, enquanto o ponto P1 possui uma condição convergente e côncava.

A escavação da trincheira atingiu uma profundidade de 90 cm, com o impenetrável ao enxadão nesse ponto. Foi possível distinguir cinco horizontes, conforme a Tabela 2. A sequência dos horizontes encontradas em T1 difere bastante de

P1, ao passo que se fez presente o horizonte Bi, conferindo a este solo a classificação de Cambissolo, segundo Santos et al., 2018.

Segundo o Projeto RadamBrasil (1983) os cambissolos são classes de solos minerais com horizonte B câmbico ou incipientes, não hidromórficos, apresentando pouca diferenciação de textura entre os horizontes, o que é mostrado na Tabela 2, onde há pequena variação entre solos argilo-arenosos para silto-arenosos. Ainda segundo os autores, estes solos possuem certo grau de evolução, mas não conseguem meteorizar completamente os minerais primários, como as micas e os feldspatos, além de possuírem características que não possibilitem a taxonomização de horizontes Bt ou Bw e assim, são geralmente enquadrados como horizontes Bi. Na Figura 6 é possível identificar a variação desses horizontes, apesar da pequena variação de cor, onde se difere os horizontes A, Bi e C.

Tabela 2 - Características morfológicas da Trincheira T1.

Horizonte	Cor	Textura	Estrutura	Consistência	Plasticidade	Pegajosidade	Transição
A	10YR 3/1	Argilo-arenoso	Granular, muito pequena a pequena, forte.	Muito friável	Plástico	Pegajoso	Plano e gradual
Bi1	10YR 5/4	Argilo-arenoso	Prismática, médio, fraca.	Friável	Plástico	Pegajoso	Irregular e claro
Bi2	7,5YR 5/6	Argilo-arenoso	Blocos subangulares, médio, fraca.	Muito friável	Plástico	Ligeiramente pegajoso	Plano e abrupto
C1	Cor variegada: 10YR 8/8, 10YR 5/8, 2,5YR 6/8 e Branco	Silto-arenoso	-	Muito friável	Ligeiramente e plástico	Ligeiramente pegajoso	Ondulado e abrupto
C2	Branco, 10YR 7/8, 2,5YR 4/8 e Preto	Silto-arenoso	-	Friável	Ligeiramente e plástico	Ligeiramente pegajoso	-

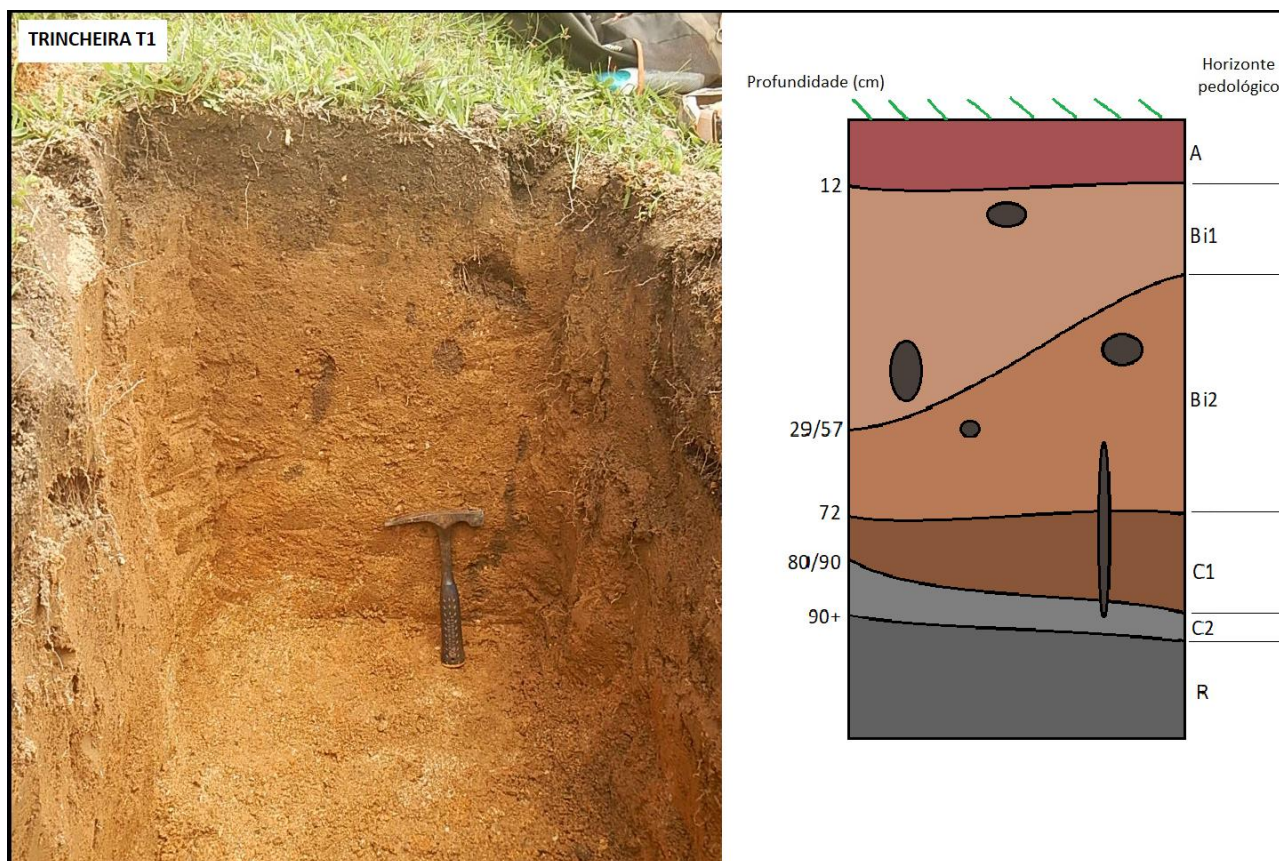


Figura 6 – Perfil de solo da trincheira T1.

Trincheira T2

Na vertente localizada no lado oposto e que não apresenta vestígios de cicatrizes de deslizamentos pretéritos, foi programada e executada uma trincheira (T2) numa condição de curvatura de terreno semelhante à da trincheira T1, ou seja, curvatura divergente e convexa. Apesar de ambas as vertentes possuírem declividades semelhantes, a curvatura de porções das vertentes apresenta heterogeneidades que poderão vir a indicar fatores preponderantes na formação dos solos e na suscetibilidade à ocorrência de deslizamentos.

Na tabela 3 são apresentadas as características aferidas em campo para a trincheira T3 e o croquis do perfil de solo é mostrado na Figura 7.

Na T2 a escavação da trincheira se deu até 114 cm, atingindo o impenetrável ao enxadão e configurando um perfil de solo semelhante entre os três pontos selecionados. Essa característica de solos rasos é coincidente com as áreas mais íngremes da Serra do Mar. Segundo Wolle & Carvalho (1989) as áreas de alta e média encosta do domínio da Serra do mar são as mais suscetíveis a movimentos gravitacionais de massa e, segundo os autores, as espessuras de solo são bastante

reduzidas, apresentando “horizontes superficiais” (A e B) de espessura média próxima a um metro, sendo seguida de “horizontes saprolíticos” (C), saprólito e finalmente a rocha alterada e fraturada. Essa descrição é coerente com o verificado neste trabalho, onde os perfis de solos apresentaram profundidades médias de não muito superiores a 1 metro.

Assim como na trincheira T1, na T2 também foi verificada a presença do horizonte Bi, seguido do horizonte C, caracterizando este solo como um Cambissolo (Santos et al., 2018). Porém, na descrição tátil visual já foi possível aferir diferenças entre este ponto e o da T1. O horizonte A se mostrou bem mais espesso, inclusive apresentando um horizonte de transição não muito bem definido, que foi classificado como A/Bi e Bi/A.

A textura se mostrou mais arenosa para todos os horizontes, com predomínio de textura areno-argilosa. Essa condição mais arenosa impactou numa menor pegajosidade e também numa tendência a ser menos plástico, o que pode conferir a este solo uma menor coesão e consequentemente, menor resistência a processos erosivos.

Tabela 3 - Características morfológicas da Trincheira T2.

Horizonte	Cor	Textura	Estrutura	Consistência	Plasticidade	Pegajosidade	Transição
A	7,5YR 2,5/1	Areno-argiloso	Granular, pequena a muito pequena e média a forte.	Muito friável	Ligeiramente plástico	Ligeiramente pegajoso	Gradual e plano
A/Bi	10YR 4/4	Areno-argiloso	Granular.	Muito friável	Ligeiramente plástico	Ligeiramente pegajoso	Irregular e gradual
Bi/A	7,5YR 7/6	Areno-argiloso	Prismática, fraca e média.	Friável	Ligeiramente plástico	Ligeiramente pegajoso	Claro e plano
Bi	7,5YT 5/6	Areno-argiloso	Prismática, médio e fraca.	Friável	Plástico	Pegajoso	Claro e plano
C	Cores associadas a alteração de minerais primários: 10YR 7/8 e 2,5YR 4/6	Silto-arenoso	-	Friável	Ligeiramente plástico	Ligeiramente pegajoso	-

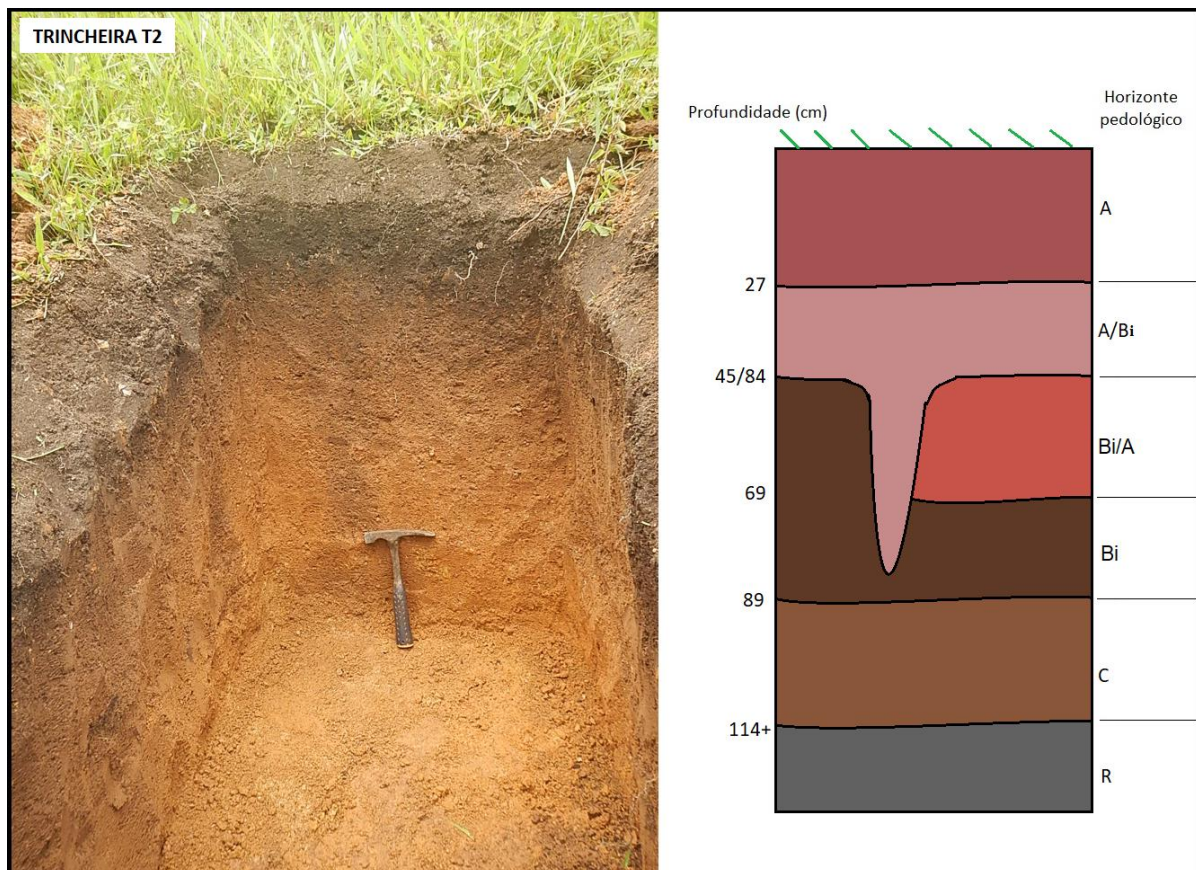


Figura 7 – Perfil de solo da trincheira T2.

Química de Rotina

Este estudo buscou avaliar as características químicas dos solos em análise. Desta forma foi realizada análise química das amostras deformadas e essa análise é apresentada na Tabela 4. Chama a atenção os baixos valores de CTC (capacidade de troca catiônica) encontrados. O maior valor obtido foi o da amostra T1-C1 (20,32 cmol_c/kg), considerado baixo. Esta informação faz sentido quando se analisa a granulometria arenosa das amostras, pois os solos mais argilosos possuem a CTC maior que solos arenosos, pois areia não apresenta carga.

Essa relação da CTC com a ocorrência de argilas no solo pode também ser estendida para o entendimento da possibilidade de ocorrência de argilominerais expansivos. Estudos realizados por Christofolletti et al. (1999) em argilas da Formação Corumbataí indicaram três grupos de acordo com a

ocorrência de CTC. O primeiro desses grupos seriam os valores inferiores a 14 cmol_c/kg, indicando baixos teores de montmorilonita e quantidades médias de illita (caulinita contribui pouco nos valores do CTC); os valores de CTC entre 14 e 21 cmol_c/kg representaria o segundo grupo, apresentando maiores quantidades de montmorilonita e somente o grupo acima de 21 cmol_c/kg indicariam maiores teores de montmorilonita e quantidades razoáveis de illita, podendo esses serem considerados solos mais expansivos.

Nestas condições não foi verificado nenhum horizonte com valores de CTC considerado preocupante com relação a ocorrência de argilominerais expansivos. Com base em Christofolletti et al. (1999), apenas os horizontes C1 e C2 da T1 teria uma quantidade mais considerável de argila expansiva. Essa condição é coerente com a alta atividade da argila (T) nesses horizontes.

Tabela 4 - Química de rotina realizada em amostras deformadas.

	pH H ₂ O	H+A	Al	Ca	M	K	Na	P	P	C	SB	CTC	V	m	R C	T
		l	cmol _c /kg						(Mel)	(Res)	%	cmol _c /kg		%	%	cmol /100 g argila
P1-A	5,3	2,2	0,7	1,6	0,9	0,02	1,51	9,0	12,0	3,2	4,03	6,23	64,69	14,80	21,50	28,32
P1-C	5,6	3,8	0,1	4,6	1,7	0,08	1,37	10,0	14,0	0,7	7,75	11,55	67,10	1,27	39,25	57,75
P1-Cr1	5,5	1,8	0,3	2,3	0,7	0,04	2,25	78,0	98,0	0,6	5,29	7,09	74,61	5,37	50,82	64,45
P1-Cr2	5,5	1,3	0,3	2,1	1,1	0,06	2,57	80,0	108	0,2	5,83	7,13	81,77	4,89	153,25	178,3
T1-A	5,4	3,8	0,1	4,7	1,3	0,06	1,27	11,0	13,0	2,5	7,33	11,13	65,86	1,35	43,71	65,47
T1-Bi1	5,6	2,4	0,3	3,6	0,8	0,02	1,27	3,0	5,0	0,8	5,69	8,09	70,33	5,01	29,95	40,45
T1-Bi2	4,8	6,4	4,4	3,3	1,3	0,03	2,16	3,0	4,0	0,4	6,79	13,19	51,48	39,32	53,29	62,81
T1-C1	4,6	13,5	6,3	0,9	1,8	0,02	4,10	3,0	5,0	0,3	6,82	20,32	33,56	48,02	65,60	101,6
T1-C2	4,6	8,8	4,5	0,9	1,6	0,03	3,91	3,0	3,0	0,2	6,44	15,24	42,26	41,13	72,93	101,6
T2-A	5,3	4,2	0,0	5,4	0,6	0,03	1,33	3,0	3,0	2,5	7,36	11,56	63,67	0,00	61,33	96,33
T2-A/Bi	5,7	1,8	0,0	2,8	0,5	0,02	1,47	4,0	3,0	0,7	4,79	6,59	72,69	0,00	47,90	65,90
T2-Bi/A	5,6	1,6	0,0	2,3	0,7	0,02	1,59	11,0	15,0	0,2	4,61	6,21	74,24	0,00	41,91	56,45
T2-Bi	5,3	2,0	0,5	3,7	1,4	0,03	2,36	16,0	20,0	0,2	7,49	9,49	78,93	6,26	53,27	63,27
T2-C	5,2	2,8	1,0	4,5	2,4	0,04	3,42	15,0	21,0	0,2	10,7	13,16	78,72	8,80	71,00	82,25

Segundo a Embrapa (1999), que estabelece atributos diagnósticos aos solos tropicais, a concentração de sódio no solo é um desses atributos. Podendo assim, caracterizar o solo como solódico quando horizontes ou camadas apresentam saturação por sódio (100Na+/T)

variando de 6% a menos do que 15% e sódico quando for superior a 15%. Baseado nesta classificação, todos os horizontes amostrados apresentam caráter sódico, com valores bastante elevados, conforme mostrado na Tabela 5.

Esse caráter ganha importância devido a relação existente entre a quantidade de sódio no solo e a condutividade hidráulica. Quirk e Schofield (1955), pela primeira vez, explicam o mecanismo de diminuição da permeabilidade do solo pela adição de sódio. Eles sugeriram que a

expansão das partículas de argila (que aumentam com o aumento da sodicidade do solo) resulta num bloqueio parcial ou total dos poros condutores. Eles também citam que outros fatores, como a defloculação, dispersão e movimento da argila podem causar o entupimento dos poros condutores.

Tabela 5 - Concentração de sódio nos horizontes amostrados e PST.

Horizonte	100Na ⁺ /T (%)	PST (%)
P1-A	53,32	24,24
P1-C	23,72	11,86
P1-Cr1	34,91	31,73
P1-Cr2	14,42	36,04
T1-A	19,40	11,41
T1-Bi1	31,40	15,70
T1-Bi2	34,39	16,38
T1-C1	40,35	20,18
T1-C2	38,48	25,66
T2-A	13,81	11,51
T2-A/Bi	22,31	22,31
T2-Bi/A	28,17	25,60
T2-Bi	37,30	24,87
T2-C	41,58	25,99

A permeabilidade de um horizonte de solo depende da porcentagem de sódio trocável (PST), equação 4, e da relação de adsorção de sódio (RAS), segundo Mcneal e Coleman (1966). Com o intuito de descrever a relação entre composição de sódio no solo e a condutividade hidráulica, Quirk et al. (1955) desenvolveram o conceito de “limite crítico de concentração”, onde o valor de PST provoca uma redução de 10 a 15% na permeabilidade do solo. Assim, um valor de PST de 15% pode ser considerado como limite, pois acima deste valor o solo pode ser afetado em suas características físicas, segundo McIntire (1979).

Desta forma, os resultados obtidos indicam uma forte influência da concentração de sódio, pois quase todos os horizontes apresentam PSTs acima de 15%, podendo estar interferindo na diminuição da permeabilidade destes solos.

$$\text{PST} = \text{NA}^+(\text{adsorvido})/\text{CTC} \times 100$$

Equação 1

Ainda com relação a química dos solos é possível notar a maior concentração de C nos horizontes “A”, indicando a esperada maior concentração de matéria orgânica nesses horizontes.

Granulometria

Essa dupla análise permite avaliar o comportamento destes solos quanto a formação de grumos, pois segundo Cozzolino e Nogami (1993) e Fookes (1997), a atuação do intemperismo físico e principalmente químico, através da lixiviação de partículas, dá origem a solos com estruturas mais estáveis e porosidade mais elevada, formando agregados. A argila quando agregada acaba por assumir o comportamento hidrológico de partículas de silte e até mesmo de areia fina (Leal, 2009). Daí a importância em verificar o comportamento destes solos com e sem a utilização de defloculante.

A análise granulométrica (Tabela 4) é um dos indicativos para aferir a classificação pedológica e indica se tratar de um Neossolo (Santos et al., 2018) no Ponto P1.

Através da granulometria e da química de rotina tornou possível melhor interpretar a morfologia dos solos verificados em campo. Ou seja, com estes resultados, algumas aferições de campo puderam ser melhor qualificadas, como a classificação dos solos, pois em campo, a trincheira T2 apresentava um solo com horizonte B que gerava suspeitas de se tratar de um B textural, o que o classificaria como um Argissolo. Porém, esta possibilidade não se confirmou após os resultados apresentados na Tabela 4, reclassificando o solo da T2 como um Cambissolo, segundo SiBCS (Santos et al., 2018). Esse Cambissolo apresenta o

horizonte Bi, conforme indicado na Figura 7, e semelhante ao, também, Cambissolo da T1.

Mesmo se tratando de Cambissolos em ambas as trincheiras (T1 e T2), a análise do solo da trincheira T2 indica diferenças substanciais com relação ao solo da trincheira T1. Essa condição fica mais bem evidenciada quando se avalia as quantidades de argilas indicadas na Tabela 4, onde

o horizonte Bi da trincheira T1 tem um incremento de argila do horizonte A para Bi indo de 17% para 20%, enquanto na T2, esse incremento é maior, indo de 10% no horizonte de transição A/Bi para 15% no horizonte Bi, ou seja, um aumento de 50%, bem superior ao aumento da verificado na trincheira T1. Essa condição coloca diferenças entre esses Cambissolos das trincheiras T1 e T2.

Tabela 4 - Resultados dos ensaios de granulometria com defloculante (CD) e sem defloculante (SD).

Ponto P1							
%	*P1-A	P1-C		P1-Cr2			
		CD	SD	CD	SD		
Cascalho	0	21,3	22,0	45,1	43,8		
A. Grossa	49,4	24,8	25,2	23,7	23,5		
A. Média		19,8	20,1	17,7	17,9		
A. Fina	13,4	13,0	22,6	3,7	4,9		
Silte	15,2	8,9	10,1	9,8	9,9		
Argila	22,0	12,2	0	0	0		
Trincheira T1							
%	*T1-A	T1-Bi1		T1-Bi2		T1-C1	
		CD	SD	CD	SD	CD	SD
Cascalho	0	11,7	12,2	14,5	13,6	14,6	12,3
A. Grossa	44,5	27,9	25,3	21,2	23,5	24,2	25,6
A. Média		17,2	18,7	16,2	16,6	18,6	19,2
A. Fina	13,8	2,9	17,4	3,3	14,7	3,9	18,6
Silte	24,7	26,6	25,3	33,8	31,6	28,9	24,3
Argila	17,0	13,7	1,1	11	0	9,8	0
Trincheira T2							
%	*T2-A	T2-A/Bi		T2-Bi		T2-C	
		CD	SD	CD	SD	CD	SD
Cascalho	0	20,5	18,7	15,5	13,2	13,3	14,6
A. Grossa	56,7	25,7	26,9	26,9	28,4	27,6	26,8
A. Média		17,5	19,5	15,8	16,3	21,3	22,6
A. Fina	13,6	7,4	16,3	3,6	17,4	6,3	17,5
Silte	17,7	21,5	18,6	27,7	24,7	21,3	18,5
Argila	12,0	7,4	0	10,5	0	10,2	0

* Método de granulometria a laser

A granulometria quando analisada comparativamente indica uma grande variabilidade do perfil de alteração, revelando um intemperismo não uniforme, mesmo quando analisados pontos geograficamente localizados muito próximos,

como é o caso aqui estudado. Assim, os solos provavelmente responderão de maneira heterogênea com relação a percolação e infiltração de água em períodos chuvosos.

Tabela 5 - Resultados dos índices físicos dos solos amostrados

Horizonte	w (%)	γ_s (g/cm ³)
P1-A	23,13	2,51
P1-C	14,27	2,56
P1-Cr1	5,52	2,58
P1-Cr2	1,06	2,68
T1-A	20,63	2,52
T1-Bi1	17,62	2,59
T1-Bi2	17,54	2,60
T1-C1	18,73	2,69
T1-C2	14,99	2,72
T2-A	22,45	2,53
T2-A/Bi	18,86	2,58
T2-Bi/A	14,56	2,60
T2-Bi	12,82	2,63
T2-C	12,50	2,69

Os valores de massa específica dos grãos e umidade natural (Tabela 5) estão de acordo com o esperado para esse tipo de solo. A massa específica, na sua grande maioria, variou entre 2,5 e 2,7 g/cm³, o que é coerente com a mineralogia dos granitos, onde o predomínio de quartzo é esperado, seguido

dos feldspatos. Para Das (2007), espera-se para solos arenosos oriundos da alteração do granito e quartzosos uma massa específica em torno de 2,65 g/cm³, o que é coerente com o resultado encontrado nas amostras ensaiadas.

Tabela 6 - Quadro resumo dos resultados dos ensaios de limites de consistência.

Horizonte	LP (%)	LL (%)	IP (%)
P1-A	23	43	20
P1-C	NP	NP	NP
P1-Cr1	NP	NP	NP
P1-Cr2	NP	NP	NP
T1-A	26	41	15
T1-Bi1	15	47	32
T1-Bi2	21	59	38
T1-C1	13	55	42
T1-C2	NP	NP	NP
T2-A	NP	NP	NP
T2-A/Bi	17	46	29
T2-Bi/A	16	46	30
T2-Bi	13	45	32
T2-C	NP	NP	NP

Limites de Atterberg

Os ensaios de limites de consistência foram realizados em todos os horizontes e estão dispostos na Tabela 6. Assim, a primeira constatação que se chega ao analisar os resultados expostos na Tabela 6 diz respeito ao fato dos horizontes “A” da P1 e da T1 terem apresentados valores superiores aos demais horizontes, ao passo que o horizonte A da T2 deu dado NP (não plástico). Segundo Silva e Miranda (2016), a matéria orgânica influi nos limites de liquidez e plasticidade dos solos, podendo aumentar seu índice de plasticidade. Para

Hemmat et al. (2010), os limites de Atterberg são influenciados por muitas propriedades intrínsecas do solo, mas principalmente pelo conteúdo de argila e matéria orgânica. Desta forma, a matéria orgânica deve explicar esse aumento da plasticidade nesses horizontes “A”. Essa condição não ocorreu no horizonte A da T2, provavelmente devido a maior quantidade de areia e, principalmente, a queda na quantidade de finos com relação a P1 e T1.

Outro ponto que se destaca foi a dificuldade da realização do ensaio no Ponto P1, onde, com exceção do horizonte A, todos os demais

horizontes se mostraram não plástico. Evidentemente, que ao analisar esses resultados com a granulometria (Tabela 4) fica claro que a maior quantidade de areia nessas amostras deve ter determinado esse caráter não plástico. Silva (2017) ao analisar solos do município de Itaóca também chegou a resultados parecidos ao descrever as análises geotécnicas com predominância de solos não plásticos, índice de consistência dura e composto por alta porcentagem de areia (maiores que 50%), concluindo que estes solos apresentam alta erodibilidade.

Lalitha et al. (2021), em estudos em terrenos montanhosos no sul da Índia, concluiu que horizontes de solos arenosos com baixos valores para os índices de Atterberg, sustentado por horizontes mais argilosos e com valores mais altos de LL e LP, geram condições favoráveis à ocorrência de deslizamentos. Essa situação se dá pela entrada de água no perfil de solo, ultrapassando facilmente as camadas mais arenosas e que possuem mais vazios intergranulares. Quando a saturação da água do solo da camada arenosa ultrapassa o limite crítico durante chuvas fortes, a pressão dos poros reduz a resistência ao cisalhamento e a massa do solo se torna instável.

Essa condição é levemente notada na T1, onde há um incremento, mesmo que pequeno, dos limites de consistência entre os horizontes Bi1 e Bi2, podendo indicar um aumento da suscetibilidade a deslizamentos. Na T2, os valores se mantêm parecidos entre os horizontes mais superficiais, caindo no horizonte C, onde resultou em não plástico.

Outro fator muito importante a ser considerado é a comparação entre a umidade natural (Tabela 5) e o limite de plasticidade. Nessa conjuntura, os valores de limite de plasticidade obtidos estão sempre próximos ou abaixo dos limites de plasticidade (Tabela 6), indicando uma boa drenagem e baixa retenção de água em períodos chuvosos. Essa condição apenas variou no horizonte Bi2 da T1, onde o limite de plasticidade foi levemente superior a umidade, podendo indicar um leve aumento na suscetibilidade dessa área à ocorrência de desestabilização do terreno em períodos chuvosos.

Conclusões

O presente trabalho teve como objetivo avaliar e caracterizar solos localizados na Bacia do Rio Gurutuba, no município de Itaóca, SP. Esse local foi fortemente atingido pelas chuvas de janeiro de 2014, gerando milhares de deslizamentos, que culminaram com a formação de

corridas de detritos, caracterizando um desastre natural, vide o número de mortes registrados neste evento. Porém, é visível quando se avalia o local, que as encostas se comportaram de forma diferente frente a este evento chuvoso. Vertentes de mesma inclinação registraram deslizamentos em proporções diferentes. Há encostas, inclusive, onde não são visíveis cicatrizes de deslizamentos, o que leva ao questionamento sobre quais fatores também estão atuando para a deflagração desses movimentos gravitacionais de massa. Assim, este estudo buscou caracterizar solos de diferentes porções de encostas, buscando dar luz a este questionamento.

A caracterização pedológica indicou ao menos dois tipos de solos para os locais analisados, sendo um neossolo (ponto P1) no local amostrado onde ocorreu um deslizamento e para os demais locais, cambissolos (trincheiras T1 e T2). Nessa conjuntura chama a atenção o fato de muito próximo ao neossolo haver um cambissolo e que se comportou de maneira distinta ao não colapsar. Desta forma, há fortes indicativos que a baixa pedogênese do Neossolo foi fator preponderante para a maior suscetibilidade deste solo à ocorrência de deslizamentos, mesmo estando ele em condições de declividade similar aos demais pontos avaliados.

Pesa também na maior suscetibilidade à ocorrência de processos gravitacionais de massa a curvatura do terreno, que indica para o ponto P1 uma condição que varia de convexa a muito convexa, enquanto nos pontos das trincheiras T1 e T2 essa condição tende a curvaturas côncavas.

As análises dos variados ensaios realizados somente vieram a corroborar com a classificação pedológica, indicando outros fatores, que relacionados, potencializam este Neossolo à ocorrência de colapsos. O Neossolo apresentou valores de limite de liquidez e plasticidade consideravelmente inferiores aos demais solos, o que coincide com sua granulometria e mineralogia característica de solos arenosos.

Por fim, conclui-se que a análise da suscetibilidade à ocorrência de movimentos gravitacionais de massa é dificultada por apresentar grande variação numa mesma encosta. Locais muito próximos e com declividades, litologia e uso do solo semelhantes, se comportam de maneira tão distinta frente a ocorrência de eventos chuvosos catastróficos. Essa condição parece estar ligada a uma série de outros fatores que podem não ter sido abordados por completo neste estudo, como diferenças mineralógicas da rocha fonte, características estruturais e formas e orientação da encosta.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Instituto de Geociências da UNICAMP e ao SGB-CPRM pela viabilização deste trabalho. Autores agradecem a bolsa produtividade em pesquisa CNPq (#307951/2018-9).

Referências

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas - Determinação do Limite de Liquidez. NBR 6459. 2016c.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas - Determinação do Limite de Plasticidade. NBR 7180. 2016d.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas - Análise Granulométrica. NBR 7181. 2016b.
- Bitar, O. Y., 2014. Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações: 1:25.000. São Paulo, SP: IPT.
- Bonini, J. E., Bateira, C. V. M., Dias, V. C., Martins, T. D., Vieira, B. C., 2020. Suscetibilidade a escorregamentos rasos a partir de parâmetros morfométricos e dos modelos SHALSTAB e do Valor Informativo. *Journals open edition*, 46.
- Bloom, A. I., Petri, S., Ellert, R., 1988. Superfície da Terra. São Paulo, SP: Edgard Blucher / Edusp. 184.
- Brollo, M. J., Santoro, J., Penteadó, D. R., Fernandes Ad Silva, P. C., Ribeiro, R. R., 2015. Itaóca (SP): Histórico de acidentes e desastres relacionados a perigos geológicos. 14 Simpósio de Geologia do Sudeste, Geosudeste, 6.
- Campanha, G. A. C., Sadowski, G. R., 2002. Determinação das formações finitas em rochas metassedimentares da faixa ribeira na região de Iporanga e Apiaí, SP. *Revista Brasileira de Geociências*. 32(1), p. 107-118.
- Caputo, H. P., 1987. Mecânica dos solos e suas aplicações: Mecânica das rochas – Fundações – Obras de terra. 6ª ed. Rio de Janeiro, RJ: LCT.
- Cardoso Junior, C. R., 2006. Estudo do comportamento de um solo residual de gnaiss não saturado para avaliar a influência da infiltração na estabilidade de taludes. Master's Dissertation. São Paulo, SP: Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- Carou, C. B., 2019. Mineralogia do Granito Itaóca e sua relação com a suscetibilidade a escorregamentos rasos na bacia do Rio Gurutuba. São Paulo, SP: Universidade de São Paulo. 165.
- Christofolletti, S. R., Moreno, M. M. T., Valarelli, J. V., Souza, P. E. C., 1999. A variação da capacidade de troca catiônica (CTC) em função da mineralogia das argilas. *Anais do 43º Congresso Brasileiro de Cerâmica, Florianópolis, SC. 23801 - 23806.*
- Coelho, R. D., 2020. Caracterização das propriedades físicas do solo e a instabilidade das encostas na Serra do Mar (Itaóca - SP). Master's Dissertation. São Paulo, SP: Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.
- Colangelo, A. C., 2012. Os parâmetros de resistência ao cisalhamento e a estabilidade das encostas no Planalto de Paraibuna e Serra de Caraguatatuba. São Paulo, SP: Revista do Departamento de Geografia, Volume especial 30 anos, 112-129.
- Coutinho, R. Q., Silva, M. M., Santos, A. N., Lacerda, W. A., 2019. Geotechnical Characterization and Failure Mechanism of Landslide in Granite Residual Soil. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. v. 145, 05019004.
- Cozzolino, V. M. N., Nogami, J. S., 1993. Classificação geotécnica MCT para solos tropicais. *Solos e Rochas*, v.16, n.2, 77-91.
- CRED. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters. 2019. Disponível em: <https://cred.be/sites/default/files/CRED-Disaster-ReportHuman-Cost2000-2019.pdf>
- Cruden, D.M., 1991. A Simple Definition of a Landslide. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, No. 43. 27-29.
- DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – Norma Rodoviária: Método de Ensino. Solos - Determinação da Densidade Real. DNER - ME 093/94. 1994.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. (1999). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília: Embrapa -SPI; Rio de Janeiro: Embrapa Solos.
- Faleiros, F. M., Moraes, S. M., Vicente, S. C., 2012. Geologia e recursos minerais da Folha Apiaí SG.22-X-BV. São Paulo: CPRM. Carta geológica. 1:100.000.
- Fonseca, A. P., Lacerda, W. A., Futai, M. M., Aguiar, 2005. Influência do teor de mica na resistência ao cisalhamento residual em taludes de solos saprolíticos de gnaiss. Salvador, BA: IV COBRAE – Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas. 205-212.
- Fonseca, L. A. M., Lani, J.L., Fernandes Filho, I., Santos, G.R., Ferreira, W.P.M., Santos, A.M.R.T., 2017. Variability in soil physical

- properties in landslide-prone areas. Maringá, PR: Acta Scientiarum. Agronomy. 39, 109-118.
- Fookes, P. G., 1997. Tropical residual soils. Edited by Geological Society Professional Handbooks.
- Furian, S., Barbiéro, L., Boulet, R., 1999. Organization of the soil mantle in tropical southeastern Brazil (Serra do Mar) in relation to landslides processes. *Catena*. 38, 65 – 83.
- Furian, S., Barbiéro, L., Boulet, R., Curmi, P., Grimaldi, M., Grimaldi, C., 2002. Distribution and dynamics of gibbsite and kaolinite in an oxisol of Serra do Mar, southeastern Brazil. *Geoderma*, 106, 83-100.
- Gerscovich, D. M. D., 2012. Estabilidade de Taludes. São Paulo, SP: Oficina de Textos, Universidade de São Paulo. 166.
- Gramani, M. F., Arduin, D.H., 2015. Morfologia da drenagem dos depósitos de debris flow em Itaoca, São Paulo. Bento Gonçalves, RS: 15º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental.
- Gramani, M. F., Martins, V.T.S., 2016. Debris flows occurrence by intense rains on January 13, 2014 at Itaoca city, São Paulo, Brazil. *CRC Press*, 2, 1011-1019.
- Hemmat, A., Aghilianategh, N., Rezajnejad, Y., Sadeghi, M., 2010. Long-term impacts of municipal solid waste compost, sewage sludge and farmyard manure application on organic carbon, bulk density and consistency limits of a calcareous soil in central Iran: *Soil & Tillage Research* 108. 43–50.
- Highland, L. M. Bobrowsky, P., 2008. *The Landslide Handbook, A Guide to Understanding Landslides*. Reston, Geological Survey Circular 1325, 129.
- Janke JR., Price L. W., 2013. Mountain Landforms and Geomorphic Processes. In: Price MF, Byers AC, Friend DA, Kohler T, Price LW (Eds.) *Berkeley. Mountain Geography: Physical and Human Dimensions*, University of California Press. 127-166.
- Lacerda, W. A., 2007. Landslide initiation in saprolite and colluvium in southern Brazil: Field and laboratory observations. *Geomorphology*, 87(3), 104-119.
- Lee E. M. and Jones D. K., 2004. *Background to landslide Assessment*. London, UK. Thomas Telford Ltd.
- Lalitha, M., Anil Kumar, K.S., Nair., K. M., Dharumarajan, S., Koyal, A., Shivanand, K., Kaliraj, S., Hegde., R., 2021. Evaluating pedogenesis and soil Atterberg limits for inducing landslides in the Western Ghats, Idukki District of Kerala, South India. *Natural Hazards*. 106, 487–507.
- Macedo, E. S., Sandre, L. H., 2022. Mortes por deslizamentos no Brasil: 1988 a 2022. São Paulo, SP: *Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (ABGE)*, v.12, n.1, 110-117.
- McIntyre, D. S., 1979. Exchangeable sodium, subplasticity and hydraulic conductivity of some Australian soils. *Collingwood: Australian Journal of Soil Research*, v.17, 115-120.
- Meneal, B. L., Coleman, N. T., 1966. Effect of solution composition on soil hydraulic conductivity. *Soil Science Society of America Proceedings, Madison*, v.30, 308-312.
- Mello, I. S. C., 1995. *Geologia e Aspectos Metalogenéticos do Maciço Itaoca, Vale do Ribeira, SP e PR*. Tese (Doutorado em Geociências) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia, Universidade de São Paulo, São Paulo. 167p.
- Mendes, R. M., 2008. Estudo das propriedades geotécnicas de solos residuais não saturados de Ubatuba. São Paulo, SP: Tese de doutorado da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica, USP.
- Oliveira, L. M., 1998. *Minerais do Paraná S.A. Guia de prevenção de acidentes geológicos urbanos*. Curitiba, PR: MINEROPAR. Organização Pan-Americana da Saúde. *Desastres Naturais e Saúde no Brasil*. Fundação Oswaldo Cruz – Ministério da Saúde. Brasília.
- Quirk, J. P., Schofield, R. K., 1955. The effect of electrolyte concentration on soil permeability. *Journal of Soil Science*, v. 6, 163-178.
- RADAM BRASIL. Folhas SF23/24 – Rio de Janeiro/Vitória. *Levantamento de Recursos Naturais*. V. 32. Rio de Janeiro. O Projeto, 1983. 775p.
- Rossi, M., 2017. *Mapa pedológico do Estado de São Paulo: revisado e ampliado*. São Paulo, SP: Instituto florestal, 1. 118p.
- Salazar, C. A., Archanjo, C. J., Babinski, M., Liu, D., 2008. Magnetic fabric and zircon U-Pb geochronology of the Itaoca pluton: implications for the Brasiliano deformation of the southern Ribeira Belt (SE Brazil). *Journal of South American Earth Sciences*, v. 26, n. 3, p. 286-299. DOI: 10.1016/j.jsames.2008.08.007
- Santos, H. G. dos; Jacomine, P. K. T.; Anjos, L. H. C. dos; Oliveira, V. A. de; Lumberras, J. F.; Coelho, M. R.; Almeida, J. A. de; Araujo Filho, J. C. de; Oliveira, J. B. de; Cunha, T. J. F., 2018. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Brasília, DF: 5.ed., rev. e ampl. Embrapa. 356

- SGB - CPRM – Serviço Geológico do Brasil. 2019. Carta de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações de Itaóca – SP. Rigeo – CPRM.
- Sidle, R. C., Pearce, A. J., O’Loughlin, C.L., 1985. Hillslope stability and land use. Washington, D.C.: American Geophysical Union’s Water Resources, 2. ed.
- Silva, M. C., 2017. Caracterização geológico e geotécnica do debris flow na bacia do córrego Guarda-Mão (Itaóca-SP) no desastre de janeiro de 2014. Campinas, SP: Dissertação de mestrado – Instituto de Geociências – Unicamp.
- Silva, M. F., Miranda, J. B., 2016. A matéria orgânica e sua influência nas frações granulométricas do solo e nos limites de Atterberg. I Congresso Internacional das Ciências Agrárias – COINTER – PDVAGro2016.
- Tominaga, L. K., Santoro, J., Amaral, R., 2009. Análise e mapeamento de risco. Desastres naturais: Conhecer para prevenir. São Paulo, SP: Instituto Geológico, 147-160.
- Wilding, L. P., Odell, R. T. Fehrbacher, J. B., Beaver, A. H., 1963. Source and distribution of sodium in solonetzic soils in Illinois. Soil Sci. Soc. Am. Proc., v. 27, p. 432-438. DOI: 10.2136/sssaj1963.03615995002700040021x
- Wolle, C. M., Carvalho, C. S., 1989. Deslizamentos em encostas na Serra do Mar - Brasil. Revista Solos e Rochas, v. 12, n. único. 27-36.