

16º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental

CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DE SOLOS DE TRINCHEIRAS ABERTAS NA VERTENTE DE UMA ENCOSTA DA SERRA DO MAR, SUSCEPTÍVEL A ESCORREGAMENTOS

Carolina Verbicaro Perdomo¹; Lidiane Carlos Nogueira²; Alexandre Matheus Bliska³; Estéfano Seneme Gobbi⁴; Francisco Sérgio Bernardes Ladeira⁵; Miriam Gonçalves Miguel⁶

Resumo – A Serra do Mar é uma barreira orográfica tem sido palco de diversos eventos de movimentos gravitacionais de massa ao logo de anos, pois apresenta elementos favoráveis a esses processos, como alta pluviosidade e elevadas inclinações. Esta pesquisa apresenta as caracterizações física e geotécnica de solos provenientes de cinco trincheiras abertas numa encosta da Serra do Mar, como estudos preliminares para análise de estabilidade ao escorregamento. Os resultados indicaram a presença de agregação das partículas finas (microagregação) que proporcionou altos valores de porosidade e texturas de areias siltosas em campo. Este fato contribui para que a drenagem de água por entre os horizontes do solo seja facilitada, diminuindo os riscos aos escorregamentos.

Abstract – Serra do Mar is an orographic barrier that has been the scene of several events of mass gravitational movements over the years, since it presents elements favorable to these processes, such as high rainfall and high inclinations. This research presents the physical and geotechnical characterization of soils from five open trenches on a Serra do Mar slope, as preliminary studies for stability analysis to sliding. The results indicated the presence of fine particle aggregation (microaggregation) that provided high porosity values and silt sand textures in the field. This fact contributes to the drainage of water between the horizons of the soil is facilitated, reducing the risks to landslides.

Palavras-Chave – Caracterização de solos; Escorregamentos; Serra do Mar; Ensaios geotécnicos; Estabilidade de Encostas

¹ Dotoranda, MSc, Universidade Estadual de Campinas. Campinas-SP, (19) 999095159, caveper@hotmail.com

² Graduanda Geografia, Universidade Estadual de Campinas. Campinas-SP, (19) 3521-2352, lidiane_nogueira@hotmail.com

³ Mestrando, Geólogo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, (19) 99722-6277, alebliska@gmail.com

⁴ Professor Doutor, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas-SP, (19) 3343-7202, estefano.gobbi@puc-campinas.edu.br

⁵ Professor Doutor, Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, (19) 3521-4579, fsbladeira@ige.unicamp.br

⁶ Prof. Associado, Universidade Estadual de Campinas. Campinas-SP, (19) 3521-2393, mgmiguel@fec.unicamp.br

1. INTRODUÇÃO

Os movimentos gravitacionais de massa, mais especificamente os escorregamentos, têm se tornado cada vez mais frequentes no cenário nacional, aumentando a necessidade de se entender os mecanismos deflagradores desses movimentos. Os escorregamentos são processos geomorfológicos presentes em ambientes declivosos e podem ocorrer em diferentes lugares do planeta, eles são deflagrados, na sua maioria, por eventos excessivos de chuva, podendo ter como causas vulcões, terremotos, incêndios florestais e atividades humanas entre outros (Highland e Bobrowsky, 2008).

Com a falta de condições em adquirir espaços urbanizados dentro das normas geotécnicas de segurança, uma significativa parcela da população tem se alojado em áreas de risco, ou seja, aquelas que não estão no processo regular de urbanização, onde o valor agregado do terreno é menor, ou em muitos casos nulo, como as encostas mais íngremes dos morros (Freitas *et al*, 2001).

Santos é um município do litoral paulista com histórico de eventos de escorregamentos, pois está situado em uma estreita faixa de planície entre o mar e uma barreira orográfica conhecida como Serra do Mar, palco de diversos eventos de escorregamentos ao longo dos anos pois tem todos os elementos favoráveis a esses processos, como alta pluviosidade e elevadas inclinações. Esta localização demonstra a grande propensão do município aos eventos de escorregamentos (Gobbi, 2017; Moura, 2014). Um dos mais famosos eventos ocorridos no Brasil ocorreu em Santos 1928, o Escorregamento do Mont Serrat onde anos mais tarde (1956) ocorreria outro escorregamento (Figura 1).

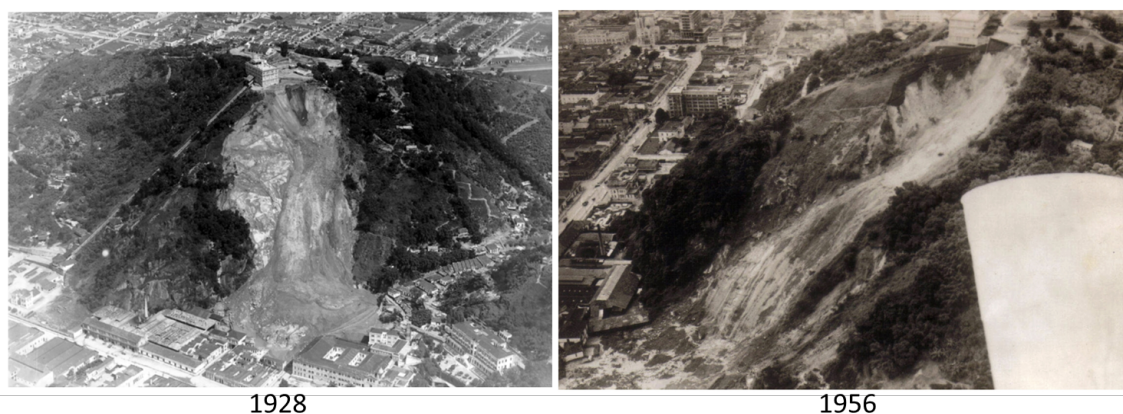


Figura 1: Desabamento do Mont Serrat de 1928 e de 1956 no mesmo lugar

Fonte: IPT (http://www.ipt.br/institucional/campanhas/16-voce_sabia_que_o_ipt_elaborou_a_primeira_carta_geotecnica_do_pais_.htm)

A deflagração dos escorregamentos está relacionada com uma variedade de fatores, como climatológicos, geológicos, geomorfológicos e pedológicos, sendo que neste último o conhecimento de suas propriedades físicas e geotécnicas são de grande interesse para a compreensão de seu comportamento (Ferreira, 2013; Wang, 2003; Kong, 2017). Dentre as propriedades físicas se destaca a análise granulométrica, tendo grande importância na compreensão da origem e evolução da dinâmica da vertente, indicando áreas com maior propensão a processos erosivos e que demonstrem descontinuidades ao longo do perfil, apontando possíveis áreas de ruptura do solo.

Além da granulometria ensaios de limites indicam o comportamento do solo em relação a quantidade de água, mostrando também diferentes comportamentos ao longo do perfil, que indicam áreas onde possa haver descontinuidades e assim maior

propensão ao rompimento. Por ser de grande importância o conhecimento dessas propriedades físicas e geotécnicas do solo, este trabalho tem como objetivo descrever e analisar estes ensaios em 5 diferentes trincheiras abertas ao longo de uma encosta no município de Santos, São Paulo.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo é uma encosta no município de Santos, no litoral do Estado de São Paulo, e engloba os morros do Saboó e Chico de Paula, localizados na parte insular do município, como mostra a Figura 2. É uma área de Mata Atlântica, embora tenha uma pequena ocupação no centro e várias trilhas usadas pela comunidade que ocupa a parte oposta da encosta. A área se encontra na seguinte localização geográfica: 46° 21'05" W e 23°56'12" S.



Figura 2: Mapa do Município de Santos, mostrando a encosta estudada em destaque pela seta vermelha.

Fonte: Prefeitura municipal de Santos, departamento de Defesa Civil.

Segundo relatório do IPT (1978) a região de Santos é constituída por Granito Santos, e a área do morro do Saboó é constituída por Migmatitos de Paleossoma Dominantes que formam faixas alongadas e de comprimento e largura variáveis, sendo predominantes hornblenda-biotita-gnaisses com granulação média a fina e forte orientação gnáissica.

3. METODOLOGIA

Para realização deste trabalho foi selecionada uma encosta do município de Santos, com propensão ao evento de escorregamento devido à sua elevada declividade e ao elevado índice pluviométrico característico da região. Além disso, essa encosta apresenta risco para a população que ocupa o seu topo e base. Ao longo da vertente dessa encosta, foram abertas 10 trincheiras (Figura 3) e coletadas amostras de solo deformadas e indeformadas para cada horizonte de solo (A, B e C) e suas variações, definidos em campo por Gobbi (2017), segundo Lemos (1996).

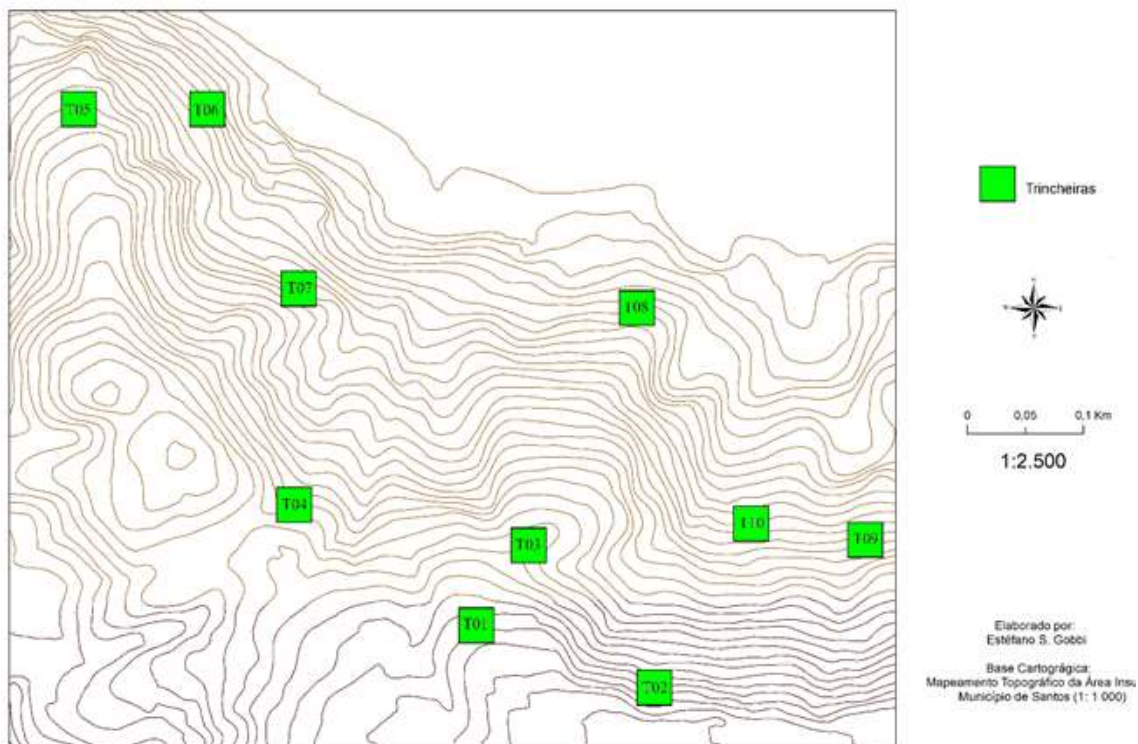


Figura 3. Trincheiras abertas na encosta estudada (modificada de Gobbi, 2017).

Nesse estudo, foram caracterizadas as amostras de solo de cinco trincheiras (TR1, TR3, TR7, TR8 e TR9). As amostras de solo deformadas foram submetidas aos ensaios de massa específica dos sólidos (ABNT, 2016a/NBR 6458), granulometria conjunta (ABNT, 2016b/NBR 7181) com e sem o uso de defloculante na fase de sedimentação, limites de liquidez, plasticidade e contração (ABNT, 2016c/NBR 6459; ABNT, 2016d/NBR 7180 e ABNT, 1982/NBR 7183, respectivamente). As amostras de solo indeformadas foram submetidas aos ensaios de teor de umidade (ABNT, 2016e/NBR 6457) e massa específica, por meio da cravação de anéis metálicos com massa e volume definidos. A escala granulométrica adotada para a classificação textual das amostras de solo foi a definida pela ABNT, 1995/NBR 6402.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados dos ensaios de caracterização das amostras de solo das trincheiras estudadas estão apresentados na Tabela 1. As curvas granulométricas das amostras de solo da TR1, TR3, TR7, TR8 e TR9, obtidas com o uso (CD) e sem o uso (SD) de defloculante na fase de sedimentação, estão apresentadas nas Figuras 4 a 8. As percentagens das frações granulométricas estão apresentadas na Tabela 2 e a classificação textural das amostras de solo na Tabela 3.

A caracterização das amostras de solo (Tabela 1) indicou valores de massa específica dos grãos variando de 2,368 a 2,980 g/cm³, de massa específica natural de 1,044 a 1,870 g/cm³ e de massa específica seca de 0,859 a 1,551 g/cm³. O índice de plasticidade variou de 1,5 a 35,5%, com muitas amostras não apresentando nenhuma plasticidade. Quanto a porosidade, os valores se situaram entre 41,9 a 66,4%.

As amostras de solo do horizonte A se apresentaram com menores valores de massa específica dos grãos e de massa específica seca e com maior valor de

porosidade (Tabela 1). Essas amostras continham visivelmente matéria orgânica e se desagregaram facilmente, devido à presença de minerais na fração areia e a sua ausência de plasticidade (exceto na TR8).

Houve uma tendência de diminuição da porosidade ao longo da profundidade das trincheiras, ou seja, a porosidade é maior no horizonte A e diminui à medida que avança em direção ao B e ao C. Corroborando, os valores de massa específica e massa específica seca apresentam comportamento inverso, isto é, aumentam ao longo da profundidade (Tabela 1).

Tabela 1. Resultados dos ensaios de caracterização das amostras de solo

Trincheira Horizonte	γ_s (g/cm ³)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	w (%)	γ (g/cm ³)	γ_d (g/cm ³)	n (%)
TR1 - A	2,627	NP	NP	NP	39,6	1,297	0,929	64,7
TR1 - Bt	2,716	49,6	32,4	17,2	21,5	1,597	1,314	51,7
TR1 - Bt1	2,759	68,3	37,6	30,7	37,7	1,559	1,132	59,0
TR1 - Bt2	2,786	60,1	40,5	19,6	36,0	1,578	1,160	58,3
TR1 - BtC	2,780	48,0	36,0	12,0	37,3	1,638	1,193	57,1
TR1 - C	2,834	54,5	39,9	14,6	33,2	1,685	1,265	55,4
TR3 - A	2,561	NP	NP	NP	21,5	1,044	0,859	66,4
TR3 - AB	2,741	54,1	36,0	18,1	34,8	1,534	1,138	58,5
TR3 - Bt1	2,758	72,0	38,6	35,4	36,2	1,575	1,156	58,0
TR3 - Bt2	2,815	66,9	42,3	24,6	34,2	1,594	1,188	57,8
TR3 - C	2,765	58,0	42,4	15,6	33,4	1,692	1,268	54,1
TR7 - A	2,662	NP	NP	NP	35,2	1,337	0,989	49,7
TR7 - Bt1	2,738	36,2	34,7	1,5	29,9	1,593	1,226	41,9
TR7 - Bt2	2,766	NP	NP	NP	27,9	1,430	1,119	59,6
TR7 - C1	2,857	NP	NP	NP	21,9	1,453	1,192	49,2
TR7 - C2	2,799	NP	NP	NP	22,5	1,513	1,235	55,9
TR8 - A	2,368	61,9	44,9	17,0	NO	NO	NO	NO
TR8 - Bt1	2,747	59,8	36,3	23,5	28,5	1,744	1,357	50,5
TR8 - Bt2	2,739	74,0	38,5	35,5	30,4	1,771	1,358	50,5
TR8 - C1	2,766	40,9	28,1	12,8	20,6	1,870	1,551	43,8
TR8 - C2	2,795	NP	NP	NP	20,0	1,735	1,446	48,2
TR8 - C3	2,801	NP	NP	NP	19,4	1,712	1,434	48,7
TR9 - A	2,663	NP	NP	NP	38,0	1,406	1,019	61,7
TR9 - Bt1	2,684	45,7	30,4	15,3	29,2	1,788	1,384	48,7
TR9 - Bt2	2,841	60,2	34,1	26,1	28,9	1,796	1,387	51,2
TR9 - Bt3	2,766	45,7	30,4	15,3	30,2	1,746	1,341	51,4
TR9 - C	2,980	NP	NP	NP	29,2	1,723	1,334	55,2

Sendo: γ_s – massa específica dos grãos; γ – massa específica natural; LL – limite de liquidez; LP – limite de plasticidade; IP – índice de plasticidade; w – teor de umidade; γ_d – massa específica seca; n – porosidade total; NP – não plástico; NO – ainda não obtido por falta de amostras.

A propriedade de plasticidade foi constatada de modo mais expressivo nas amostras do horizonte B (Tabela 1). No horizonte C, esta plasticidade diminui, chegando muitas vezes nem se apresentar, como no caso das trincheiras TR7, TR8 e TR9, localizadas no meio e na base da vertente. A única amostra do horizonte A que apresentou plasticidade foi a da TR8; todas as demais, apesar da presença de matéria orgânica, não possuíam plasticidade (Tabela 1).

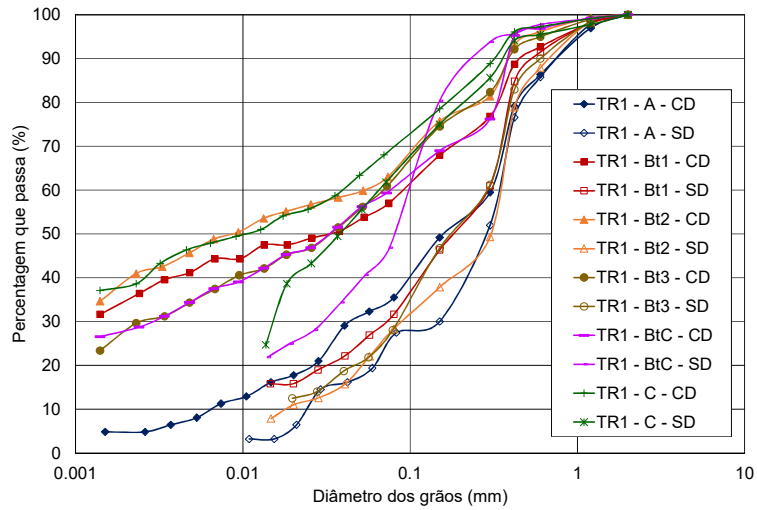


Figura 4. Curvas granulométricas das amostras de solo da TR1

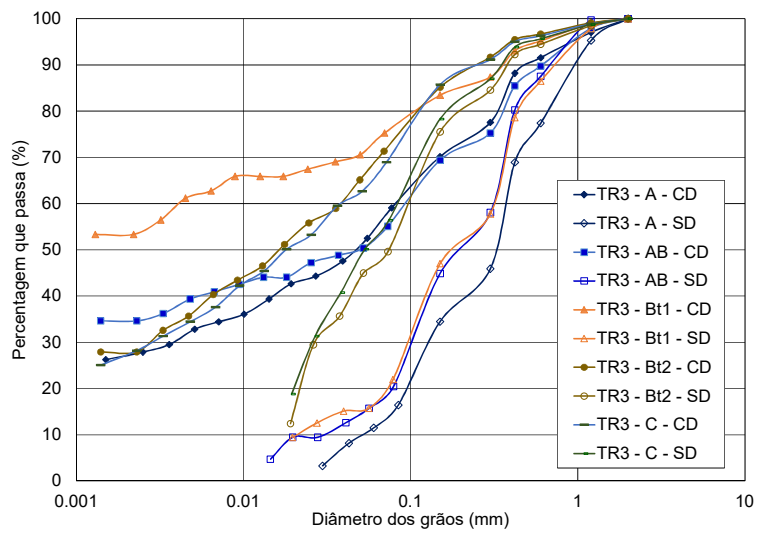


Figura 5. Curvas granulométricas das amostras de solo da TR3

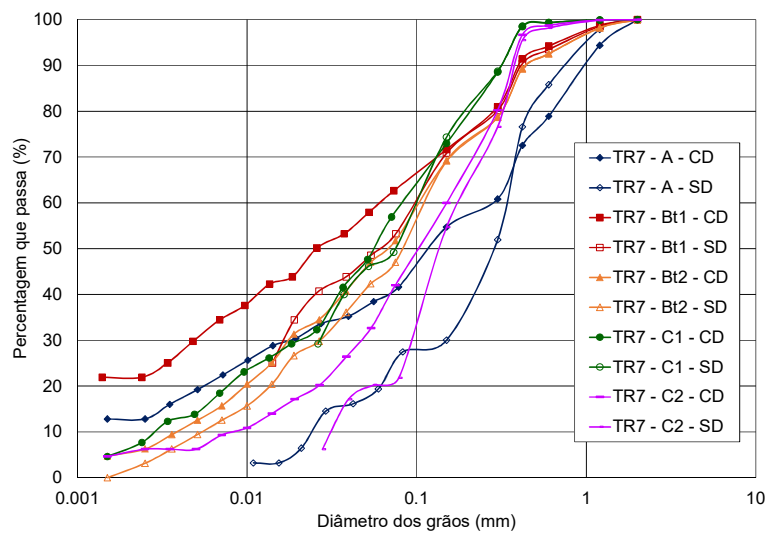


Figura 6. Curvas granulométricas das amostras de solo da TR7

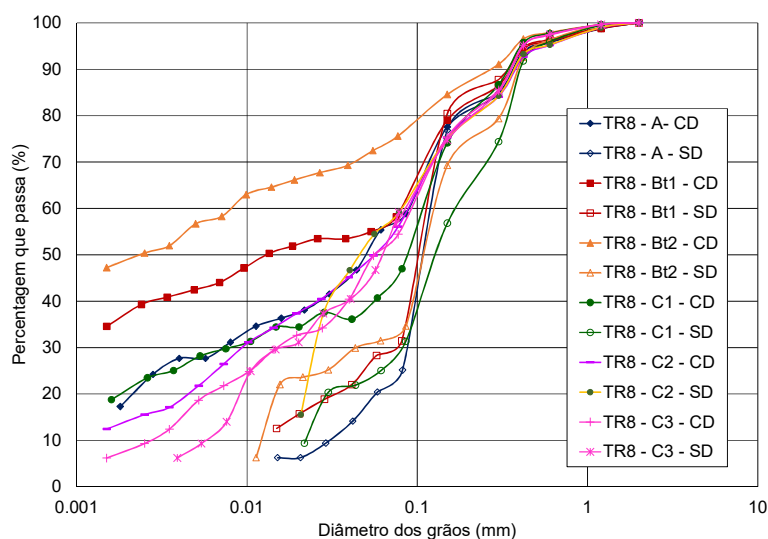


Figura 7. Curvas granulométricas das amostras de solo da TR8

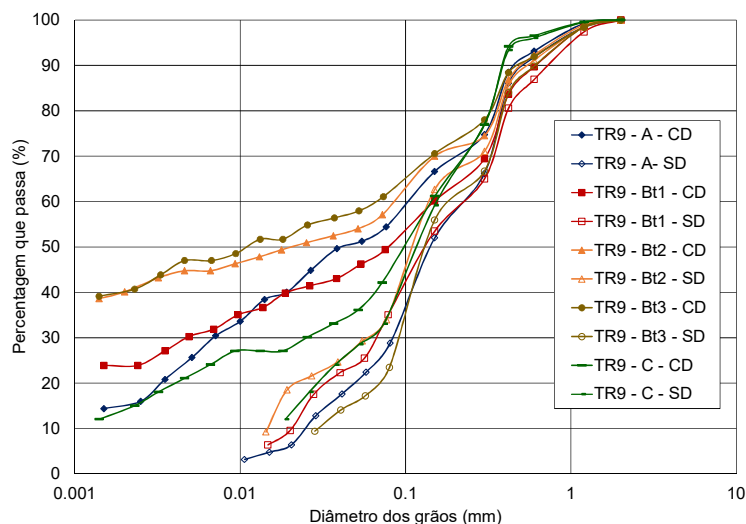


Figura 8. Curvas granulométricas das amostras de solo da TR9

O teor de umidade foi maior nas amostras do horizonte A (exceto na TR3), seguida das amostras do horizonte B (Tabela 1). Isto se deve às presenças de matéria orgânica nas amostras do horizonte A e de argila no horizonte B. Os argilominerais possuem alta capacidade de retenção à água devido à capilaridade e à adsorção.

Todas as amostras de solo apresentaram microagregação (com menor expressividade na TR7 e maior expressividade nas amostras do horizonte B), representada pela diminuição ou ausência das porcentagens da fração argila, quando não utilizado o defloculante na fase de sedimentação dos ensaios de granulometria (Figuras 4 a 8 e Tabela 2). Os grãos de argila quando agregados representaram as frações areia e silte, alterando a classificação textural do solo (Tabela 3) e aumentando a sua porosidade. Todas as amostras de solo foram classificadas como areias siltosas sem o uso de defloculante. A maior porcentagem da fração argila foi constatada nas amostras do horizonte B, corroborando com o fato dessas amostras apresentarem maior plasticidade.

A microagregação é comum em solos tropicais devido à ação dos processos de lixiviação em ambientes de alta pluviosidade e alta amplitude térmica. Os óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, com baixas solubilidades em pH levemente ácido, permanecem no perfil de solo agindo como cimentantes das partículas finas, aumentando a textura e a porosidade do solo, e alterando o seu comportamento hidromecânico em campo (Gidigas, 1976; Committee on Tropical Soils of ISSMFE, 1985). Assim, compreende-se que os horizontes de solo das trincheiras estudadas, mesmo tendo porcentagem expressiva de partículas finas (siltes e argilas), devem apresentar permeabilidade característica de areias finas a médias. Este fato sugere que a percolação de água por entre os horizontes de solo seja facilitada, evitando o aumento de pressões neutras e da formação de frentes de saturação, que podem vir a atuar como um dos fatores de desestabilização da encosta ou parte dela. Além disso, os agentes cimentantes atuam também positivamente na coesão verdadeira do solo, elevando a sua resistência ao cisalhamento e, conseqüentemente, diminuindo os riscos aos escorregamentos.

Tabela 2. Porcentagens das frações granulométricas

Trincheira Horizonte	Com Defloculante			Sem Defloculante		
	% Areia	% Silte	% Argila	% Areia	% Silte	% Argila
TR1 - A	67,3	28,1	4,6	89,7	10,7	0
TR1 - Bt	44,8	20,3	34,9	81,6	18,4	0
TR1 - Bt1	38,4	22,2	39,4	77,0	23,0	0
TR1 - Bt2	41,5	30,5	27,9	83,4	16,6	0
TR1 - BtC	42,4	29,7	27,9	64,1	35,9	0
TR1 - C	34,3	27,8	37,9	64,1	35,9	0
TR3 - A	45,4	27,6	27,0	95,1	4,9	0
TR3 - AB	47,0	18,6	34,4	90,2	9,8	0
TR3 - Bt1	26,3	20,6	53,1	86,4	13,6	0
TR3 - Bt2	31,7	40,9	27,4	56,3	43,7	0
TR3 - C	33,4	39,5	27,1	50,9	49,1	0
TR7 - A	60,5	27,1	12,3	74,9	25,1	0
TR7 - Bt1	40,7	37,8	21,5	53,3	46,7	0
TR7 - Bt2	52,6	42,1	5,2	56,0	42,4	1,6
TR7 - C1	48,5	45,5	6,0	57,4	42,6	0
TR7 - C2	64,3	30,0	5,8	84,6	15,4	0
TR8 - A	46,0	34,9	19,2	79,7	20,2	0
TR8 - Bt1	44,0	18,3	37,7	71,9	28,1	0
TR8 - Bt2	27,2	23,7	49,2	68,7	31,2	0
TR8 - C1	58,5	20,2	21,4	74,9	25,1	0
TR8 - C2	47,8	37,9	14,3	44,8	55,1	0
TR8 - C3	49,5	42,7	7,8	50,7	49,3	0
TR9 - A	47,5	37,8	14,8	79,9	20,1	0
TR9 - Bt1	52,6	23,8	23,5	77,2	22,8	0
TR9 - Bt2	44,4	16,0	39,6	74,6	25,4	0
TR9 - Bt3	40,4	19,6	40,1	87,0	13,0	0
TR9 - C	61,6	24,2	14,2	73,0	27,0	0

Sendo: Fração Areia: 0,06mm≤D<2,0mm; Fração Silte: 0,002mm≤D<0,06mm;
Fração Argila: D<0,002mm

Tabela 3. Classificação textural das amostras de solo

Trincheira - Horizonte	Com Defloculante	Sem Defloculante
TR1 - A	Areia Siltosa	
TR1 - Bt	Argila Areno-Siltosa	
TR1 - Bt1	Argila Areno-Siltosa	
TR1 - Bt2	Silte Areno-Argiloso	Areia Siltosa
TR1 - BtC	Silte Areno-Argiloso	
TR1 - C	Argila Areno-Siltosa	
TR3 - A	Silte Areno-Argiloso	
TR3 - AB	Argila Areno-Siltosa	
TR3 - Bt1	Argila Areno-Siltosa	Areia Siltosa
TR3 - Bt2	Silte Areno-Argiloso	
TR3 - C	Silte Areno-Argiloso	
TR7 - A	Areia Silto-Argilosa	
TR7 - Bt1	Silte Areno-Argiloso	
TR7 - Bt2	Areia Siltosa	Areia Siltosa
TR7 - C1	Areia Siltosa	
TR7 - C2	Areia Siltosa	
TR8 - A	Areia Siltosa	
TR8 - Bt1	Argila Areno-Siltosa	
TR8 - Bt2	Argila Areno-Siltosa	
TR8 - C1	Areia Argilo-Siltosa	Areia Siltosa
TR8 - C2	Silte Areno-Argiloso	
TR8 - C3	Silte Arenoso	
TR9 - A	Silte Areno-Argiloso	
TR9 - Bt1	Areia Silto-Argilosa	
TR9 - Bt2	Argila Areno-Siltosa	Areia Siltosa
TR9 - Bt3	Argila Areno-Siltosa	
TR9 - C	Areia Silto-Argilosa	

5. CONCLUSÕES

Os resultados de caracterização física e geotécnica das amostras de solo dos horizontes das cinco trincheiras abertas na vertente da encosta da Serra do Mar estudada indicaram a presença de agregação das partículas finas (microagregação) que atribuiu aos solos altos valores de porosidade e texturas de areias siltosas em campo, contribuindo para que a drenagem de água por entre os horizontes do solo seja facilitada, a formação de frentes de saturação seja minimizada e, consequentemente, os riscos aos escorregamentos sejam menores. Estudos de permeabilidade e de resistência ao cisalhamento dessas amostras estão previstos e certamente darão maior contribuição à compreensão dos processos de desestabilização nessa encosta.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas - Determinação da Massa Específica dos Grãos. NBR 6458. 2016a.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas - Análise Granulométrica. NBR 7181. 2016b.

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 - Amostras de Solos - Preparação para Ensaio de Compactação e Ensaio de Caracterização. NBR 6457. 2016e.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas – Rochas e solos. NBR 6502. 1995.

Committee on Tropical Soils of ISSMFE, (1985). *Peculiarities of Geotechnical Behavior of Tropical Lateritic and Saprolitic Soils Progress*. São Paulo/SP.

FERREIRA, F. S. (2013). *Análise da influência das propriedades físicas do solo na deflagração dos escorregamentos translacionais rasos na Serra do Mar (SP)* [online]. São Paulo: Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 2013a. Dissertação de Mestrado em Geografia Física. [acesso junho de 2014].

FREITAS, C.G.L. BRAGA, T.O. BITAR, O. Y. FARAH, F. (2001). *Habituação e Meio Ambiente – Abordagem Integrada em Empreendimentos de Interesse Social*. HABITARE (Programa de Tecnologia de Habitação). IPT, São Paulo.

GIDIGASU, M.D., (1976). *Laterite soil engineering: pedogenesis and engineering principles*. Developments in Geotechnical Engineering, 9. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, Oxford, New York (554 pp.).

GOBBI, E. S. (2017). *Variação do manto intempérico nas encostas dos morros residuais de Santos-SP*. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências/Unicamp.

HIGHLAND, L.M. BOBROWSKY, P. (2008). *The Landslides Handbok – A Guide to Understanding Landslides*. U.S. Geological Survey, Reston, Virginia.

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo. (1978). *Relatório técnico 11.599. Levantamento das condicionantes do meio físico e estabelecimento de critérios normativos para a ocupação urbana dos Morros de Santos e São Vicente (carta geotécnica)*.

IPT–http://www.ipt.br/institucional/campanhas/16-voce_sabia_que_o_ipt_elaborou_a_primeira_carta_geotecnica_do_pais_.htm.

KONG, L.W. ZENG, Z.X. BAI, W. WANG, M. (2017). *Engineering geological properties of weathered swelling mudstones and their effects on the landslides occurrence in the Yanji section of the Jilin-Hunchun high-speed railway*. Bull Eng Geol Environ, DOI 10.1007/s10064-017-1096-2.

LEMOS, R.C. SANTOS, R.D. (1996) *Manual de Coleta e Descrição de Material no Campo*. Sociedade Brasileira de Ciencia do Solo. 3ª Ed. Campinas

MOURA, C. A. (2014). *Análise da suscetibilidade do meio físico a movimentos gravitacionais de massa por meio de sistematização de zoneamento geoambiental*. Tese do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – Unesp.

WANG, G. SASSA, K. (2003). *Pore-pressure generation and movement of rainfall-induced landslides: effects of grain size and fine-particle content*. Engineering Geology 69, p.109–125.