

CARACTERIZAÇÃO LITOESTRATIGRÁFICA, GEOTÉCNICA E CORRELAÇÕES COM A OCORRÊNCIA DE PROCESSOS DE MOVIMENTO DE MASSA EM TALUDE DA FORMAÇÃO BARREIRAS (CARIACICA-ES)

Characterization Lithostratigraphic, Geotechnical, and Correlations with the Occurrence of Mass Movement Processes in the Slope Barriers Formation (Cariacica-ES)

Caracterización Litoestratigráfica, Geotécnica y Correlaciones con la Ocur-rencia de los Procesos de Movimiento de Masas en Pendiente la Formación de Barreras (Cariacica-ES)

Luiza Leonardi Bricalli

Doutora em Geologia

Profa. do Departamento de Geogra-fia da Universidade Federal do Espí-rito Santo (UFES)

E-mail: luiza.bricalli@ufes.br

Artigo recebido em: 17/12/2014

Artigo publicado em: 20/07/2015

RESUMO

Este estudo tem como objetivo descrever e analisar os aspectos litoestratigráficos e geotécnicos, afim de correlacioná-los à ocorrência do processo de movimento de massa (deslizamento) no talude da Formação Barreiras (Cariacica-ES). A base metodológica utilizada foi: execução de Sondagem à Percussão Standard Penetration Test (SPT); análises das camadas estratigráficas; elaboração de perfis geológicos; realização de análises de granulometria, compactação, limite de liquidez e de plasticidade e cisalhamento. Foi possível estabelecer os fatores de Instabilidade do talude e identificar a superfície de Ruptura do Deslizamento, identificando 2 (dois) níveis litoestratigráficos: i) um conjunto de camadas de material fino (argilito), em sua porção superior e; ii) um conjunto de camadas de material mais grosseiro (arenitos). Ambos os pacotes apresentam fatores de segurança abaixo de 1.

Palavras-chave: instabilidade de talude; Formação Barreiras; níveis litoestratigráficos.

ABSTRACT

This study aims to describe and analyze the lithostratigraphic and geotechnical aspects, in order to correlate them to the occurrence of the mass movement process (slip) on the slope of Barreiras Formation (Cariacica-ES). The methodological basis used was Survey of implementing Percussion Standard Penetration Test (SPT); analysis of the stratigraphic layers; preparation of geological profiles; conducting particle size analysis, compression, liquid limit and plasticity and shear. It was possible to establish the instability of the slope factors and identify the surface rupture slip, identifying 2 (two) lithostratigraphic levels: i) a set of layers of fine material (mudstone) in its upper portion and; ii) a set of coarser material layers (sandstone). Both packages have safety factors below 1.

Keywords: slope instability; Barriers training; lithostratigraphic levels.



Revista do Programa de Pós
Graduação em Geografia UFES
Janeiro-Julho, 2015
ISSN 2175 -3709

RESUMEN

Este estudio tiene como objetivo describir y analizar los aspectos litoestratigráficas y geotécnicos, para correlacionarlos con la ocurrencia del proceso de movimiento de masas (deslizamiento) en la ladera de Barreiras (Cariacica-ES). La base metodológica utilizada fue: Encuesta de la aplicación de Percusión de prueba de penetración estándar (SPT); análisis de las capas estratigráficas; preparación de perfiles geológicos; la realización de análisis de tamaño de partícula, la compresión, límite líquido y la plasticidad y la cizalla. Fue posible establecer la inestabilidad de los factores de pendiente e identificar la ruptura de la superficie de deslizamiento, la identificación de 2 (dos) niveles litoestratigráficas: i) un conjunto de capas de material fino (mudstone) en su parte superior y; ii) un conjunto de capas de materiales más gruesos (arenisca). Ambos paquetes tienen factores de seguridad por debajo de 1.

Palabras clave: inestabilidad de las laderas; Formación Barreras; niveles litoestratigráficas.

1. INTRODUÇÃO

Todos os anos ocorrem no Brasil, e em áreas presentes na zona intertropical do planeta, eventos naturais, que por vezes tornam-se efetivamente desastres naturais. Os desastres naturais – tais como inundações, enxurradas e movimentos de massa (deslizamentos, desmoronamentos) são desencadeados e/ou intensificados por eventos pluviométricos intensos e prolongados, associados ou não à ação antrópica (Carvalho e Galvão, 2006).

Os movimentos de massa podem ser classificados por diversos critérios, que incluem, por exemplo, os atributos e as feições geológicas, os atributos geomorfológicos, a geometria dos deslizamentos, os tipos de movimentos, as influências relativas de fatores climáticos, umidades, velocidades de movimento, etc. (Varnes, 1978; Hutchinson, 1988; Guidicini e Nieble, 1984; Augusto Filho, 1992; Carvalho e Galvão, 2006; Guerra e Jorge, 2009; Foster, 2011).

Guidicini & Nieble (1984) usam o termo “escorregamentos de massa” para nomear processos de “movimentos de massa” e consideram que os “escorregamentos de massa” englobam todos os processos de movimentos coletivos de materiais terrosos e rochosos ou destes dois materiais em conjunto.

Fernandes & Amaral (2000) empregam o termo “escorregamento” para classificar “movimentos de massa”, os quais são movimentos de alta intensidade e curta duração e subdividem-se em “rotacionais” e “translacionais”.

O Instituto de Pesquisa Tecnológi-

ca - IPT (2004) utiliza o termo “escorregamento” para classificar “movimentos de massa”, caracterizado por movimentos gravitacionais de massa, que mobilizam rochas, solos ou ambos, sendo necessário correlacionar declividade da encosta e incidência/ intensidade de chuvas para diagnosticar ocorrências de movimento de massa.

Segundo Foster (2011) deslizamentos são massas ou blocos que se movem em curva descendente em uma superfície de cisalhamento planar e representa um movimento translacional. O sedimento mostra pequena ou nenhuma deformação das estruturas interna, mas a camada pode ser ligeiramente rotacionada. Os blocos podem ser desintegrados em blocos menores durante a descida em movimento através de deformação rúptil e pode se tornar um fluxo de detritos.

No estado do Espírito Santo, é muito comum a ocorrência de processo de movimentos de massa em taludes da Formação Barreiras, que é a unidade estratigráfica mais importante desse estado, ocorrendo em uma grande área do estado, especialmente em sua porção norte.

Este artigo corresponde a um estudo geológico-geotécnico de um talude da Formação Barreiras nas adjacências da Rodovia do Contorno, no município de Cariacica, estado do Espírito Santo, região Sudeste do Brasil e tem como objetivo descrever e analisar os aspectos litoestratigráficos e geotécnicos, afim de correlacioná-los à ocorrência do processo de movimento de massa (deslizamento) no talude em estudo.

2. A área de Estudo

A área estudada localiza-se em um talude da Formação Barreiras nas adjacências da

Rodovia do Contorno, município de Cariacica, estado do Espírito Santo, região Sudeste do Brasil-ES (Figura 1).

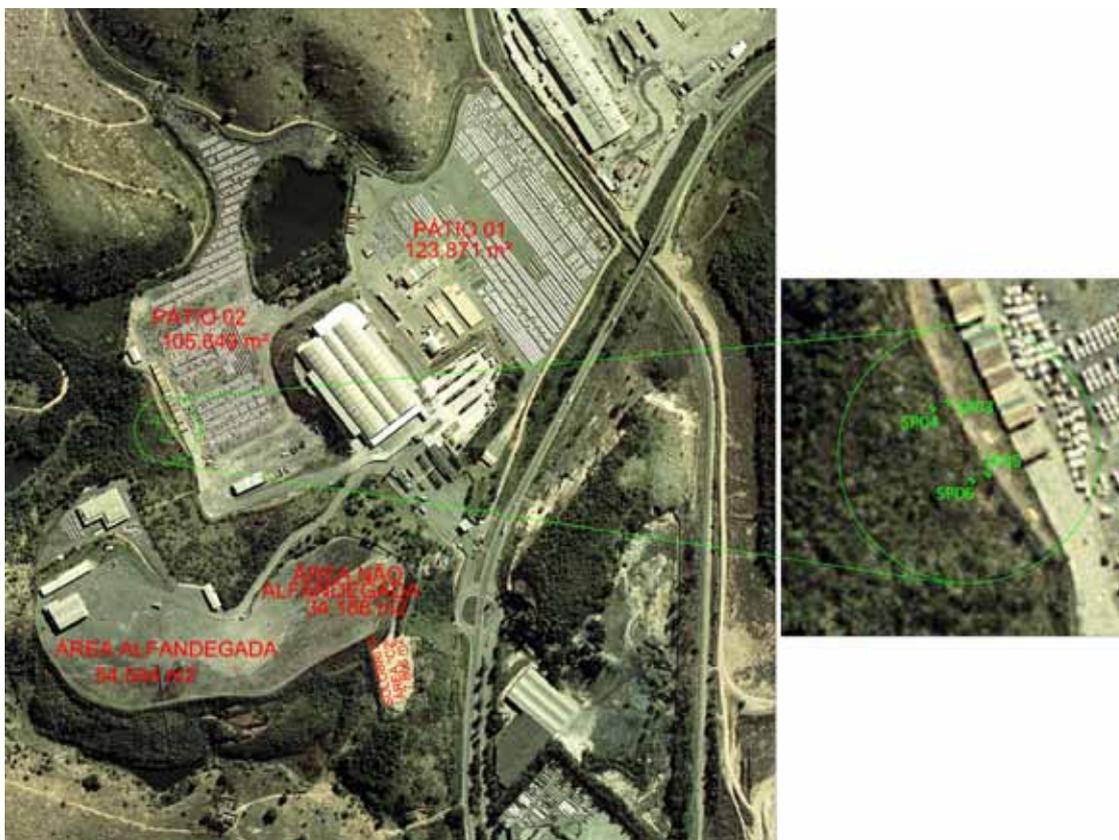


FIGURA 1 - Localização da Área em estudo (Rodovia do contorno, Cariacica, ES) e as sondagens realizadas no talude.

Geologicamente, o talude estudado encontra-se na unidade estratigráfica Formação Barreiras, constituída litologicamente de arenitos quartzosos, caulíniticos, ora maciços, ora com estratificações, intercalados a lamitos, datados da Época do Mioceno até o Plioceno-Pleistoceno (Machado Filho et al.,1983; Morais, 2007). Os depósitos da Formação Barreiras no estado do Espírito Santo são relacionados a associações faciológicas de ambiente fluvial entrelaçado, com menor participação de sedimentos depositados por fluxos de detritos e fácies típicas de planície de inundação (Morais, 2007).

A Unidade Geomorfológica onde se encontra o talude estudado, corresponde aos Tabuleiros Costeiros, representados por rochas sedimentares da Formação Barreiras (Gatto et al.,1983), inseridos no domínio dos Depósitos Sedimentares, constituídos por depósitos argilo-arenosos. Constituem-se de relevos dissecados de topos aplainados a convexizados com amplos vales (Gatto et al.,1983).

3. Metodologia e Técnicas

Adotadas

3.1. Sondagens

A caracterização litológica foi realizada através de Sondagem à Percussão Standard Penetration Test (SPT) a cada metro, segundo a ABNT (1997), realizadas pela empresa Central Fundações Ltda, onde foram executados 4 furos de sondagem (SPT 03, SP04, SP05 e SP06).

3.2 Análises estratigráficas

Para as análises estratigráficas foi elaborada uma análise das camadas sedimentares no afloramento, com destaque para informações sobre a geometria dos corpos sedimentares e superfícies estratigráficas, hierarquizadas, permitindo a caracterização dos elementos arquiteturais a partir da identificação das fácies sedimentares, da caracterização faciológica detalhada dos depósitos sedimentares feita e da des-

crição da granulometria, cor, composição mineralógica e, principalmente, estruturas sedimentares e geometria das camadas.

3.3 Perfis geológicos

Os Perfis Geológicos permitiram uma representação bidimensional da litologia e foram elaborados a partir dos dados de sondagens. Foram estabelecidos 4 (quatro) transectos (Figura 2): i) 1-1' na direção NE-SW, abrangendo os furos de sondagem SP03 e SP04; ii) 2-2' na direção NE-SW, abrangendo os furos de sondagem SP05 e SP06; iii) C-C' na direção NW-SE, abrangendo os furos de sondagem SP03 e SP 05; iv) D-D' na direção NW-SE, abrangendo os furos de

sondagem SP04 e SP06. O aparecimento ou desaparecimento de camadas litológicas demanda sondagens adicionais. Caso não seja possível sondagens adicionais, a continuidade das camadas é inferida, procurando-se sempre uma aproximação litológica adequada.

3.4 Análises laboratoriais das amostras coletadas

3.3.1 Granulometria

A granulometria foi realizada em três etapas, de acordo com a ABNT (1984) peneiramento grosso, peneiramento fino e sedimentação.

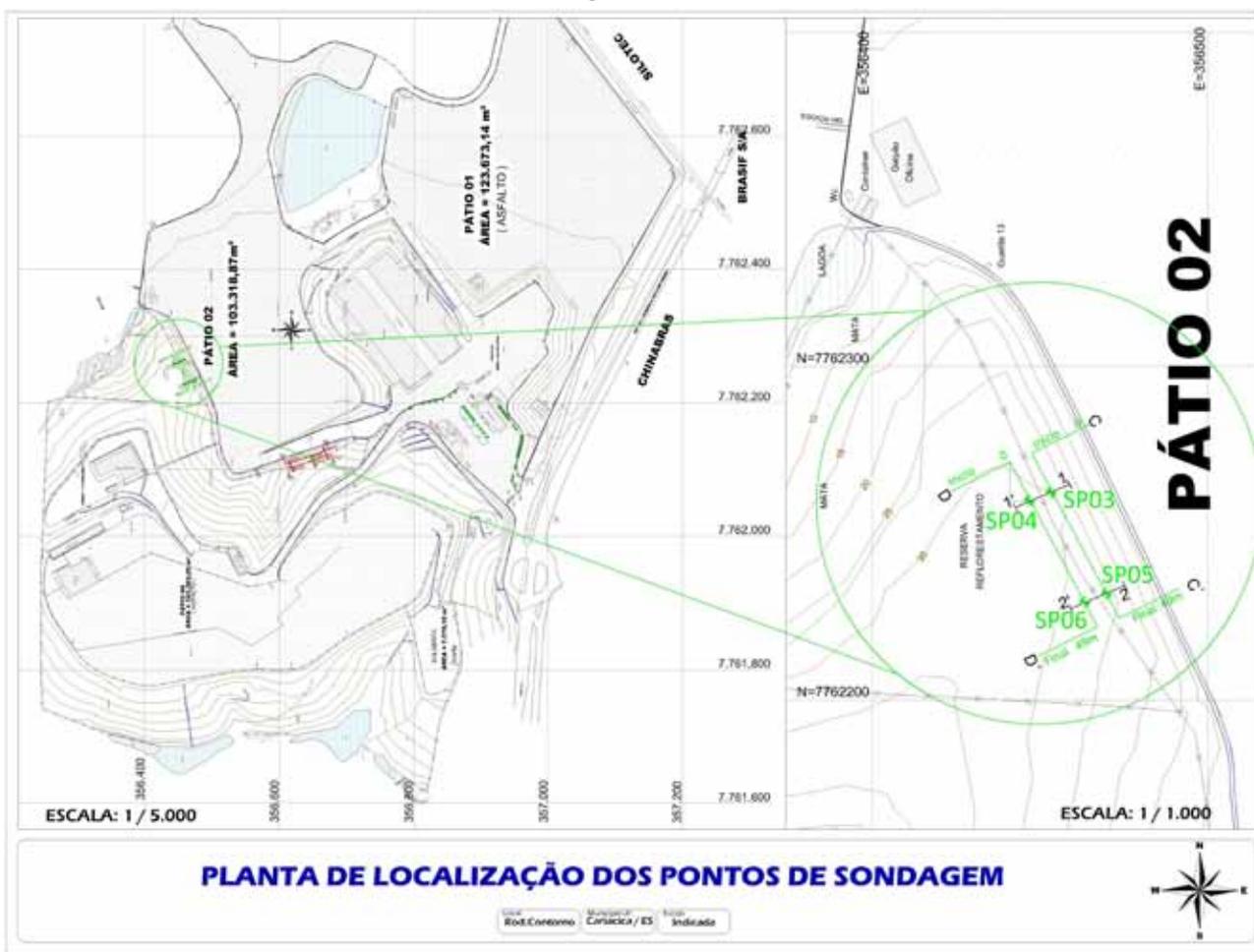


FIGURA 2 - Localização dos transectos.

3.3.2 Compactação

A metodologia utilizada para os ensaios de Compactação está de acordo com a ABNT (1984). Foi realizado a uma profundidade de 0,5m na camada de areia média, fina e grossa, silto-argilosa, cor marrom clara.

3.3.3 Limite de Liquidez (LL), Limite de Plasticidade (LP) e Índice de Plas-

ticidade (IP)

A metodologia utilizada para os Ensaios de Liquidez de Solos está de acordo com a ABNT (1984).

A metodologia utilizada para os Ensaios de Plasticidade de Solos está de acordo com a ABNT (1984).

Com o resultado dos limites de liquidez (LL) e de plasticidade (LP) foi determinado o índice de plasticidade (IP)

mediante a diferença entre os limites de liquidez (LL) e o limite de plasticidade (LP), o qual define a zona em que o terreno se encontra no estado plástico, sendo máximo para as argilas e nulo para as areias. Este índice fornece um critério para identificar o caráter argiloso de um solo que será tanto mais plástico quanto maior for o seu IP, onde são classificados

como: i) Fracamente plásticos: $1 < IP < 7$;
ii) Mediamente plásticos: $7 < IP < 15$ e;
iii) Altamente plásticos: $IP > 15$ (Caputo, 1975).

De acordo com supracitado autor, levando-se em consideração as características e propriedade físicas mais importantes, os solos finos podem ser divididos em 8 (oito) grupos (Figura 3).

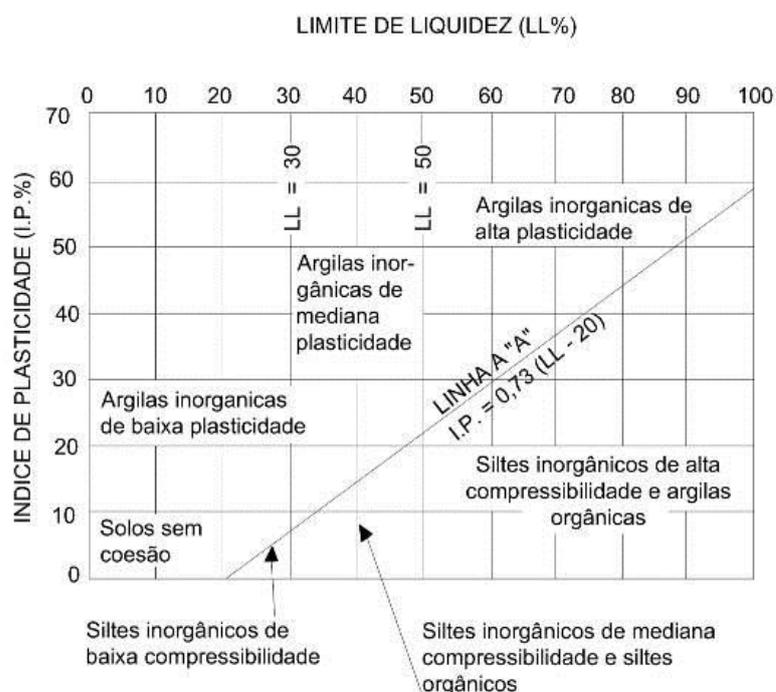


FIGURA 3 - Gráfico de plasticidade.

3.3.4 Cisalhamento

A metodologia utilizada para os Ensaios de Cisalhamento está de acordo com a ABNT (2010).

3.3.5 Fator de segurança

Segundo Adriano (2009) na avaliação de estabilidade de talude é usualmente utilizado o Fator de Segurança (FS), que é adotado como uma incógnita que representa a estabilidade ou o colapso de uma determinada massa de solo, determinando o grau de estabilidade. Valores do fator de segurança próximos a 1 (um) indicam que a massa de solo se aproxima de uma condição de colapso, ou seja, as forças cisalhantes atuantes se aproximam das resistentes.

Porém, quando os valores do fator de segurança forem superiores a 1(um) a estrutura encontra-se estável.

Um fator de segurança pode ser obtido pela relação entre a resistência ao cisalhamento do solo (S) e a tensão cisalhante atuante ou resistência mobilizada (τ) ao longo da superfície de ruptura, ou seja:

$FS = S / \tau$; Onde: S pode ser dado em termos total: $S = c + \sigma \tan \phi$; C e ϕ = coesão e ângulo de atrito de Mohr-Coulomb, respectivamente em termos de tensão total e; σ = tensão normal ao plano de ruptura.

Uma formulação matemática para o cálculo de FS é baseada no talude infinito e apresentada por Savage et al (2004). Neste modelo a condição não saturada ou de solo seco varia até a condição (Figura 4) que é interceptada por uma zona de franja capilar. Dentro da zona não saturada se evidencia a presença de poro pressões negativas. A relação entre o grau de saturação, condutividade hidráulica e poro pressão possuem um comportamento não linear. Na zona saturada existe a presença de poro pressões positivas e a condutividade hidráulica contínua e constante. Consequentemente o grau de saturação e a condutividade hidráulica são independentes da presença de poro pressão abaixo da zona não saturada. Neste modelo a camada mais profunda h é admitida como sendo a região do impenetrável.

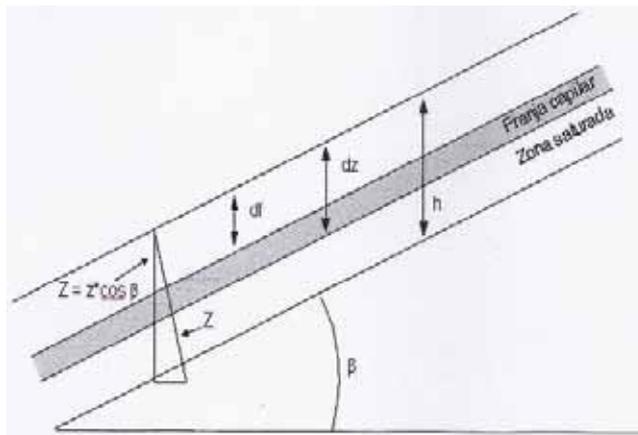


FIGURA 4 - Representação das condições de umidade em talude infinito (Savage et. al, 2004).

O Fator de Segurança (FS) pode ser calculado, a partir da definição acima, por meio da seguinte fórmula:

$$FS = \frac{c + \Psi \gamma_w \tan \phi}{\gamma_s h \sin \beta \cos \beta + \tan \beta}$$

γ_s - peso específico do solo saturado

γ_w - peso específico do solo não saturado

Ψ - razão entre a poro pressão e o peso específico da água

h - profundidade da superfície de ruptura

β - ângulo de declive

ϕ - ângulo de atrito

c - coesão do solo

idade geológica Formação Barreiras composta por rochas sedimentares, correspondendo a morfologia de colinas com topo tabular e taludes íngremes. Durante a realização dos trabalhos de campo observou-se que essas colinas apresentam constituição litológica predominantemente de arenitos, siltitos, argilitos e laterita, com presença ou não de concreções ferruginosas muito semelhantes à litologia descrita por Moraes (2007), em seu estudo sobre a Formação Barreiras no estado do Espírito Santo.

As sondagens realizadas mostram um pacote sedimentar terciário, típico da Formação Barreiras (Figura 5), apresentando-se de uma forma geral com sedimentos predominantemente finos nas camadas mais superficiais, com alternância de pequenos níveis silto-argilosos, argilo-siltosos, com pouca contribuição de areia, resistência variando de média a dura, cor variegada.

4. Resultados

4.1 Análises de campo

A área estudada encontra-se na uni-



FIGURA 5 - Cicatriz do deslizamento claramente visível, registrando ocorrência de processos de movimentos de massa (deslizamento) no talude e geometria circular. A: vista frontal; B: vista lateral.

Os perfis geológicos mostram uma constituição litológica predominantemente de arenitos, siltitos, argilitos e laterita, com presença ou não de concreções ferruginosa, onde estas constituições são intercaladas.

Os perfis geológicos 1-1', 2-2', C-C' e D-D' (Figuras 6,7,8 e 9) apresentam rochas com texturas mais finas na porção superior do talude, de uma maneira geral, sendo que os perfis C-C' e 2-2' demonstram isso claramente. Os perfis D-D' e 1-1' também apresentam essas caracterís-

ticas, mas com presença de lentes de arenito fino em 1-1' e camadas de arenitos finos e médios em D-D'.

Perfis longitudinais ao talude

Os perfis geológicos 1-1' e 2-2' (Figuras 6 e 7) transversais ao talude mostram que na porção superior do talude predominam rochas de texturas mais finas (argilitos, siltitos) com lentes de arenitos finos nos primeiros 10 m no perfil 1-1' (Figura 6). No perfil 2-2' aparece uma camada de arenito na profundidade de 20m, aproximadamente (Figura 7).

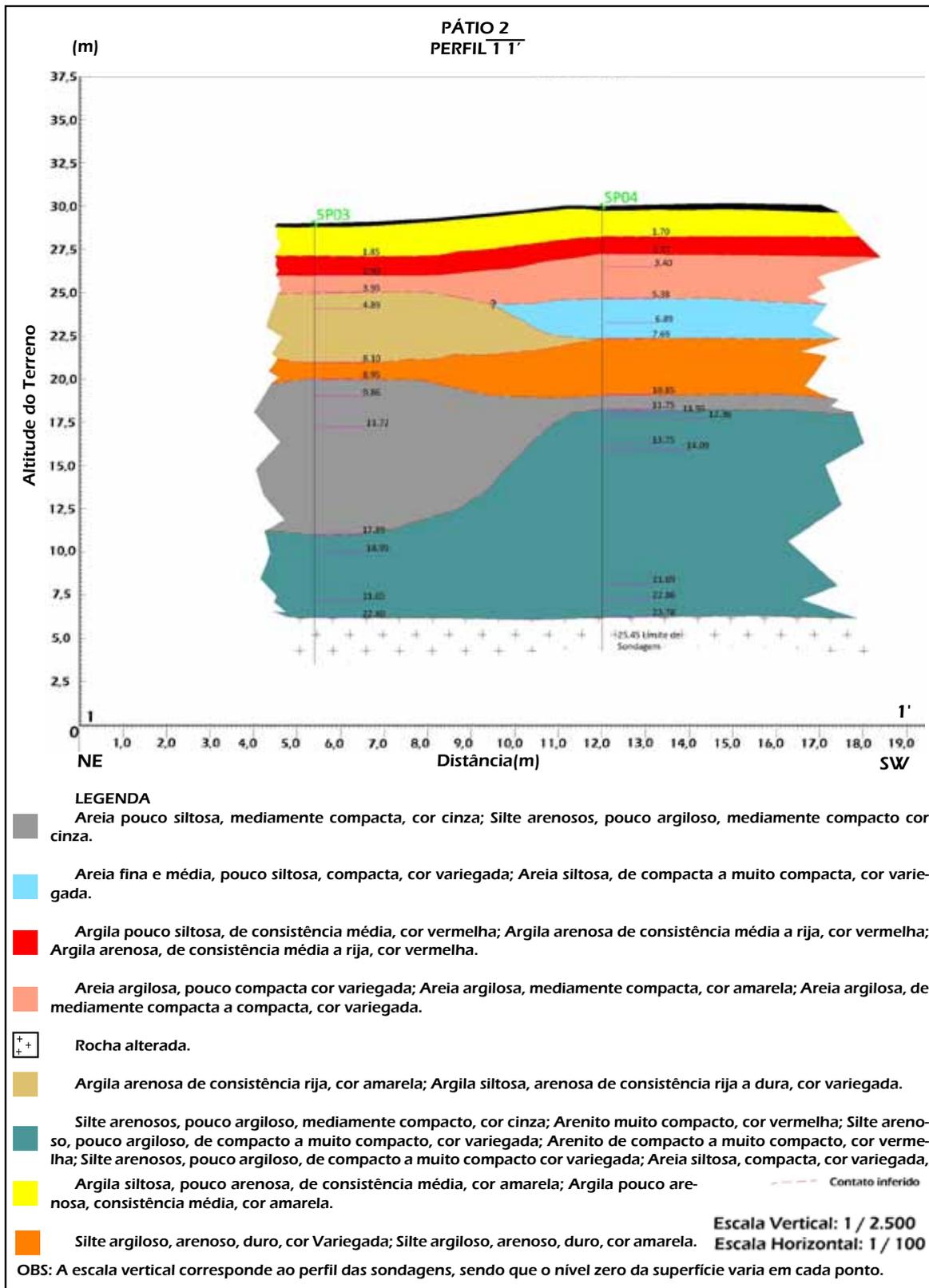


FIGURA 6 - Perfil Geológico 1-1', mostrando as continuidades e descontinuidades laterais das camadas sedimentares analisadas.

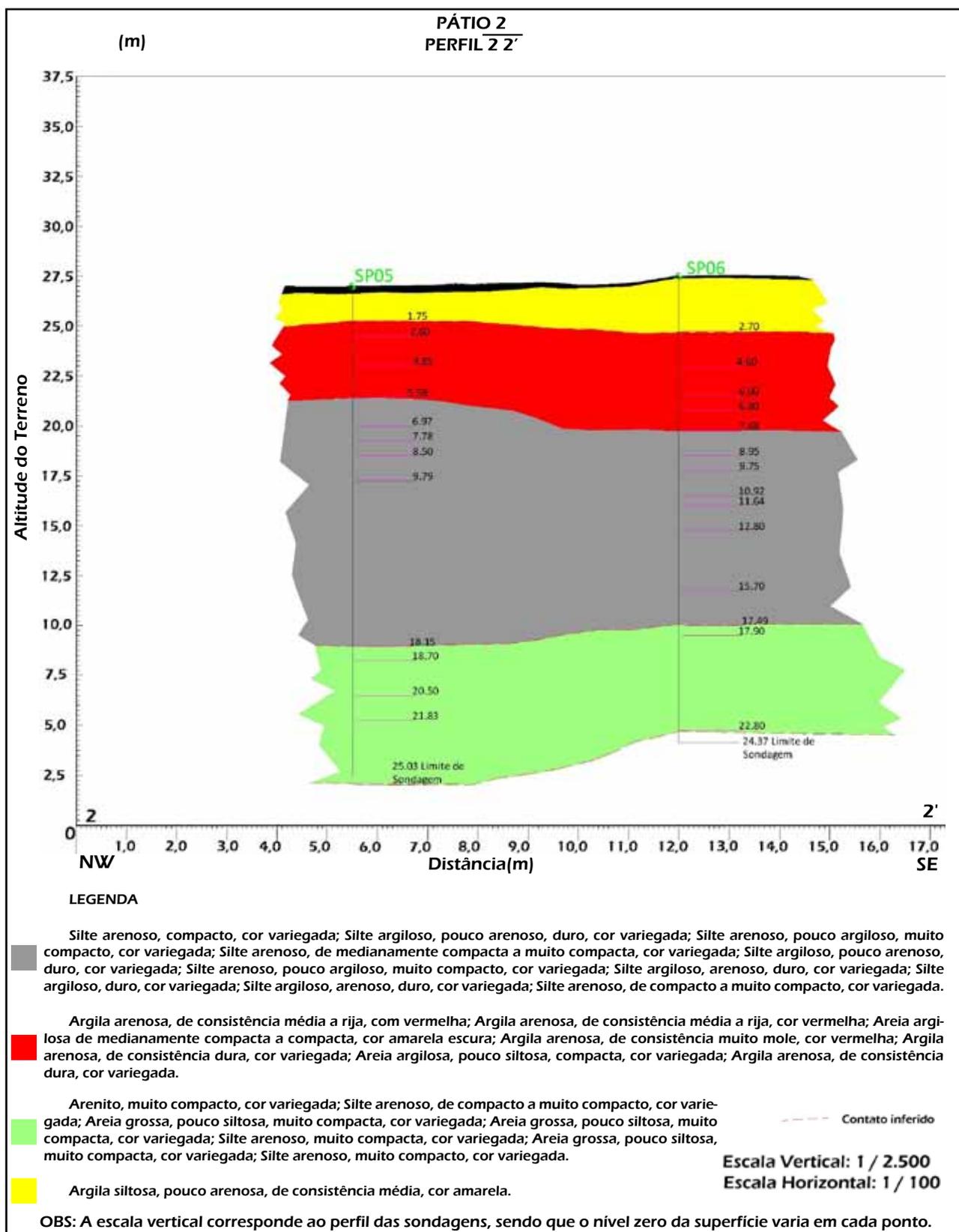


FIGURA 7 - Perfil Geológico 2-2', mostrando as continuidades e descontinuidades laterais das camadas sedimentares analisadas.

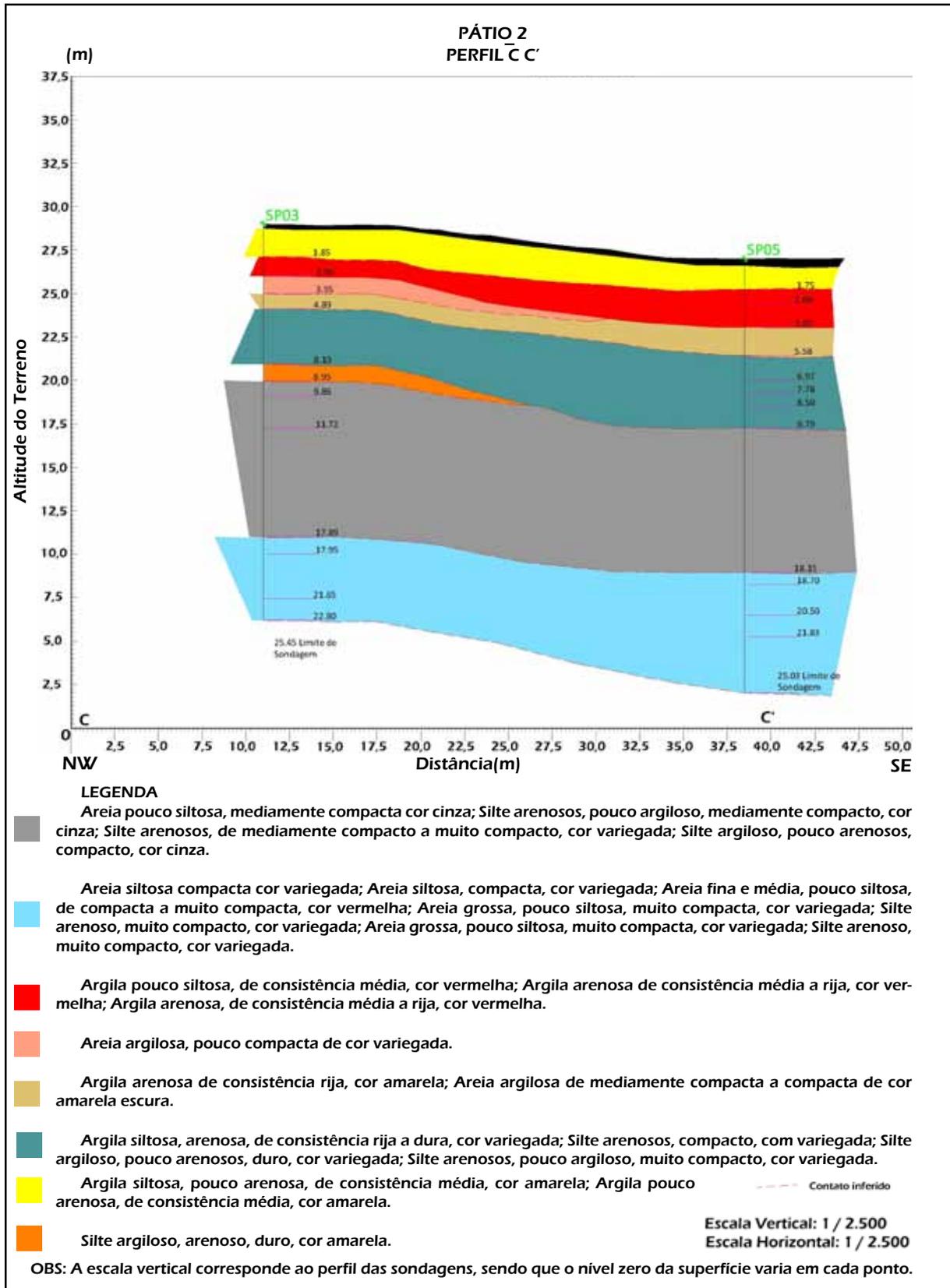


FIGURA 8 - Perfil Geológico C-C', mostrando as continuidades e descontinuidades laterais das camadas sedimentares analisadas.

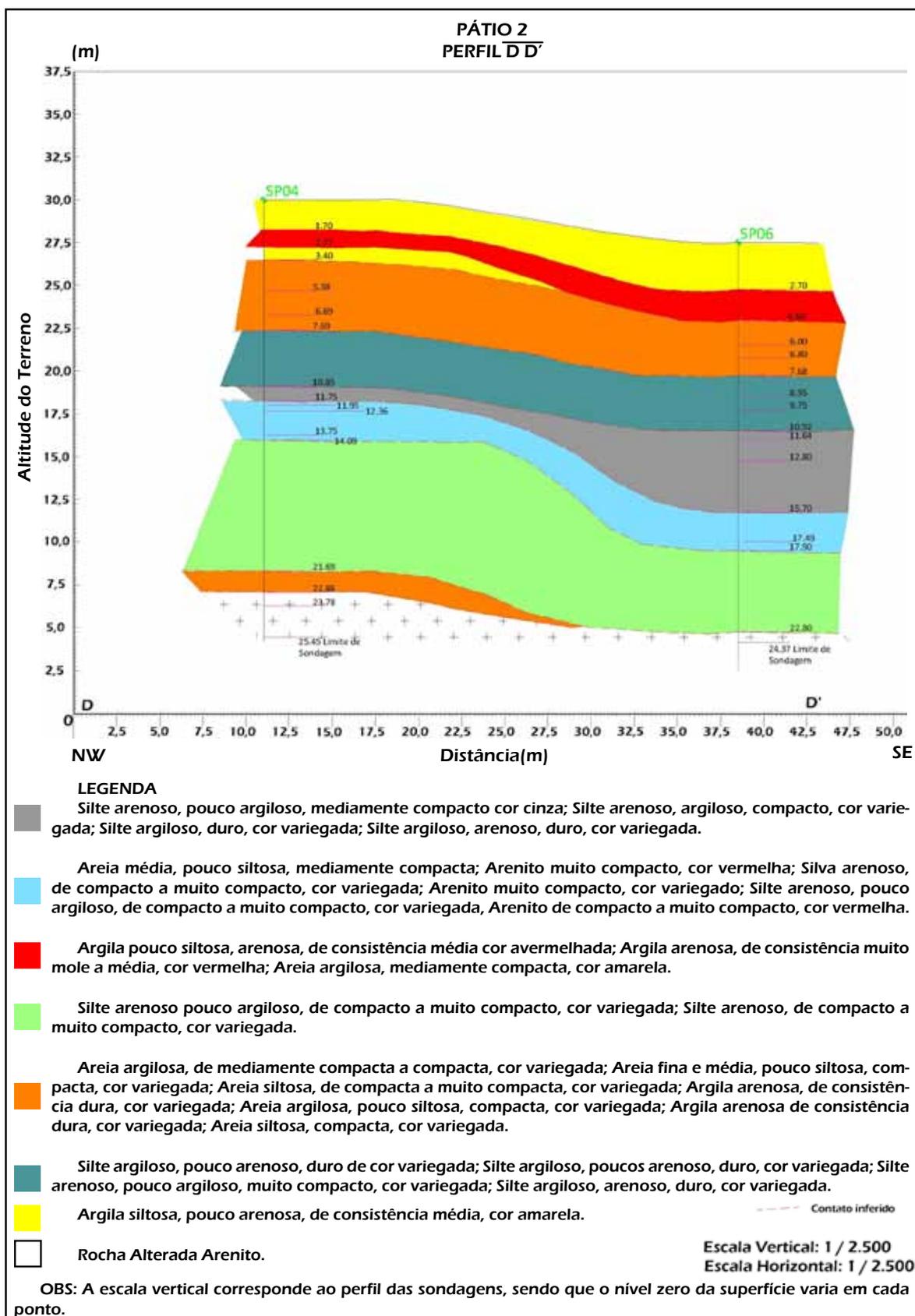


FIGURA 9 - Perfil Geológico D-D', mostrando as continuidades e descontinuidades laterais das camadas sedimentares analisadas.

Perfis paralelos ao talude

No perfil C-C' as litologias são bastante finas (argilitos predominantemente, e uma camada de arenito fino, pouco espessa) até 9m de profundidade aproximadamente (Figura 8). Abaixo desta profundidade as camadas são de arenitos médios a grossos. No perfil D-D' (Figura 9) as litologias mais finas vão desde a superfície até a profundidade de 15m aproximadamente, interrompida por uma camada de arenito a 4m de profundidade e outra a 12m de profundidade, sendo um arenito fino, areia média e areno-argilosa.

4.2 Análises laboratoriais dos ensaios das amostras coletadas

4.2.1 Granulometria

Os gráficos que representam o resultado da granulometria das amostras SP03, SP04, SP05 e SP06 (Figuras 10, 11, 12 e 13) revelam uma intensa variação de sedimentos finos (siltes e argilas) e arenosos e pedregulhos, em finos veios que ocorrem tanto longitudinalmente como transversalmente, sendo esta uma característica marcante dos sedimentos terciários da Formação Barreiras.

Os gráficos granulométricos de SP03 apresentam dominância de materiais finos (siltes e argilas)- Figura 10.

Os gráficos granulométricos de SP04 apresentam dominância de materiais finos (siltes e argilas), com exceção apenas para as amostras 4 e 24, que apresentam uma maior quantidade em Areia Média (Figura 11).

Os gráficos granulométricos de SP05 apresentam dominância de materiais finos (siltes e argilas), com exceção apenas para as amostras 4 e 23, que apresentam uma maior quantidade em Areia Média (Figura 12).

Os gráficos granulométricos de SP06 apresentam dominância de materiais finos (siltes e argilas), com exceção apenas para a amostra 23, que apresentam uma maior quantidade em Areia Média (Figura 13).

4.2.2 Compactação

Foram obtidos uma Umidade ótima de 18,6 % e Massa Específica Aparente Seca Máxima: 1,668 g/cm³ (Figura 14).

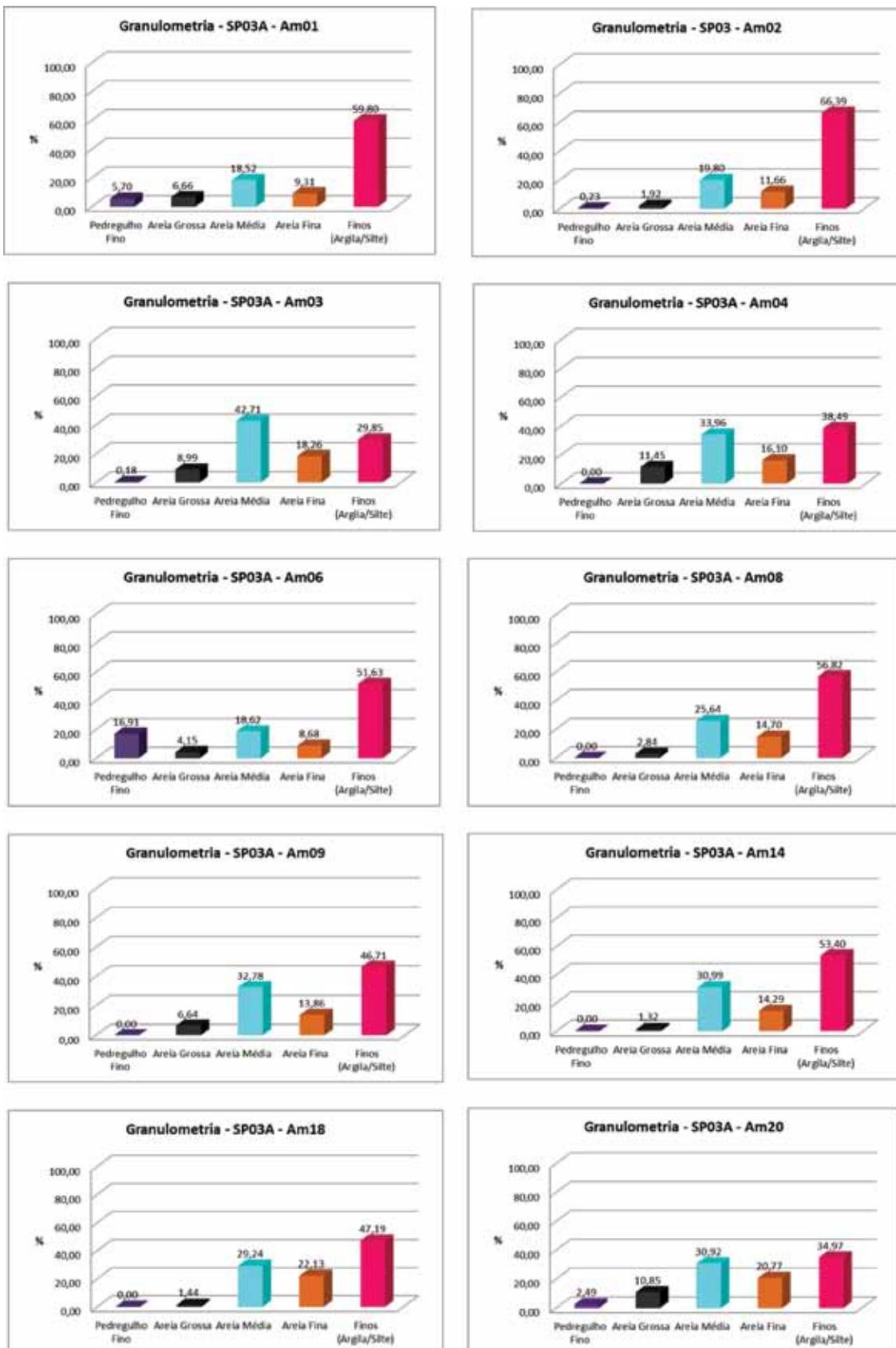


FIGURA 10 - Distribuição granulométrica do furo de sondagem SP03, em diferentes intervalos de profundidade.

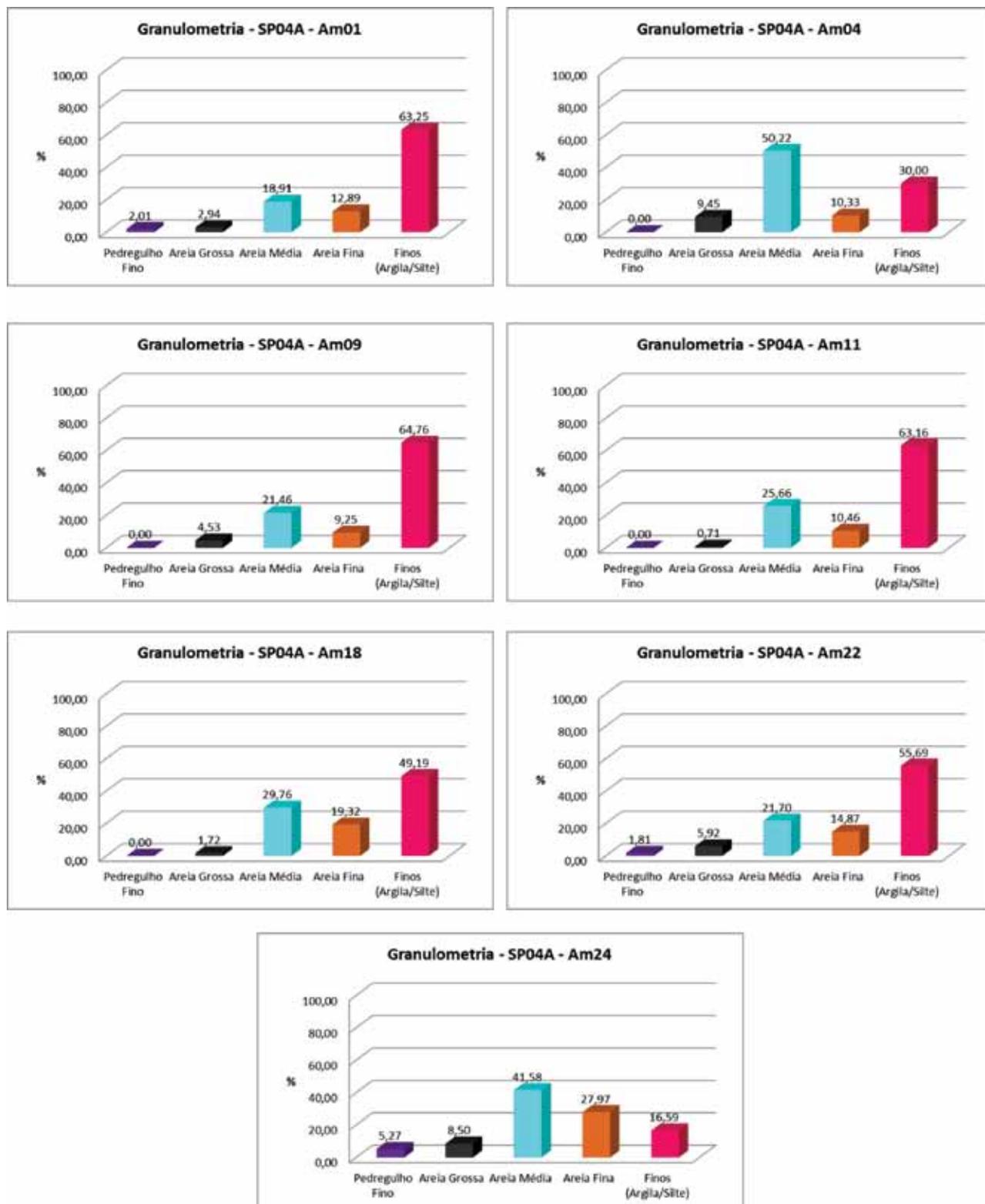


FIGURA 11 - Distribuição granulométrica do furo de sondagem SP04, em intervalos de diferentes profundidades.

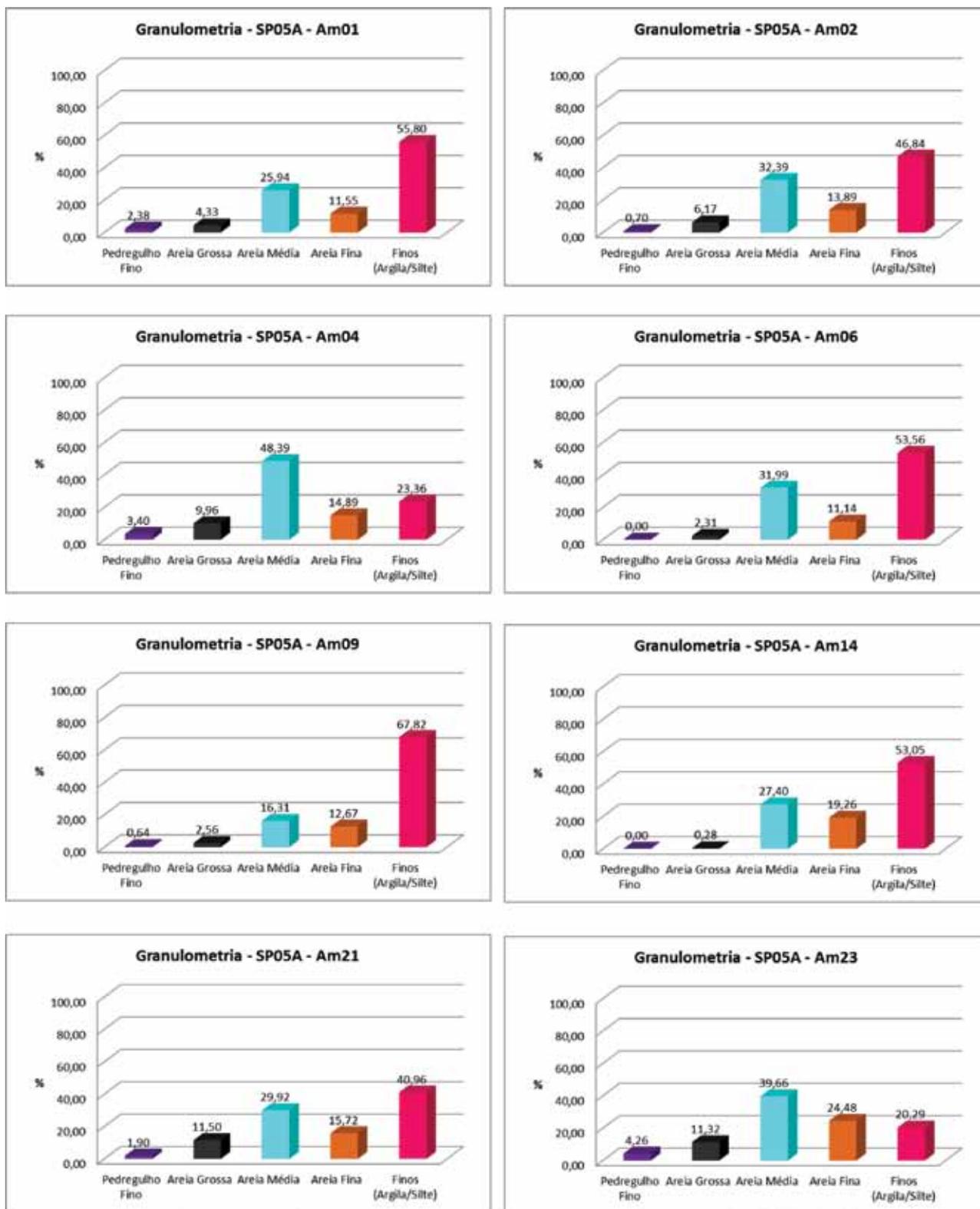


FIGURA 12 - Distribuição granulométrica do furo de sondagem SP05, em intervalos de diferentes profundidades.

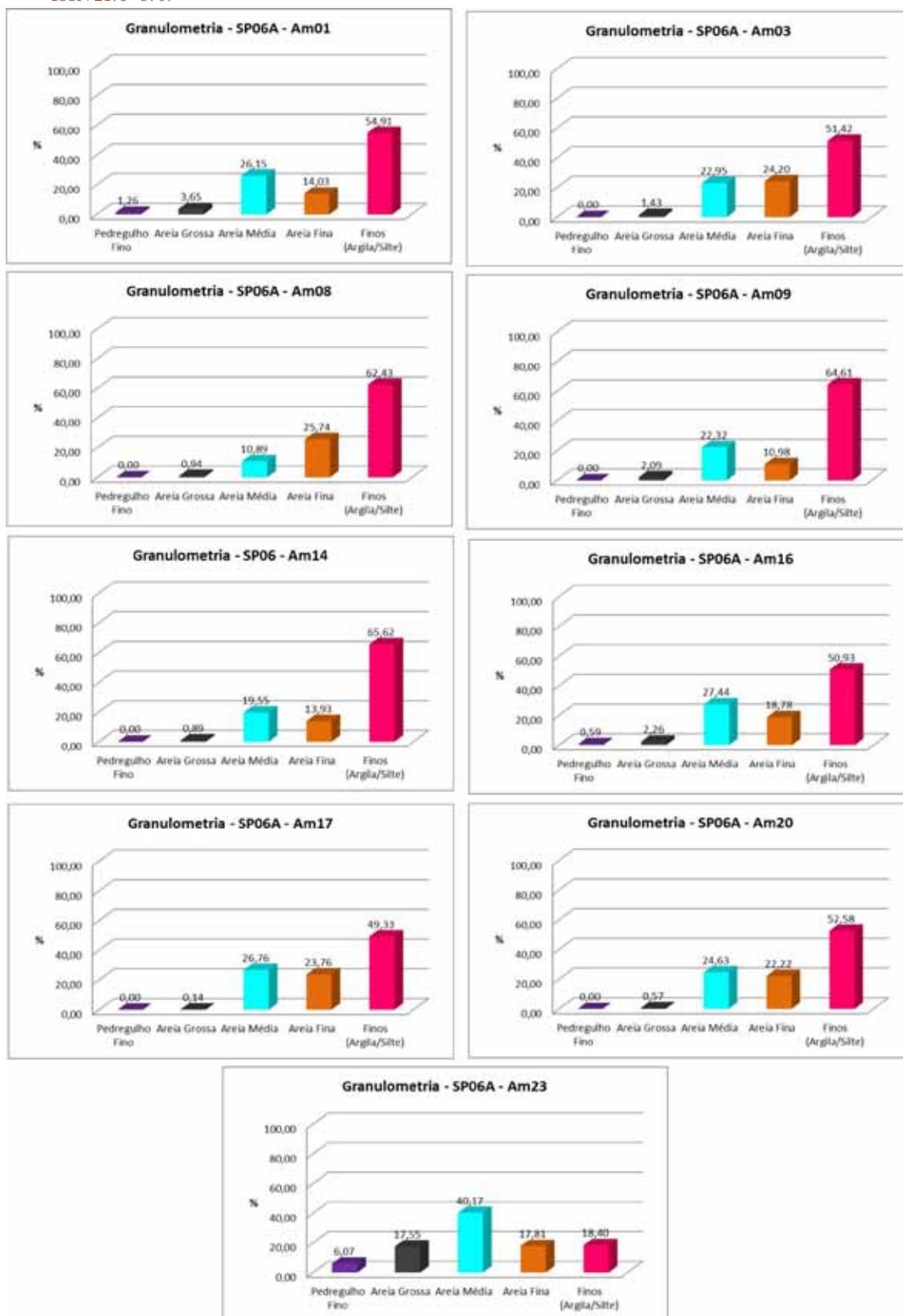


FIGURA 13 - Distribuição granulométrica do furo de sondagem SP6, em intervalos de diferentes profundidades.

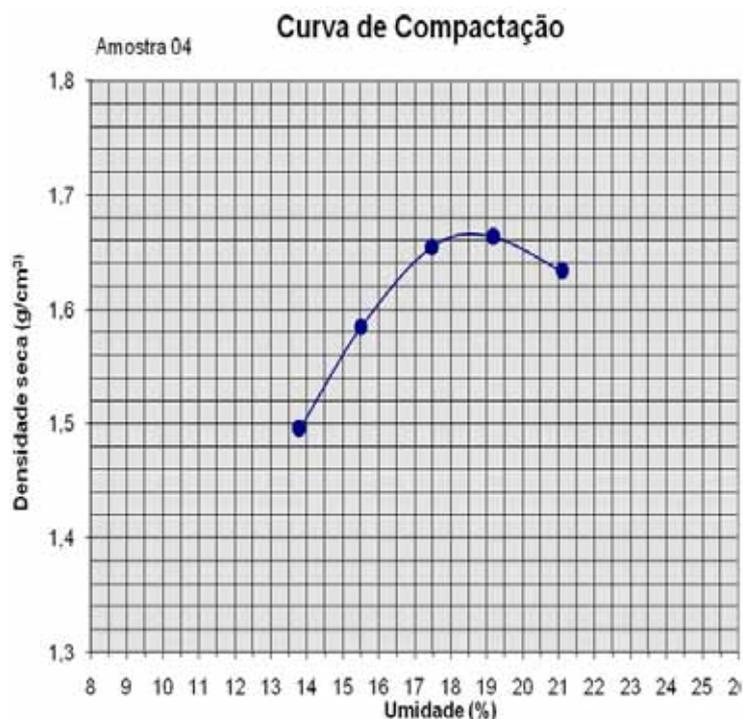


FIGURA 14 - Figura mostrando Umidade ótima e Massa Específica Aparente Seca Máxima

4.2.3 Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade

Os ensaios de Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade realizados nas amostras dos furos de sondagem SP3A a SP6A são apresentados na tabela 1, onde não estão incluídos os NP (não plástico).

Para o talude estudado foi feita uma classificação dos solos segundo o seu caráter plástico, para os furos de sondagem de SP3A a SP6A, em diferentes profundidades – analisados com os dados dos perfis geológicos apresentados. Essa classificação foi realizada segundo a figura 3 sobre o gráfico de plasticidade e encontra-se nas tabelas 1 a 5.

Para os Limites de Atterberg (LL, LP e IP) observa-se no comportamento dos solos estudados que os valores dos limites de liquidez variam de 27% a 65%. Os limites de plasticidades variam de 14% a 33% e os índices de plasticidades situa-

ram-se entre 11% a 33%. Verifica-se que a maioria das amostras são consideradas altamente plásticas, por apresentarem índices de plasticidades superiores a 15%. No entanto, as amostras SP3A, SP4A e 5A, apresentaram índice de plasticidade entre 11 -114% e, portanto, foram classificadas com média plasticidade (ABNT, 1984). Além disso, constatou-se amostras de caráter não plásticos (NP) e de caráter arenosos observados nos furos de sondagem SP3A, SP4A, SP5A e SP6A, todos localizados a uma profundidade de 23 a 24,45m.

Destaca-se ainda, que baseado nos resultados dos ensaios, foi possível verificar e comprovar a intercalação de níveis silto-argilosos e arenosos finos a grossos, pois os limites de plasticidade e índice de plasticidade, mostram uma grande variação do caráter plástico destes solos.

TABELA 1 - Ensaios de Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade realizados nas amostras dos furos de sondagem SP3A a SP6A

Furo N ^o .	Amostra N ^o .	LL (%)	LP (%)	IP (%)
SP-3 ^a	1	58	30	28
SP-3 ^a	2	65	32	33
SP-3 ^a	3	25	14	11
SP-3 ^a	4	42	24	18
SP-3 ^a	6	49	29	20
SP-3 ^a	8	52	30	22
SP-3 ^a	9	42	25	17
SP-3 ^a	14	51	30	21
SP-3 ^a	18	43	24	19
SP-3 ^a	20	32	18	14
SP-4 ^a	1	62	33	29
SP-4 ^a	4	27	16	11
SP-4 ^a	6	29	16	13
SP-4 ^a	9	61	31	30
SP-4 ^a	11	62	31	31
SP-4 ^a	18	44	24	20
SP-4 ^a	22	49	28	21
SP-5 ^a	1	51	30	21
SP-5 ^a	2	44	25	19
SP-5 ^a	6	50	27	23
SP-5 ^a	9	65	30	35
SP-5 ^a	14	49	28	21
SP-5 ^a	19	45	25	20
SP-5 ^a	21	37	23	14
SP-6 ^a	1	51	28	23
SP-6 ^a	3	47	28	19
SP-6 ^a	8	58	28	30
SP-6 ^a	9	59	28	31
SP-6 ^a	14	56	27	29
SP-6 ^a	16	46	26	20
SP-6 ^a	17	46	27	19

TABELA 2 - Classificação dos solos do perfil c-c' segundo o seu caráter plástico

Sondagem	Profund. (m)	Limite de Plastic. (LL)	Índice de Plastic (IP)	Classificação
SP3A	1- 1,45	58	28	Argilas inorgânicas de alta plasticidade
	2- 2,45	65	33	Argilas orgânicas
	3- 3,45	25	11	Argilas orgânicas de baixa plasticidade
	4-4.45	42	18	Argilas inorgânicas de mediana plasticidade
	6 -6,45	49	20	Siltos inorgânicos de mediana compressibilidade
	8-8,45	52	22	Silte inorgânico de alta compressibilidade e argilas orgânicas
	9- 9,45	42	17	Argilas inorgânicas de mediana plasticidade
	14- 14,45	51	21	Silte inorgânico de alta compressibilidade e argilas orgânicas
	18-18,45	43	19	Argilas inorgânicas de mediana plasticidade
	20-20,45	32	14	Argilas inorgânicas de baixa plasticidade
SP-5 A	1- 1,45	51	21	Argilas orgânicas
	2- 2,45	44	19	Argilas inorgânicas de mediana plasticidade
	6- 6,45	50	23	Argilas inorgânicas de mediana plasticidade
	9-9.45	65	35	Argilas inorgânicas de alta plasticidade
	14 -14,45	49	21	Silte inorgânico de alta compressibilidade

TABELA 3 - Classificação dos solos do perfil d-d' segundo o seu caráter plástico

Sondagem	Profund. (m)	Limite de Plastic. (LL)	Índice de Plastic (IP)	Classificação
SP- 4 A	1- 1,45	62	29	Argilas orgânicas
	4-4,45	27	11	Solo sem coesão
	6- 6,45	29	13	Solo sem coesão
	9 - 3,945	61	30	Silte inorgânico de alta compressibilidade
	11-11.45	62	31	Silte inorgânico de alta compressibilidade
	18-18,45	44	20	Argilas inorgânicas de mediana plasticidade
	22-22,45	49	21	Silte inorgânico de mediana compressibilidade
SP-6 A	1- 1,45	51	23	Argilas inorgânicas de alta plasticidade
	3- 3,45	47	19	Argilas inorgânicas de mediana plasticidade
	8- 8,45	58	30	Argilas inorgânicas de alta plasticidade
	9-9.45	59	31	Argilas inorgânicas de alta plasticidade
	14 -14,45	56	29	Argilas inorgânicas de alta plasticidade
	16-16,45	46	20	Argilas inorgânicas de mediana plasticidade
	17- 17,45	46	19	Siltos inorgânicos de mediana compressibilidade
	20-20,45	48	21	Siltos inorgânicos de mediana compressibilidade

TABELA 4 - Classificação dos solos do perfil 1-1' segundo o seu caráter plástico

Sondagem	Profund. (m)	Limite de Plastic. (LL)	Índice de Plastic (IP)	Classificação
SP3A	1- 1,45	58	28	Argilas inorgânicas de alta plasticidade
	2- 2,45	65	33	Argilas orgânicas
	3- 3,45	25	11	Argilas orgânicas de baixa plasticidade
	4-4,45	42	18	Argilas inorgânicas de mediana plasticidade
	6 -6,45	49	20	Siltes inorgânicos de mediana compressibilidade
	8-8,45	52	22	Silte inorgânico de alta compressibilidade e argilas orgânicas
	9- 9,45	42	17	Argilas inorgânicas de mediana plasticidade
	14- 14,45	51	21	Silte inorgânico de alta compressibilidade e argilas orgânicas
	18-18,45	43	19	Argilas inorgânicas de mediana plasticidade
	20-20,45	32	14	Argilas inorgânicas de baixa plasticidade
SP- 4 A	1- 1,45	62	29	Argilas orgânicas
	4-4,45	27	11	Solo sem coesão
	6- 6,45	29	13	Solo sem coesão
	set/45	61	30	Silte inorgânico de alta compressibilidade
	11-11,45	62	31	Silte inorgânico de alta compressibilidade
	18-18,45	44	20	Argilas inorgânicas de mediana plasticidade
	22-22,45	49	21	Silte inorgânico de mediana compressibilidade

TABELA 5 - Classificação dos solos do perfil d-d' segundo o seu caráter plástico

Sondagem	Profund. (m)	Limite de Plastic. (LL)	Índice de Plastic (IP)	Classificação
SP-5 A	1- 1,45	51	21	Argilas orgânicas
	2- 2,45	44	19	Argilas inorgânicas de mediana plasticidade
	6- 6,45	50	23	Argilas inorgânicas de mediana plasticidade
	9-9,45	65	35	Argilas inorgânicas de alta plasticidade
	14 -14,45	49	21	Silte inorgânico de alta compressibilidade
	19-19,45	45	20	Argilas inorgânicas de mediana plasticidade
	21- 21,45	37	14	Argilas inorgânicas de mediana plasticidade
SP-6 A	1- 1,45	51	23	Argilas inorgânicas de alta plasticidade
	3- 3,45	47	19	Argilas inorgânicas de mediana plasticidade
	8- 8,45	58	30	Argilas inorgânicas de alta plasticidade
	9-9,45	59	31	Argilas inorgânicas de alta plasticidade
	14 -14,45	56	29	Argilas inorgânicas de alta plasticidade
	16-16,45	46	20	Argilas inorgânicas de mediana plasticidade
	17- 17,45	46	19	Silte inorgânicos de mediana compressibilidade
	20-20,45	48	21	Silte inorgânicos de mediana compressibilidade

TABELA 5 - Classificação dos solos do perfil d-d' segundo o seu caráter plástico

Característica	Tensão normal (Kgf/cm ²)	Tensão Cisalhante (Kgf/cm ²)	Peso específico médio	Ângulo de atrito (graus)	Coesão (Kgf/cm ²)	Fator de segurança FS
silto arenosa cor variegada	1,75	1,3	1,89	27,81	0,38	0,51
areia média e fina pouco siltosa, argilosa cor cinza	1,75	1,19	1,93	32,33	0,09	0,78

5. Resultados e Discussões

5.1 Características litoestratigráficas e instabilidade do talude

Os perfis geológicos transversais e paralelos ao talude apresentam granulometria mais fina em sua porção mais superior, se contrapondo aos mais grossos em sua porção inferior. Atrelado a isso, os materiais mais finos apresentam-se geralmente com consistência média. Os materiais mais grossos (arenitos) apresentam-se mais compactados e mais duros.

Além disso, é válido ressaltar que todos os perfis geológicos apresentam 2 (dois) conjuntos litoestratigráficos marcantes, principalmente pelos aspectos granulométricos: i) um conjunto de camadas de material fino (argilito), em sua porção superior, com uma profundidade média de 4m em todos os perfis geológicos (menos espessa que o conjunto litoestratigráfico abaixo) e; ii) um conjunto de camadas de material mais grosseiro – arenitos – presentes na porção mais inferior dos perfis (em profundidades mais profundas) – mais espessa que o conjunto litoestratigráfico acima.

O início da cicatriz do deslizamento (da superfície do topo da colina que contém o talude até a base do talude) encontra-se a uma profundidade média de 2,5m no meio da cicatriz e 4,5m aproximadamente nas extremidades. Essa observação permite avaliar a relação da profundidade e espessura das camadas litoestratigráficas com o limite de ruptura do talude. Esse limite de ruptura parece coincidir com a mudança de 2 (dois) níveis litoestratigráficos marcantes: 1) Argilitos com presença ou não de finas lentes de arenitos finos, consistência média, compacto; 2) Arenitos finos a médios e siltes arenosos, muito compactos e duros.

Essa interpretação permite avaliar que mesmo que as características de compactação e consistência estejam presente nos

diferentes níveis estratigráficos, o que poderia influenciar no movimento de massa desse talude, seria a diferença marcante da granulometria e da espessura dessas 2 (duas) camadas litoestratigráficas. O primeiro nível litoestratigráfico (superior), mais argiloso, apresenta maior coesão, em função, principalmente da quantidade de argila e o segundo nível é mais arenoso, menos coeso e mais poroso, com mais interstícios para percolação da água, coincidindo com o limiar do deslizamento neste talude.

O talude estudado apresenta o tipo de movimento de massa escorregamento ou deslizamento, com velocidades médias a altas e geometria circular (Figura 5). A geometria da superfície de ruptura do talude é condicionada pela compartimentação em camadas com intercalações de granulometrias bem marcadas e por uma divisão de duas litologias principais, como descrito acima e podem ser observados nos perfis geológicos (Figuras 6,7,8 e 9).

5.2 Causas internas e externas que influenciam na estabilidade do talude: No talude estudado, apesar de não ter sido estudado com profundidade, observou-se que ocorrem:

- Características climáticas: a área encontra-se em uma zona de clima tropical úmido, com altas temperaturas e pluviosidade. A magnitude e frequência da precipitação é um fator desencadeante de movimentos de massa, principalmente, quando atreladas a fatores geológicos (litologia e estrutura), geomorfológicos (morfologias propícias a instalação da água pluvial) e pedológicos (estado de pedogenização do material).

- Características e distribuição do material que compõe o substrato do talude: o talude é formado por um perfil estratigráfico que varia sentido topo base de um material mais fino (intercalação de silte, argila e areia fina a média) que atinge uma

profundidade estimada entre 4 a 6 metros. A partir desta profundidade, apesar de ocorrer a alternância entre materiais finos e grossos, observou-se a predominância de sedimentos mais arenosos (granulometria mais grossa). Esta característica se confirma em profundidade, verificada através das investigações de sondagem SPT, variação granulometria e variação do índice de plasticidade nos perfis estratigráficos com variação no NSPT, mostrando as diferentes resistências e comportamento dos materiais.

- Características geomorfológicas: a área em estudo está inserida em uma planície aluvionar (planície de inundação) – muito comum no relevo dos Tabuleiros Costeiros da Formação Barreiras – abastecida por pequenos afluentes intermitentes e, que quando exposta a regimes pluviométricos intensos, forma uma área alagada.

- Regime de água: na parte superior deste talude foi verificada a ausência de um sistema de drenagem adequado que direcione adequadamente fluxo das águas das precipitações.

- Característica de uso e ocupação: a vegetação do talude é composta por vegetação rasteira que pode, em alguns casos, propiciar a ocorrência de movimentos de massa, uma vez que o solo não é “protegido” por vegetação de grande porte.

5.3 Identificação da superfície de Ruptura do Deslizamento

Observou-se que a parte mais superior, com profundidade de até 6m sentido topo base, apresenta uma predominância de finos (materiais argilosos) e a partir desta profundidade um pacote sedimentar com predominância mais arenosa, explicando um aumento da espessura da cicatriz nestes locais e a preservação parcial dos taludes nas partes mais superiores, onde predominam materiais finos, gerando desta forma um talude com declividade negativa.

Este talude apresenta mesmo nas porções mais finas, dominadas por materiais argilosos, um caráter geral muito mais arenoso, configurando no que se refere a resistência uma baixa estabilidade.

Além disso, observou-se que o contato destes dois pacotes sedimentares argiloso e arenoso, formou uma superfície muito mais susceptível a ruptura/deslizamento, constituindo provavelmente um plano de fraqueza, ainda intensificado pelo caráter

geotécnico local como cortes indevidos e ausência de um sistema de drenagem influenciando o processo de instabilidade do talude.

Sendo assim, a partir da análise da seção geológica e perfis geológicos, atrelados às análises de campo, percebe-se que a litoestratigrafia das rochas sedimentares (já bastante alteradas) da Formação Barreiras no talude apresenta níveis litoestratigráficos distintos, podendo dividir esse pacote de rocha sedimentar do talude em 2 (dois) níveis litoestratigráficos, principalmente pelos aspectos granulométricos: i) um conjunto de camadas de material fino (argilito), em sua porção superior; ii) um conjunto de camadas de material mais grosseiro – arenitos – presentes na porção mais inferior dos perfis – mais espessa que o conjunto litoestratigráfico acima.

5.4 Fator de segurança

Baseando-se nos conceitos de Savage et al. (2004), no talude em questão a presença do nível de água encontra-se abaixo da superfície de ruptura, pode-se adaptar a equação proposta por Savage et al (2004) para cálculo do FS, da seguinte forma: $FS = \frac{c}{\gamma h \cos \beta} + \frac{\tan \phi}{\tan \beta}$, sendo γ peso específico do solo

$$\gamma * h * \cos \beta \quad \tan \beta$$

Admitindo para o talude:

- Camada de silto arenosa cor variegada

γ médio = 1,89 g/cm³

h = 6m

β - ângulo formado pela base e o talude = 500

$\phi = 27,810$

C = 0,38 Kgf/cm²

FS = 0,51

- Camada de areia média e fina pouco silto, argilosa cor cinza

γ médio = 1,936 g/cm³

h = 10m

β - ângulo formado pela base e o talude = 500

$\phi = 32,330$

C = 0,09 Kgf/cm²

FS = 0,73

A tabela 8 apresenta os fatores de segurança determinísticos e as respectivas condições de estabilidade do talude.

TABELA 8 - fatores de segurança determinísticos e as respectivas condições de estabilidade do talude.

COEFICIENTE DE SEGURANÇA (FS)	CONDIÇÃO DO TALUDE
FS<1	Talude instável, caso o talude seja implantado nestas condições, deverá sofrer ruptura
FS= 1	Condição limite de instabilidade associada a iminência de ruptura; também condição adotada geralmente nos casos de retroanálise
FS>1 (pouco maior)	Condição estável; quanto mais próximo de 1 for o FS, mais precária e frágil será a estabilidade do talude
FS>>1 (muito maior)	Condição estável quanto maior o FS menores serão possibilidades do talude vir a sofrer rupturas quando submetido a condições críticas

Fonte:SLOPE/W

De acordo com a ABNT (1991), que estipula coeficiente de segurança de acordo com fator de segurança local, o talude em estudo enquadra-se no grau de taludes instáveis.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No talude, foram identificados dois níveis estratigráficos distintos, sendo o mais superior mais estável e o inferior apresentando uma maior instabilidade, mesmo com a superfície de ruptura, que representa o contato litológico destes dois pacotes sendo bem marcados. São eles: 1) pacote sedimentar de camadas intercaladas de argilitos e arenitos com presença, localizado na parte superior do talude (Pacote 1 com profundidade de 4 a 6m); 2) pacote sedimentar com intercalação de argilas e areia, com predominância de areia, localizado na parte inferior do talude (Pacote 2. A partir de 6 m de profundidade).

As características geotécnicas/geológicas deste talude apresentam, mesmo nas

porções com dominância de material mais fino, dominadas por materiais argilosos, um caráter geral muito mais arenoso, configurando no que se refere a resistência deste, uma baixa estabilidade.

Observou-se que o contato destes dois pacotes sedimentar argiloso e arenoso, formou uma superfície muito mais susceptível a ruptura/deslizamento.

Ambos os pacotes apresentam-se instáveis, com fatores de segurança muito abaixo de 1, sendo que o comportamento geral deste talude é de instabilidade, prolongando-se em profundidade, ou seja, ortogonalmente.

A instabilidade local foi promovida pela ocorrência de vários fatores, destacando-se que o contato destes dois pacotes sedimentar argiloso e arenoso, formou uma superfície muito mais susceptível a ruptura/deslizamento, além de serem considerados os fatores como características climáticas, características e distribuição do material que compõe o substrato do talude, características geomorfológicas, regime de água e característica de uso e ocupação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADRIANO, P.R.R. **Análise Tridimensional de Estabilidade de Talude utilizando o Método de Equilíbrio Limite Aperfeiçoado**. 2009. 157f. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Geotecnia e Construção Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiás, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7180**: Determinação do Limite de Plasticidade. Rio de Janeiro, 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7181**: Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7182**: Solo – Ensaio de Compactação. Rio de Janeiro, 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR**

- 6459:** Determinação do Limite de Liquidez. Rio de Janeiro, 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 11.682:** Estabilidade de encostas. Rio de Janeiro, 1991.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6484:** Solo- Sondagem à Percussão Standard Penetration Test (SPT). Rio de Janeiro, 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6122:**– Determinação de Ensaio de Cisalhamento. Rio de Janeiro, 2010.
- AUGUSTO FILHO, O. Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 1992, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: ABMS/ABGE/PCRJ. V.2, p. 691-704. 1992. CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos Solos e Suas Aplicações**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1975.
- CARVALHO, C. S.; GALVÃO, T. **Prevenção de riscos de deslizamentos em encostas: guia para elaboração de políticas municipais**. Brasília: Ministério das Cidades, 2006. p. 1-113. Disponível em: <http://www.defesacivil.gov.br/publicacoes/outrosautores/prevencao.asp>.
- FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P. **Movimentos de Massa:** Uma abordagem geológico-geomorfológico. In: _____ GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia e meio ambiente**. 3.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2000.
- FOSTER, A. Geotechnical measurements to characterise slope sediments and to identify landslide mechanisms and their impact on ecosystems. 2011.156f. Tese de Doutorado. Faculty of Geosciences of Bremen University. Bremen, 2011.
- GATTO, L.C.S; RAMOS, V.L.S; NUNES, B.T.A; MAMEDE, L; GÓES, M.H; MAURO, C.A; ALVARENGA, S.M; FRANCO, E.M.S; QUIRICO, A.F; NEVES, L.B. Geomorfologia. **Projeto Radam Brasil**. Folhas 23/24 Rio de Janeiro/Vitória .V 32. Rio de Janeiro, 1983.
- GUERRA, A. J. T.; O. Mapping hazard risk - A case study of Ubatuba, Brazil. **Geography Review**, v. 22, p. 11-13, 2009.
- GUIDICINI, G; NIEBLE, C. M. Sistemática de Classificação. In _____. **Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação**. São Paulo: Edgard Blücher, 1984. Cap. 01, p. 01-49.
- HUTCHINSON, J. N. Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hidrogeology. General report. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON LANDSLIDES, 5, 1988, Lausanne. Anais... Lausanne, v.1, p3-35.1988.
- INSTITUTO de Pesquisa Tecnológica (IPT). **Material de Treinamento de Técnicos Municipais para Mapeamento e Gerenciamento de Áreas Urbanas com Risco de Escorregamentos, Enchentes e Inundações**. Brasília: Ministério das Cidades, 2004. Disponível em: <www.defesacivil.es.gov.br/files/meta/9c79332b-f0d2-4891-8f9c-b26d981b2258/fa075701-12d2-400a-b6a7-0f086b468199/91.pdf>
- LAIRD, J. R. The Current State of Engineering Geology, Slope Stability and Harvest Units Plans. In: THE INTERNATIONAL MOUNTAIN LOGGING AND 110 PACIFIC SKYLINE SYMPOSIUM, 2001, Seattle (USA). **Anais...** Seattle. Disponível em: <<http://depts.washington.edu/sky2001/proceedings/papers/Laird.pdf>>. Acesso em 4 de fev.2004.
- MACHADO FILHO, L.M; RIBEIRO, M.W; GONZALEZ, S.R; SCHENINI, C.A; NETO, A.S; PALMEIRA, R.C.B; PIRES, J.L; TEIXEIRA, W; CASTRO, H.E.F. Geologia. **Projeto Radam Brasil**. Folhas 23/24 Rio de Janeiro/Vitória.V 32. Rio de Janeiro, 1983.
- MORAIS, R.M.O. **Sistemas fluviais terciários na área emersa da bacia do Espírito Santo (Formações Rio Doce e Barreiras)**. 2007.139f. Tese (Doutorado em Geologia) – Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.
- SAVAGE, W. Z., GODT J. W. e BAUM, R. L. Modeling Time-dependent Slope Stability. In: 9th INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON LANDSLIDES: LANDSLIDES: EVALUATION AND STABILIZATION, 2004, Rio

de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, vol. 1, p. 23 – 36.

SILVA, R.M.J; LIMA, C.I.M; VERONESE, V.F; JUNIOR, R.N.R; ROCHA, M.R; JUNIOR, S.O. Geologia. **Projeto Radam Brasil**. Folhas se 24 Rio Doce, v.34. Rio de Janeiro, 1987.

TSUTSUMI, Mitsuo. TRN018 - **Mecânica dos Solos I. Net**. Juiz de Fora, jul. 2008. Disponível em: <<http://www.geotecnia.uuff.br.pdf>>. Acesso em: 20 mar. 2009.

VARNES, D. J. Slope movements, types and processes. In Landslides and Engineering Practice. E. B. Eckel (ed). Special Report n° 29, **Highway Research Board**, p.20-47. 1978.