

**CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA DE UM PERFIL DE ALTERAÇÃO DE GNAISSES DO COMPLEXO PARAÍBA DO SUL EM UM CORTE DA RODOVIA ES-181, ALEGRE-ES**

Rafael das Neves Coli<sup>1</sup>; Marcos Eduardo Hartwig<sup>2</sup>; Patrício José Moreira Pires<sup>3</sup>

**Resumo** – Os paragneisses neoproterozoicos do Complexo Paraíba do Sul cobrem uma considerável porção do sul do estado do Espírito Santo. Estas rochas estão comumente recobertas por solos de alteração de dezenas de metros de espessura. Muitos empreendimentos civis de infraestrutura foram e estão sendo desenvolvidos sobre estes solos. Em muitos locais, se observa escorregamentos de taludes e encostas naturais de grandes proporções envolvendo estes materiais. Contudo, estudos sobre suas características geológico-geotécnicas ainda são bastante escassos. Neste sentido, o presente estudo teve como objetivo descrever e caracterizar um talude de corte escavado em produtos de alteração de gnaisses do Complexo Paraíba do Sul, localizado no km 80 da rodovia ES-181, que liga o município de Alegre ao distrito de Café. Os resultados revelaram a existência de três horizontes de solo com comportamentos distintos, denominados da base para o topo como: i) solo de alteração; ii) solo de transição; e iii) solo eluvial. Os ensaios geotécnicos revelaram que os solos de alteração e de transição são classificados como areia siltosa micácea. O solo de transição apresenta maior peso específico, limites de plasticidade e de liquidez e índice de plasticidade. Já o solo de alteração apresenta maior permeabilidade, porosidade e índice de vazios. Segundo a classificação geotécnica de solos da AASHTO, o solo de alteração é classificado como excelente a bom para fins de pavimentação rodoviária. Com relação aos ensaios de resistência, os solos de alteração e de transição apresentam coesão e ângulo de atrito similares entre si e com os descritos na literatura.

**Abstract** – The Neoproterozoic paragneiss of the Paraíba do Sul Complex cover a large proportion of the southern region of the Espírito Santo State. These rocks are commonly overlaid by soils with dozens of meters in thickness. A great number of infrastructure projects have been developed over these geological materials. In many sites, large landslides involving such materials are observed. However, geological and geotechnical studies about them are still very scarce. In that sense, the present study aims to describe and characterize a slope excavated in soils developed from gneisses of the Paraíba do Sul Complex. The study area is located at the km 80 of the highway ES-181 that connects the Café district with Alegre city. The results revealed the existence of three soil horizons with different behaviors, named from bottom to top as: i) chemical alteration soil; ii) transition soil; and iii) eluvial soil. The geotechnical tests revealed that the alteration and transition soils are classified as micaceous silty sand. The transition soil has greater unit weight, plasticity and liquidity limits and plasticity index. The alteration soil, on the other hand, presents greater permeability, porosity and void ratio. According to the AASHTO soil classification, the chemical alteration soil is classified as excellent to good for road paving purposes. Regarding the resistance tests, the alteration and transition soils present cohesion and friction angle similar to each other and with those described in the literature.

**Palavras-Chave** – Complexo Paraíba do Sul, município de Alegre, ensaios geotécnicos, solo residual, descrição geológico-geotécnica.

<sup>1</sup> Graduando em Geologia, Universidade Federal do Espírito Santo. (28) 99972-6830, [nevescoli@gmail.com](mailto:nevescoli@gmail.com).

<sup>2</sup> Geólogo, Universidade Federal do Espírito Santo. (11) 99515-1814, [marcoshartwig@gmail.com](mailto:marcoshartwig@gmail.com).

<sup>3</sup> Engenheiro Civil, Universidade Federal do Espírito Santo. (27) 98111-8881. [patricio.pires@gmail.com](mailto:patricio.pires@gmail.com).

## **1. INTRODUÇÃO**

Os paragneisses neoproterozoicos do Complexo Paraíba do Sul cobrem uma considerável porção do sul do estado do Espírito Santo e possuem orientação aproximadamente N-S (Vieira, 1997). Estas rochas estão comumente recobertas por solos de alteração de dezenas de metros de espessura. Muitos empreendimentos civis de infraestrutura, como rodovias e ferrovias, foram e estão sendo desenvolvidos sobre os solos de alteração destes paragneisses. Em muitos locais, se observam escorregamentos de taludes e encostas naturais de grandes proporções envolvendo estes materiais. Contudo, são bastante escassos na literatura estudos sobre suas características geológico-geotécnicas na região sul do estado. Estes estudos se justificam, pois permitem conhecer as características físicas e mecânicas do solo e prever seu comportamento. Estas informações são muito utilizadas em análises de estabilidade de taludes, na definição de métodos de estabilização e em classificações geotécnicas do perfil de alteração.

Os estudos geológico-geotécnicos de perfis de alteração em obras rodoviárias e ferroviárias se baseiam na descrição e classificação tátil-visual do perfil como visto em campo, na descrição de furos de sondagem à percussão e na realização de ensaios geotécnicos de cada horizonte de solo. Estes estudos visam avaliar as condições de estabilidade dos taludes e a possibilidade de utilização do solo escavado como material de fundação (Pastore e Fontes, 1998; DER, 1991).

Existem vários sistemas de classificação de solos. As classificações geológicas, ou genéticas, estão baseadas principalmente nas características mineralógicas e tátil-visuais dos horizontes de solo (Vaz, 1996). Elas servem como guia para a identificação dos horizontes de solo e para a coleta de amostras para a realização de ensaios geotécnicos. As classificações geotécnicas de solo, como o Sistema Unificado de Classificação de Solos – SUCS e a Associação Americana de Rodovias Estaduais e Autoridades de Transporte – AASHTO, baseiam-se principalmente em ensaios granulométricos e de consistência e estão voltadas para a caracterização do solo como material de fundação rodoviária.

### **1.1. Objetivos**

Do exposto, o presente trabalho objetivou: (a) realizar uma descrição geológico-geotécnica de campo do perfil de alteração a partir da classificação de Vaz (1996); (b) caracterizar os horizontes de solo a partir de ensaios geotécnicos de laboratório a partir da coleta de amostras deformadas e indeformadas; e (c) classificar os horizontes de solo a partir das classificações geotécnicas SUCS e AASHTO.

## **2. ÁREA DE ESTUDO**

### **2.1. Aspectos gerais**

A área de estudo localiza-se no km 80 da rodovia ES-181, que liga o município de Alegre ao distrito de Café, onde ocorre um talude de corte de grande altura, escavado em solo de alteração de rochas do Complexo Paraíba do Sul (Figura 1). O talude estudado possui 292 m de extensão, 55 m de altura e orientação aproximadamente N-S. É composto por oito bancadas, que possuem altura entre 3-9 m e ângulo das faces por volta de 50-55 graus (1,5v:1,0h).

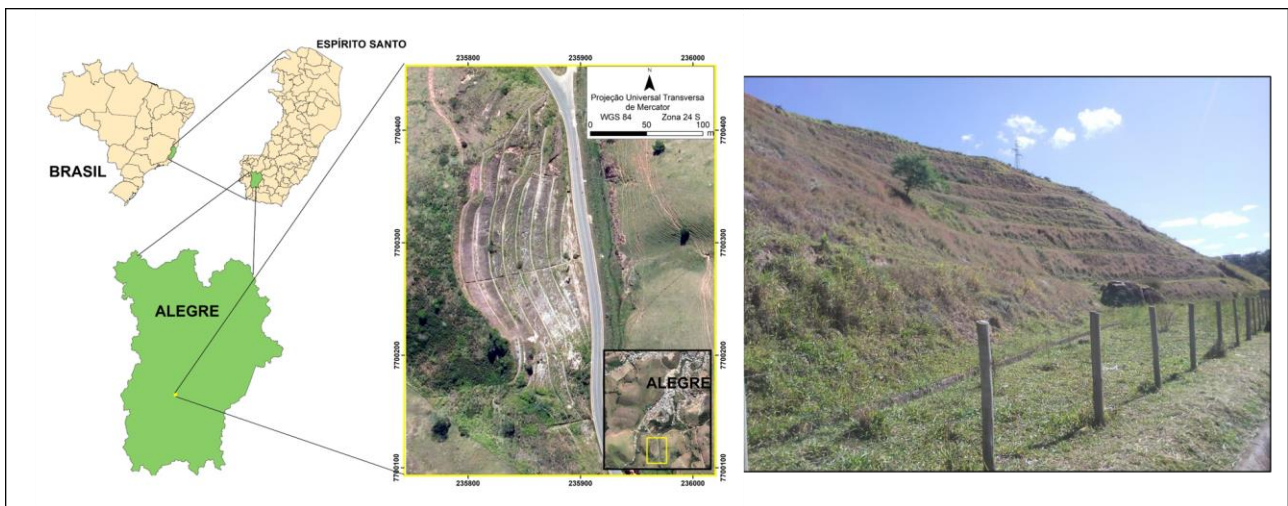


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo e vista geral para N do talude estudado.

## 2.2. Aspectos geológicos e estruturais regionais

A área de estudo encontra-se em meio aos paragneisses neoproterozoicos do Complexo Paraíba do Sul. Vieira (1997) divide as rochas deste complexo em nove unidades, sendo estas agrupadas em domínio metassedimentar (ps1 a ps5) e domínio metavulcano-sedimentar (ps6 a ps9).

O talude estudado está inserido na unidade ps9, que consiste de anfibólio-biotita gnaisses, gnaisses graníticos e granatíferos, que apresentam lentes subordinadas de quartzito xistoso e níveis de anfibolitos e de calcissilicáticas. Os anfibólio-biotita gnaisses possuem coloração cinza, granulação média, geralmente porfiroblásticos com laminação centimétrica a subcentimétrica, proporcionada por bandas félsicas quartzo-feldspáticas mais grosseiras. Também ocorrem porfiroblastos e porfiroclastos de K-feldspatos xenomórficos, disseminados e orientados perpendicularmente à foliação da rocha. Quando abundantes, sua distribuição homogênea confere à rocha aspecto de gnaiss granítico. Nos gnaisses granatíferos os porfiroblastos de K-feldspatos estão ausentes ou esparsos, sua textura é granolepidoblástica, sendo composta essencialmente por quartzo, plagioclásio, microclina e biotita. Esses gnaisses apresentam planos de foliação de direção majoritariamente NNE-SSW e mergulhos que variam entre 75 a 15°.

## 3. METODOLOGIA

A metodologia adotada está dividida em duas etapas. Na primeira delas, procedeu-se com a descrição e classificação geológico-geotécnica do perfil de alteração com base no trabalho de Vaz (1996). A partir da descrição de campo, definiu-se dois pontos de coleta de blocos cúbicos indeformados (30x30x30 cm) e um ponto de coleta de amostra deformada ao longo do perfil de alteração. Os ensaios geotécnicos de laboratório foram realizados no Laboratório de Geotecnia e Pavimentação do Departamento de Engenharia Civil da UFES, campus Vitória. Os seguintes ensaios geotécnicos foram realizados: granulometria, índices físicos, permeabilidade, limites de consistência e cisalhamento direto. Os ensaios de cisalhamento direto foram realizados a partir de amostras com orientação oblíqua à foliação metamórfica e sob condição inundada. As medidas estruturais indicadas no próximo item possuem notação *dip direction/dip*.

Para a determinação dos parâmetros geométricos do talude investigado foi realizado um sobrevoo com o drone modelo Phantom 4 Standard (DJI) e as imagens obtidas foram processadas no *software* computacional WebODM.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Descrição de campo do perfil de alteração

A Figura 2 apresenta uma seção geológico-geotécnica esquemática do talude investigado. O talude está constituído por três tipos de solo: a) solo de alteração (ou solo saprolítico); b) solo de transição; e c) solo eluvial (ou laterítico) superficial. A rocha aflorante está constituída de biotita gnaiss milonítico.

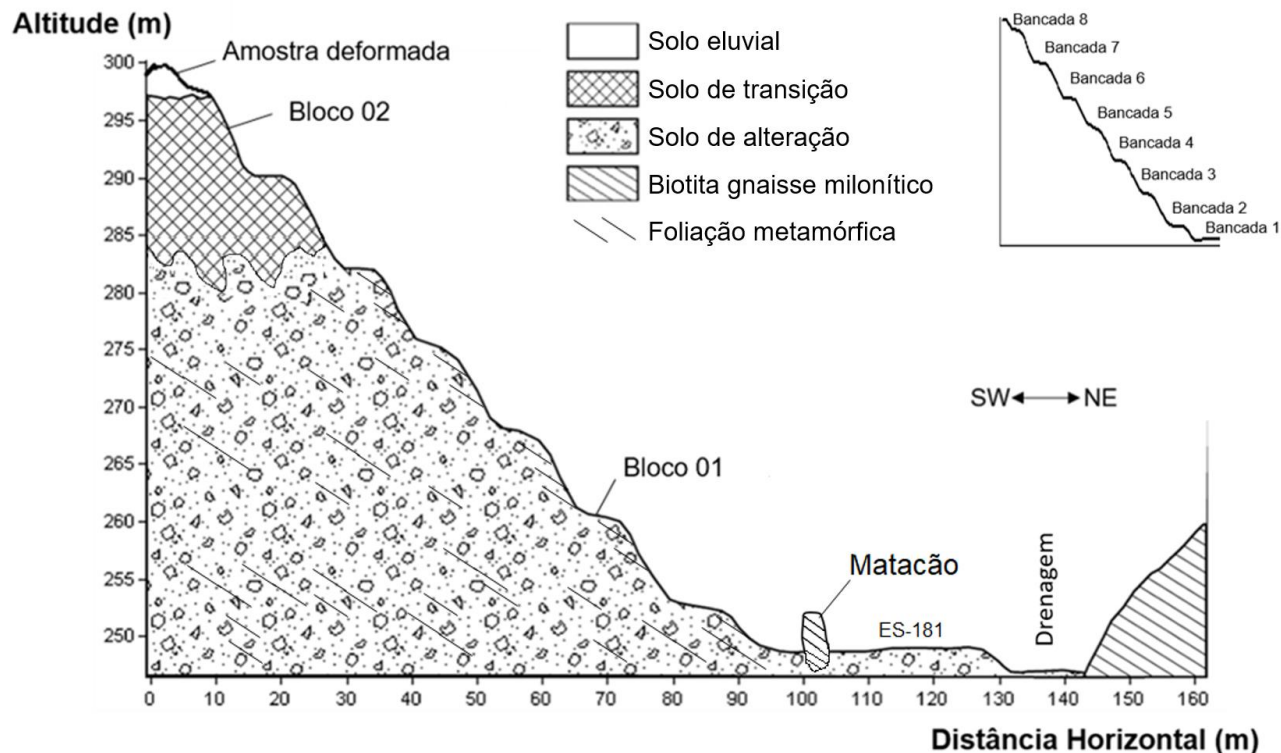


Figura 2. Seção esquemática do perfil de alteração do talude estudado, com indicação dos pontos de coleta das amostras.

O solo de alteração ocorre da bancada 1 a 5 e possui aproximadamente 35 m de espessura. Este solo é facilmente desagregável e apresenta claras feições herdadas da rocha mãe, como mineralogia e estruturas (Figura 3). A foliação metamórfica apresenta atitudes  $130^{\circ}/60^{\circ}$  a  $120^{\circ}/56^{\circ}$ . Este solo possui cor cinza-esbranquiçada com porções amarronzadas de textura argilosa, relacionadas as bandas máficas do gnaiss. O solo contém grãos grossos de K-feldspato e quartzo. Os feldspatos estão caulinizados, o que confere a cor branca ao solo. Matacões parcialmente alterados entre 1 a 4 m são observados nas primeiras bancadas. O solo da terceira para a quinta bancada apresenta granodecrescência ascendente. Na quinta bancada, já não se observa mais grãos grossos de K-feldspato e quartzo, tampouco matacões. As foliações metamórficas possuem atitudes  $125^{\circ}/51^{\circ}$ ,  $118^{\circ}/53^{\circ}$  e  $120^{\circ}/58^{\circ}$ .

O solo de transição ocorre nas bancadas 6 e 7 e possui aproximadamente 17 m de espessura. Este solo possui coloração mais avermelhada, sendo ainda possível observar os traços da foliação (Figura 3). As foliações metamórficas possuem atitude  $120^{\circ}/65^{\circ}$  e  $120^{\circ}/60^{\circ}$ . A granulometria é mais fina, predominando silte e areia fina. Este horizonte se distingue do horizonte subjacente devido a sua cor mais avermelhada e sua textura mais fina.

O solo eluvial ocorre na bancada 8 e possui aproximadamente 3 m de espessura. É um solo homogêneo, de coloração marrom avermelhada e granulometria fina, com predomínio de silte e

argila (Figura 3). Mineralogicamente é composto apenas por minerais de alteração, não sendo possível observar minerais da rocha-mãe. As estruturas reliquiárias estão ausentes. Este solo é menos desagregável (mais coeso) que os solos dos horizontes subjacentes.



Figura 3. Ilustrações de detalhe dos horizontes de solo: (a) solo de alteração (bancada 5); (b) solo de transição (bancada 7); e (c) solo eluvial (bancada 8).

## 4.2 Ensaios Geotécnicos

A Figura 6 mostra as curvas de distribuição granulométrica e os coeficientes de uniformidade (Cu) e curvatura para os solos de alteração e de transição. As curvas granulométricas mostram solos bem graduados, pois abrangem uma ampla faixa de granulometria. De acordo com os valores de coeficiente de uniformidade, ambos os solos podem ser classificados como desuniformes. Considerando as frações granulométricas principal e secundária de cada horizonte, ambos são classificados como areia siltosa.

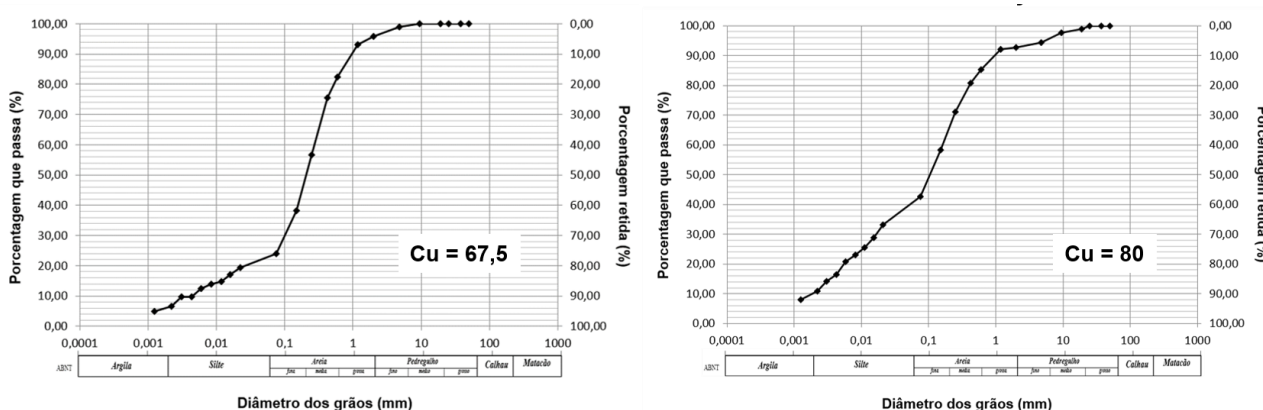


Figura 6. Curvas de distribuição granulométrica e coeficientes de uniformidade (Cu) para os solos de alteração (à esquerda) e de transição (à direita).

A Tabela 1 sintetiza os resultados dos ensaios de índices físicos, permeabilidade e limites de consistência.

Os valores do peso específico seco para o solo de alteração e o solo de transição, condizem com as faixas de valores previstas por Das (2008) para solos granulares de textura areia siltosa. Os valores de massa específica de ambos os solos foram superiores aqueles previstos por Bowles (1986) para solos de textura areia siltosa, mas estão inseridos na faixa prevista para solos com mica. Portanto, o alto volume de micas nestes solos parece exercer influência no valor da massa específica. Observando os valores de massa específica para os solos apresentados por Bowles (1986), nota-se que os solos mais finos, tendem a ter uma massa específica maior que aqueles de granulometria mais grossa. No entanto, mesmo o solo de transição tendo o dobro da quantidade de silte do solo de alteração, a sua massa específica foi inferior à do solo de alteração. Isto provavelmente é devido a maior proporção de minerais micáceos no solo de alteração em comparação ao solo de transição. O índice de vazios de ambos os solos se enquadra na faixa de 0,4 a 1 para areias siltosas segundo Das (2008). De acordo com IAEG (1979), o índice de vazios do solo de alteração é considerado alto (0,8 a 1), enquanto o índice de vazios do solo de transição é considerado médio (0,55 a 0,8). De acordo com IAEG (1979), o solo de transição é classificado como um solo de alta porosidade (0,45 a 50), enquanto o solo de alteração um solo de porosidade média (0,35 a 0,45). Apesar da grande diferença no grau de saturação entre os solos estudados, ambos são classificados como naturalmente secos (IAEG, 1979). Conforme Leal (2013), solos com menor grau de saturação apresentam capacidade de absorção de água maior. Neste sentido, o solo de alteração parece possuir maior capacidade de absorção de água que o solo de transição.

Os ensaios de permeabilidade obtidos a partir de amostras dos horizontes de alteração e de transição mostram diferenças significativas. A média dos resultados dos ensaios de permeabilidade dos corpos de prova destes solos, resultou, respectivamente, em valores de  $k = 1,07 \times 10^{-4}$  cm/s e  $k = 3,3 \times 10^{-5}$  cm/s. Contudo, de acordo com a IAEG (1979), ambos os solos são classificados como levemente permeáveis.

Os limites de consistência mostram uma clara distinção entre os três tipos de solo. O solo de alteração é fracamente plástico, o solo de transição é moderadamente plástico e o solo eluvial é altamente plástico (Caputo, 1988). De acordo com Das (2011), os valores de LL e LP do solo de alteração encontram-se dentro do intervalo dos valores típicos para a caulinita, enquanto que o LL e LP do solo de transição está no intervalo para a haloisita. Já o solo eluvial apresenta LL e LP na faixa de valores referentes a illita e haloisita hidratada.

A partir dos resultados dos limites de consistência e da análise granulométrica, os solos foram classificados segundo os sistemas de classificação da Associação Americana de Rodovias Estaduais e Autoridades de Transporte (AASHTO) e o Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS). A Tabela 2 resume os resultados e a interpretação de cada uma destas classificações.

Tabela 1. Resultados dos ensaios de índices físicos, permeabilidade e limites de consistência.

Material	Solo de alteração	Solo de transição	Solo eluvial
Peso específico seco (kN/m <sup>3</sup> )	14,6	16,0	-
Massa específica dos sólidos (g/cm <sup>3</sup> )	2,805	2,783	-
Índice de vazios	0,932	0,741	-
Porosidade	0,48	0,42	-
Teor de umidade (%)	1,43	3,99	-
Grau de saturação (%)	4,39	15	-
Permeabilidade (cm/s)	$1,07 \times 10^{-4}$	$3,3 \times 10^{-5}$	-
Limite de liquidez (%)	35	51	63
Limite de plasticidade (%)	33	44	47
Índice de plasticidade (%)	2	7	16

Tabela 2. Classificação dos horizontes segundo as classificações geotécnicas AASHTO e SUCS.

Solos	AASHTO	Classificação como subleito rodoviário	SUCS	Qualidade como material de fundação
Solo de alteração	A-2-4(0) (areias siltosas)	Excelente a bom	SM (areia siltosa)	Má a boa
Solo de transição	A-5(1) (solos siltosos)	Regular a mau	SM (areia siltosa)	
Solo eluvial	A-7-5 (solos argilosos)			MH (silte de alta plasticidade)

As figuras 7 e 8 e a Tabela 3 sintetizam os resultados dos ensaios de cisalhamento direto. Como pode-se observar, o horizonte de alteração apresenta uma resistência ligeiramente maior que o de transição. A Tabela 4 resume alguns resultados de ensaios de resistência de solos de alteração de gnaisses para a região sudeste do país. Nota-se que com relação a coesão, os valores dos solos de alteração e de transição são superiores a maioria dos apresentados na tabela. No entanto, os parâmetros de resistência obtidos por Silva (2005) para solos de alteração de gnaisses do Complexo Paraíba do Sul, em condição inundada, assemelham-se aos resultados alcançados no presente estudo. Este autor utilizou tensões confinantes de 50, 100 e 200 kPa, que são próximas as tensões utilizadas no presente trabalho.

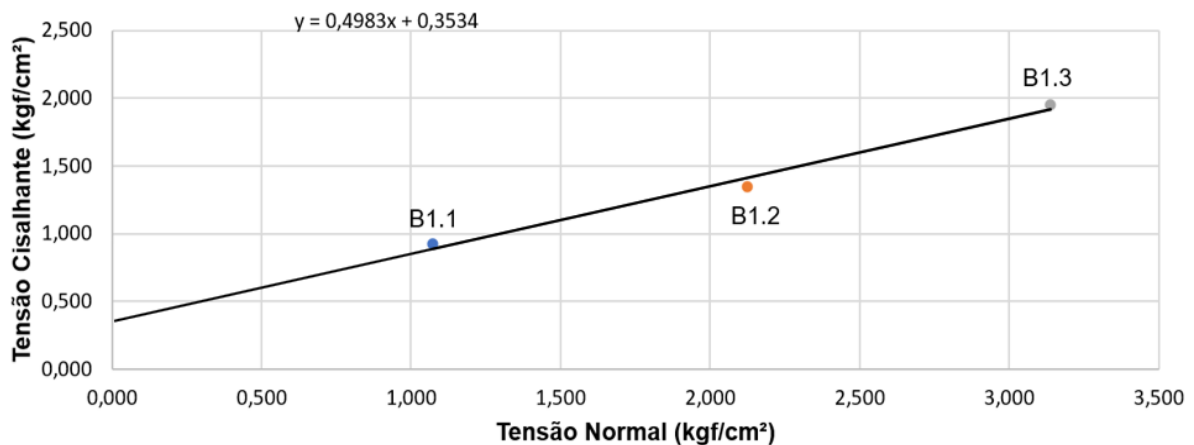


Figura 7 - Envoltória de ruptura para o solo de alteração.

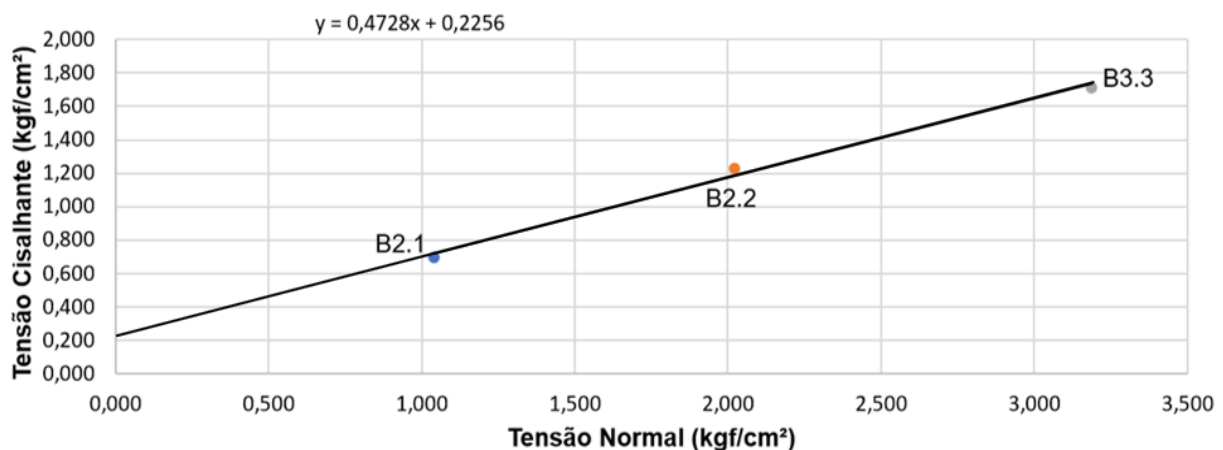


Figura 8 - Envoltória de ruptura para o solo de transição.

Tabela 3. Parâmetros de resistência dos horizontes de alteração e de transição.

Solos	Tensão Normal (kgf/cm <sup>2</sup> )	Tensão Cisalhante Máxima (kgf/cm <sup>2</sup> )	Intercepto de Coesão (kPa)	Ângulo de Atrito (°)
Solo de alteração	1,074	0,921	34,6	26,49
	2,125	1,346		
	3,139	1,952		
Solo de transição	1,041	0,693	22,16	25,30
	2,020	1,227		
	3,188	1,712		

Tabela 4. Parâmetros de resistência de solos de alteração de gnaisses da região sudeste do país.

Parâmetros de resistência	Local	Tipo de ensaio	Autores
$c = 16 \text{ kPa}$ , $\phi = 42^\circ$	Rio de Janeiro (RJ)	Cisalhamento direto	Feijó <i>et al.</i> (2001)
$c_r = 13 \text{ a } 15 \text{ kPa}$ , $\phi_r = 24^\circ \text{ a } 34^\circ$	Ponte Nova (MG)	Cisalhamento direto	Marchi (2005)
$c = 25 \text{ kPa}$ , $\phi = 28^\circ$	Soberbo (RJ)	Compressão triaxial	Silveira e Lacerda (1993)
$c = 19 \text{ kPa}$ , $\phi = 32,8^\circ$	Niterói (RJ)	Cisalhamento direto	Springer (2006)
$c = 22,3 \text{ a } 28,4 \text{ kPa}$ , $\phi = 24,9^\circ \text{ a } 36,3^\circ$	Niterói (RJ)	Cisalhamento direto	Silva (2005)

$c$ = coesão,  $c_r$ = coesão residual,  $\phi$ = ângulo de atrito interno,  $\phi_r$ = ângulo de atrito residual.

## 5 CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como objetivo descrever, classificar e caracterizar o talude de corte do km 80 da ES-181, no município de Alegre-ES, escavado em produtos de alteração de gnaisses do Complexo Paraíba do Sul. Tendo isto em vista, pode-se afirmar:

- O talude estudado está constituído por três horizontes de solo distintos, descritos da base para o topo, como: a) solo de alteração (35 m de espessura), b) solo de transição (17 m de espessura) e c) solo eluvial (3 m de espessura). Suas características de campo e de laboratório respaldam claramente esta divisão;
- Os ensaios geotécnicos revelaram que os solos de alteração e de transição são classificados como areia siltosa micácea, com coeficiente de uniformidade que os caracteriza como desuniforme. O solo de transição apresenta maior peso específico, limites de plasticidade e de liquidez e índice de plasticidade. Já o solo de alteração apresenta maior permeabilidade, porosidade e índice de vazios;
- No tocante a resistência ao cisalhamento, os solos de alteração e de transição apresentam parâmetros de resistência de Mohr-Coulomb similares entre si e com os solos de alteração de gnaisses do Complexo Paraíba do Sul estudados por Silva (2005) no Rio de Janeiro;
- Segundo o sistema de classificação geotécnica de solos AASTHO, o solo de alteração é classificado para fins de subleito rodoviário como excelente a bom;

## REFERÊNCIAS

BOWLES, J. E. *Engineering Properties of Soils and their Measurements*. 3<sup>a</sup> ed. Nova York: McGraw Hill Education, 1986.



- CAPUTO, H. P. *Mecânica dos Solos e suas Aplicações*. Fundamentos. 6ª ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 1988.
- DAS, B. M. *Advanced Soil Mechanics*. 3ª ed. Nova York: Taylor & Francis, 2008.
- DAS, B. M. *Fundamentos de Engenharia Geotécnica*. 7ª ed. São Paulo: Cengage Learning, 2011.
- DER – DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. Manual de Geotecnia: taludes de rodovias: orientação para diagnóstico e soluções de seus problemas. São Paulo: IPT (publicação IPT no. 1843). 388p, 1991.
- FEIJÓ, R. L; ERHLICH, M. *Resultados de ensaios de arrancamento em grampos injetados em dois pontos do Município do Rio de Janeiro*. In: III Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas (COBRAE), ABMS. Anais... Rio de Janeiro, p. 517-524, 2001.
- IAEG, International Association for Engineering Geology. *Classification of rocks and soils for engineering geological mapping*. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, v.19, p. 364-371, 1979.
- LEAL, M. A. *A importância das condições de humidade do solo na repartição intra-anual dos eventos danosos de cheia: o caso da área metropolitana de Lisboa*. In: VI Congresso Nacional de Geomorfologia. Anais... Coimbra, p. 37-40, 2013.
- MARCHI, A. O. *Contribuição ao estudo de taludes em solos residuais. Estudo de caso: Ponte Nova-MG*. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, p. 102, 2005.
- PASTORE, E.L.; FONTES, R.M. *Caracterização e classificação de solos*. In: Oliveira e Brito (Eds.). Geologia de Engenharia. São Paulo: ABGE. p. 197-210, 1998.
- SILVA, T. P. *Resistência ao arrancamento de grampos em solo residual de gnaiss*. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, p. 144, 2005.
- SILVEIRA, G. C; LACERDA, W. A. *Caracterização mineralógica dos solos residuais e coluvionares do escorregamento da encosta do Soberbo, RJ*. In: I Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas (COBRAE), ABMS. Anais... Rio de Janeiro, p. 479-490, 1993.
- SPRINGER, F. O. *Ensaio de arrancamento de grampos em solo residual de gnaiss*. 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, p. 310, 2006.
- VAZ, L. F. *Classificação Genética dos Solos e dos Horizontes de Alteração de Rocha em Regiões Tropicais*. Solos e Rochas, São Paulo, v.19, n.2, p. 117-136, 1996.
- VIEIRA, V. S. *Cachoeiro de Itapemirim folha SF.24-V-A: estados do Espírito Santo, Rio de Janeiro, Minas Gerais*. Escala 1:250.000. Brasília: CPRM, 99 p., il. Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil – PLGB, 1997.