

Uso da microscopia eletrônica de varredura em solo residual de gnaiss

Fábio Krueger da Silva

Docente, Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, fabio.krueger@ifsc.edu.br

Fernanda Simoni Schuch

Docente, Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, fernandass@ifsc.edu.br

Cesar Schmidt Godoi

Engenheiro Geotécnico, Votorantim Energia, São Paulo, Brasil, cesargodoi@hotmail.com

RESUMO: Dada a importância dos estudos científicos em solos residuais, o presente trabalho teve por objetivo caracterizar fisicamente um solo residual de gnaiss da cidade de Santo Amaro da Imperatriz, no estado de Santa Catarina. A proposta do trabalho incluiu análises laboratoriais e de microscopia eletrônica de varredura dos solos residuais em amostras coletadas num talude e em num poço de inspeção. Busca-se observar os minerais presentes no local de estudo e, ainda, identificar um provável realinhamento das partículas em amostras extraídas do plano de cisalhamento obtidos em ensaios de resistência. A pesquisa também realizou ensaios SPT (*Standard Penetration Test*) para caracterização do perfil de solo da região. Os resultados mostraram que nas diferentes profundidades ocorrem variações consideráveis nas densidades dos grãos, distribuição granulométrica, forma das partículas e na sua composição mineralógica indicando que o material sofreu ação mais intensa do intemperismo nas camadas mais superficiais. Por fim, se conclui que o ensaio de microscopia eletrônica é uma ferramenta importante para caracterização mineralógica dos solos residuais ampliando o conhecimento das propriedades geotécnicas desses geomateriais.

PALAVRAS-CHAVE: MEV, Solos residuais, Argilo-minerais, Micro-estrutura, Ensaios de laboratório.

1 INTRODUÇÃO

A determinação das propriedades mecânicas dos materiais é fundamental para que critérios técnicos e econômicos sejam atendidos na concepção de obras civis. Em alguns casos, a caracterização física usual de laboratório não é suficiente para caracterizar adequadamente os solos residuais. Normalmente, a caracterização de solo de alteração seguem os mesmos princípios adotados para solos sedimentares, onde ensaios de granulometria e limites de plasticidade tendem a classificar o solo satisfatoriamente (Wesley, 2010). Contudo, muitas vezes, só caracterização granulométrica não traz informações suficientes sobre os argilos-minerais presentes, composição química, estrutura, formas e os tipos de ligações que compõem o material estudado.

Dessa forma, com o ensaio de microscopia eletrônica de varredura (MEV) é possível ter uma

análise mais representativa do material através da observação microscópica das partículas que existem no material. Por serem mais caros e necessitarem de equipamentos e especialistas para interpretação do ensaio, normalmente, os ensaios de MEV são aplicados em casos específicos. E quando necessárias informações do formato dos grãos, tipos de minerais presentes, tipo de contato grão-a-grão são estimados com bases em pesquisas anteriores. Porém, cabe lembrar que nos processos de intemperismo físico e químicos as propriedades são fortemente afetadas pelo tipo de rocha de origem, condições climáticas, topografia, drenagem entre outras.

Assim, definir os minerais presentes num material, bem como, suas particularidades de dimensões, formato, entrosamento e ligações apenas relacionando-os com sua rocha de origem pode ser um erro factível.

O estudo em questão foi realizado em solos residuais originados do Complexo Granito-Gnaiss conhecido como Complexo Águas Mornas do município de Santo Amaro da Imperatriz, no estado de Santa Catarina.

Nesta pesquisa foram conduzidos ensaios de densidade real, granulometria, limites de consistência e MEV em amostras coletadas em diferentes profundidades num talude exposto oriundo da decomposição de rocha gnáissica. Assim, o objetivo desta pesquisa é observar os minerais presentes no solo residual de gnaiss e, se possível, observar um provável realinhamento das partículas em amostras extraídas do plano de cisalhamento de ensaios de resistência.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Solos residuais

Segundo Wesley (2010), os solos residuais são formados diretamente do intemperismo físico e químico de rochas existentes abaixo do material. Ou seja, a decomposição ou apodrecimento desta rocha dá origem a um tipo de solo que permanece no seu local de formação. O processo de formação influencia diretamente no comportamento dos mesmos, pois a decomposição converte a rocha de origem ou rocha mãe em partículas menores e argilo-minerais, inevitavelmente tornando o material menos denso, menos resistente e mais compressível. Viana da Fonseca e Coutinho (2008) destacam a importância do desenvolvimento ou aprimoramento dos métodos de interpretação para caracterização geotécnica de solos residuais.

Um dos aspectos bastante estudados, mas ainda não perfeitamente explicados refere-se a identificação da cimentação entre as partículas presente em alguns solos residuais. Existem mecanismos principais que condicionam as cimentações em solos, alguns são minerais introduzidos na estrutura e acabam por enrijecer seus contatos e, outros processos alteram a estrutura física e química do material. A cimentação é um fenômeno natural, e em muitos solos tem um grau de ligação entre as partículas que, segundo Vaughan (1985), Maccarini (1987), Santamarina (2001) afeta drasticamente o comportamento tensão-deformação, rigidez, resistência e alterações de volume dos materiais.

Como já citado, a cimentação entre as partículas de solo é um componente importante da microestrutura e exerce grande influência sobre o comportamento geomecânico dos solos. Contudo, a

tarefa de identificar e quantificar os efeitos sobre as propriedades do solo é bastante complexo (MITCHELL, 1993). Para buscar um avanço no entendimento da microestrutura, além dos tradicionais ensaios de laboratório, a técnica de microscopia eletrônica tem auxiliado na visualização destas ligações e na identificação dos elementos químicos e minerais envolvidos na cimentação. Este tema será abordado detalhadamente mais adiante.

2.2 Microscopia Eletrônica de Varredura -MEV

O uso da técnica de microscopia eletrônica de varredura (MEV) vem sendo utilizada para a observação da macroestrutura e da microestrutura de solos. Dessa forma, possibilita a visualização de estruturas reliquias e possíveis agentes cimentantes entre partículas.

Oliveira (2011) analisou um solo residual jovem de gnaiss aonde conseguiu identificar os minerais Quartzo e o Feldspato e, principalmente a xistosidade da Biotita e a produção de ferro devido ao seu intemperismo. O hidróxido de ferro foi identificado como o agente cimentante na ligação da Biotita. Na Figura 1 podem ser observadas as feições micro-estruturais de um solo residual jovem de gnaiss, inclusive com a observação da cimentação (conector) entre os grãos de Biotita.

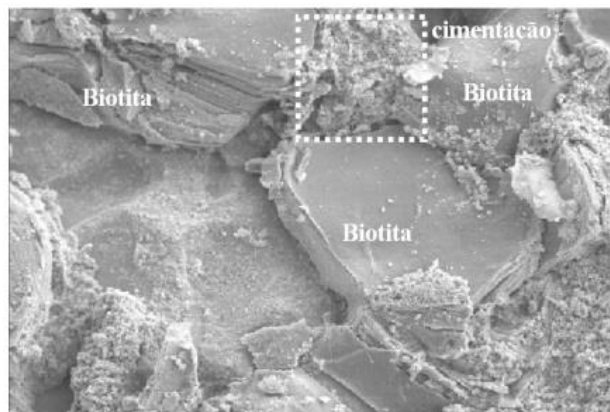


Figura 1. Pacotes de biotita ligada por agente cimentante obtida através de MEV (Oliveira, 2011).

3 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E PEDOLÓGICA DO LOCAL DA PESQUISA

A pesquisa está sendo realizada em solos residuais originados do Complexo Águas Mornas do município de Santo Amaro da Imperatriz/SC. Maiores informações dos dados geológicos e pedológicos do local podem ser vistos em Krueger (2015). O talude objeto da pesquisa é proveniente de um corte realizado há quinze anos com objetivo de

aumentar a fator de segurança da encosta. O talude tem 3 patamares e possui 22 metros de altura. Fica localizado na Rua Mansur Elias ao lado de um colégio. Detalhes do talude são mostrados nas Figuras 2 e 3.

O Complexo Águas Mornas forma uma faixa de direção grosseiramente leste-oeste desde as localidades de Rio do Miguel e Rio do Cedro até o litoral de Palhoça. O Complexo Águas Mornas compreende uma associação de ortognaisses polifásicos, de composição diversificada, aparentemente derivada de uma sequência pretérita gnássica-migmatítica, constituída predominantemente por paleossomas de natureza básica a intermediária (ortoanfibolitos, metagabros, metabasitos, metadioritos) e por gnaisses quartzo-dioríticos e granodioríticos resultantes da fusão parcial da fração crustal primitiva, e uma fração neossomática caracterizada por uma massa monzogranítica que envolve os componentes anteriores em diferentes proporções (SATO, 2006). Bittencourt *et al.* (2008) citam que o Complexo Águas Mornas compreende principalmente ortognaisses, com ocorrência subordinada de paragnaisses. Os ortognaisses são constituídos por K-feldspato, plagioclásio, quartzo, biotita e hornblenda. O bandamento metamórfico-deformacional é milimétrico e bem marcado pela intercalação de bandas ricas em quartzo e feldspatos e níveis ricos em biotita.

Nos solos das encostas da área de estudo, os mapas classificam o material como um Cambissolo (CPRM, 1995). São solos não hidromórficos, com drenagem variando de acentuada a imperfeita, apresenta horizonte B incipiente devido a aspectos relativos a seu processo de formação. Sua coloração é variada devido à rocha de origem, variação modesta de estratos, na proximidade da rocha de origem sua resistência aumenta e compressibilidade diminui. Pode apresentar uma dispersão considerável nos índices de CBR (Índice de Suporte Califórnia), expansão e colapsibilidade. Especificamente é identificado com um Cambissolo álico do complexo granito-gnaisses (Cag,gn). Apresenta um perfil bastante espesso devido ao substrato rochoso ser muito fraturado. Contudo, seu horizonte B é pouco desenvolvido, sobreposto por um horizonte A de 30 cm de espessura, com textura argilosa e média, horizonte C espesso (podendo chegar a até 20 metros) e com presença de minerais não decompostos. Sua ocorrência acontece principalmente em relevos fortemente ondulado.

4 MÉTODO DA PESQUISA

4.1 Ensaio de Campo SPT

O ensaio SPT foi realizado com base na ABNT NBR 6484/2001. Um agrupamento de ensaios (Figura 2) foi realizado no nível da rua (grupo nº04), outro num patamar intermediário (grupo nº01), outro na face (grupo nº02) do talude e um último grupo de ensaios no topo do talude (grupo nº03). Num total de quatro ensaios que foram alinhados entre si e locados na base, faces e crista do talude de forma a reproduzir de maneira mais fiel o perfil do solo residual do local.

4.2 Coleta de amostras e Caracterização física

Foram coletadas amostras blocos indeformados de solo nas faces dos taludes 02 e 04 e de um poço de inspeção que foi escavado no patamar intermediário da encosta (Figura 3). Este poço foi escavado exatamente ao lado do ensaio SPT nº 01. O objetivo era determinar as propriedades geotécnicas do solo ao longo na profundidade, e ter acesso visual a estratigrafia das camadas podendo relacionar o perfil do solo aos ensaios de campo realizados. No caso das amostras coletadas no talude 2 os resultados dos ensaios de laboratório foram correlacionados com o grupo de sondagem nº 02 e as amostras do talude 4 com o grupo de sondagens nº 03. Foi escavado um poço de seção quadrangular de 1,0 m² até uma profundidade de 3,0m. Foi coletado um número adequado de amostras deformadas e indeformadas com blocos de 30 cm x 30 cm para realização de todos os ensaios que são detalhados a seguir, conforme ABNT NBR 9604/1986. Nas faces dos taludes 2 e 4 foram coletadas amostras a 0,5 m de profundidade. Os ensaios de caracterização realizados em laboratório foram análises granulométricas, densidade real dos grãos e limites de consistência, conforme recomendações da ABNT: NBR 6457/1984, NBR 7181/1984, NBR 6508/1984, NBR6459/1984 e NBR 7180/1984.

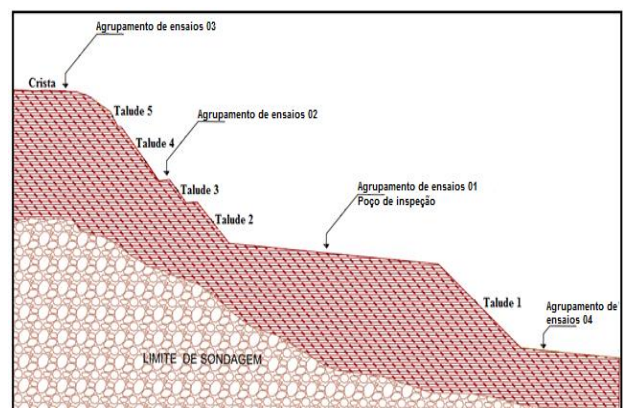


Figura 2. Localização dos ensaios SPT ao longo do talude (Krueger, 2015).

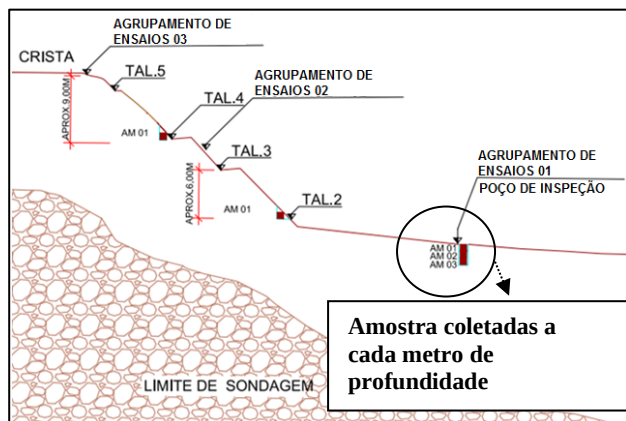


Figura 3. Situação em corte e localização dos pontos de amostragem no poço, talude 2 e 4 (Krueger, 2015).

4.3 Ensaio de MEV

Para a realização do MEV foi utilizado o equipamento microscópio de varredura convencional com filamento de tungstênio da fabricante norte-americana JEOL, modelo JSM 6390LV de alto desempenho do Laboratório Central de Microscopia Eletrônica da UFSC (LCME/UFSC). Este equipamento possui uma resolução de 3 nanometro, que possibilita a visualização em larga escala das partículas de solo e agentes cimentantes.

Após secagem prévia das amostras deformadas foram selecionados visualmente agrupamentos de partículas de aproximadamente 0,5cm de comprimento que posteriormente foram aderidos aos *stubs* com uso de cola de carbono e recobertos com ouro. Todas as amostras foram moldadas de acordo com os padrões estabelecidos pelo LCME/UFSC. Esta etapa pode ser observada na Figura 4.

Com objetivo de verificar possíveis alterações no esqueleto sólido foram realizadas observações com o MEV em amostras coletadas antes e após ensaios de cisalhamento. Os ensaios de resistência não são objeto desta pesquisa, porém, procura-se analisar possíveis quebras nas cimentações naturais decorrentes da ruptura por cisalhamento. Os corpos de prova do MEV foram coletados na superfície de ruptura e destaca-se que não são os mesmo pontos analisados antes (estrutura natural) e após o ensaio de cisalhamento (estrutura perturbada).

5 RESULTADOS

5.1 Perfil Geotécnico da região

A interpretação dos resultados de 4 ensaios SPT

realizados indicaram basicamente a existência de uma espessa camada de silte arenoso até o impenetrável. O perfil do subsolo indica um solo silto-arenoso marrom com compactidade variando de compacto a muito compacto, conforme a ABNT NBR 7250/1982.

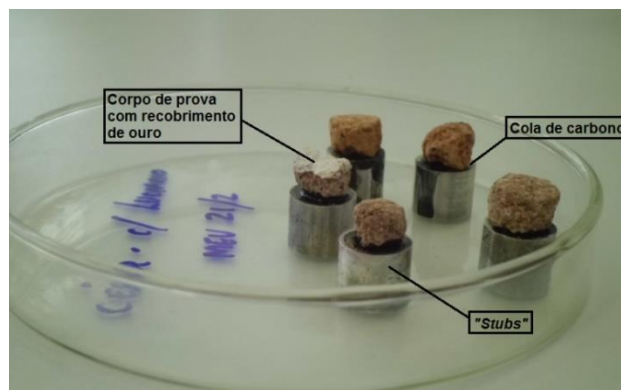


Figura 4. Preparação dos corpos de prova para o MEV (Krueger, 2015).

O valor do N_{SPT} cresce ao longo da profundidade, característica típica de solos residuais. Não foi encontrado nível de água no local. Apenas o ensaio executado no topo do talude indica uma camada superficial mais argilosa, que representa a camada superficial de solo orgânico. Na inspeção do solo coletado pelo amostrador observa-se que o material não é homogêneo. A profundidade máxima atingida, no caso do ensaio SPT foi o impenetrável, obtido de acordo com critérios de paralisação da norma ABNT NBR 6484. A maior profundidade atingida foi obtida no ensaio SPT 03 com 16,42m e a menor no ensaio SPT 04 com 7,41m de profundidade. O perfil geotécnico do solo pode ser visto na Figura 5.

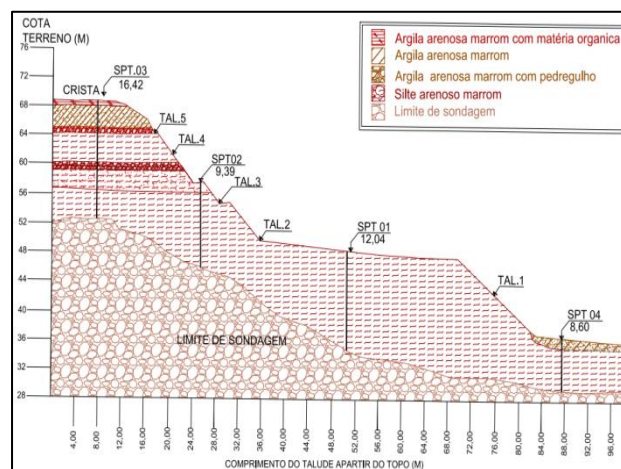


Figura 5 - Perfil geotécnico da seção de solo obtido dos ensaios SPT (Krueger, 2015).

5.2 Ensaios de Caracterização física

Tabela 1. Resultados dos ensaios de caracterização física.

Amostras	Prof. (m)	Densidade da partícula	Limites de Atterberg				Granulometria			
		G _s	LL (%)	PL (%)	IP (%)	% Argila	% Silte	% Areia	% Pedregulho	S.U.C.S.*
TAL-4-AM-1	0,5	2,73	52	43	9	6,3	45,1	48,7	0	ML
TAL-2-AM-1	0,5	2,66	52	34	18	5,9	54,4	37,1	2,6	ML
PI-1-AM-1	1,00	2,68	39	33	6	5,7	34,4	58,0	1,8	SM
PI-1-AM-2	2,00	2,67	43	30	13	5,3	30,4	56,1	8,3	SM
PI-1-AM-3	3,00	2,72	38	30	8	3,6	31,2	61,3	3,9	SM

Após coleta nos pontos já identificados foram nomeadas as amostras coletadas no talude 2 e 4 e amostras coletadas no poço a cada metro de profundidade. Com a seguinte nomenclatura, poço de inspeção (PI) e talude (TAL), seguido da respectiva posição ou profundidade. Na Tabela 1 é apresentado o resumo dos ensaios de densidade dos grãos, limites de liquidez e análise granulométrica dos solos residuais de gnaiss.

Na última coluna da tabela encontra-se a classificação através do Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS). Com a análise dos resultados destaca-se que o valor da densidade real das partículas está entre 2,67 e 2,73. Existe uma tendência na diminuição da densidade real das partículas quanto mais próximos a rocha de origem. Isso pode ser explicado pelo processo de exposição às intempéries. Como as amostras do talude se encontravam na superfície estiveram por mais tempo sujeitas às ações do intemperismo físico e químico, consequentemente, suas partículas já foram modificadas para tamanho menores. As amostras do poço estavam mais protegidas destas ações externas. Cabe salientar que estes valores são orientativos, pois a densidade e principalmente o índice de vazios serão extremamente influenciados pelo grau de intemperismo.

A granulometria variou nas amostras do talude e poço de inspeção, por mais que a exposição causada pela escavação tenha um tempo relativamente curto para ocorrência do intemperismo físico e químico. É possível que o desconfinamento de tensões (retaludamento) e, os processos erosivos e de lixiviação superficial tenham sido acelerados, ocasionando alterações nas partículas. Os limites de liquidez variaram entre 38% e 52% e o limite de plasticidade entre 6% a 18%.

5.3 Ensaios de MEV

Com aplicação da microscopia eletrônica de varredura (MEV) buscou-se identificar minerais presentes no solo residual de gnaiss. Ainda observar a microestrutura do solo em seu estado

natural e possíveis alterações (rearranjo estrutural) após o cisalhamento dos corpos de prova. As amostras naturais foram retiradas de blocos indeformados e, após o cisalhamento foram extraídas no plano de ruptura, ou seja, as imagens apresentadas (natural e após cisalhamento) não foram registradas na mesma área das amostras analisadas. Na Figura 7, cabe destacar a visualização dos minerais existentes nas ampliações das imagens x1500 e x3000 da amostra *Tal.2-AM.1-prof.0.5m*, em amostras antes do cisalhamento.

Destacam-se na ampliação de x1500 aspectos da microestrutura do solo residual de gnaiss. Observa-se que as cimentações naturais presentes são resultados de uma espécie de malha (rede) que envolve as partículas maiores. Nas próximas imagens ampliadas observa-se que esta malha é formada por elementos de formato tubular. Estes tubos funcionam como uma ponte estrutural de ligação entre os grãos que acabam por contribuir na parcela de coesão.

Na Figura 7 (imagens x1500 e x3000) ficou evidenciada a presença de grãos de quartzos envoltos por outros minerais, identificados, principalmente a caulinita e haloisita.

Confirmando outras referências de literatura (Sandroni 1981 apud Ovileira 2011), a caulinita é predominante em regiões de solos ácidos de regiões tropicais e subtropicais. A caulinita aparece como partículas lamelares de perfil hexagonal ou irregular. A haloisita tem uma estrutura cristalina semelhante ao da Caulinita, porém, as camadas sucessivas encontram-se deslocadas, além disso, a haloisita aparece em forma de tubos e cilindros. Nas ampliações x5000 e x8000, observa-se a caulinita pelo seu típico formato lamelar e a haloisita com formato tubular.

No que se refere ao rearranjo estrutural e ao alinhamento das partículas provocado pela ruptura dos corpos de prova nas amostras dos taludes 2 e 4 não foi possível observar alterações estruturais significativas após o cisalhamento. Uma possível explicação é que as amostras coletadas para análise microscópica necessitavam ter 0,8 cm² de área para

uso no equipamento disponível. Assim cabia ao pesquisador escolher, a olho nu, uma região da superfície de ruptura a ser verificada microscopicamente. Pode ser que, por algum infortúnio, o pesquisador escolheu uma região tal que o rearranjo estrutural não ficasse tão evidenciado.

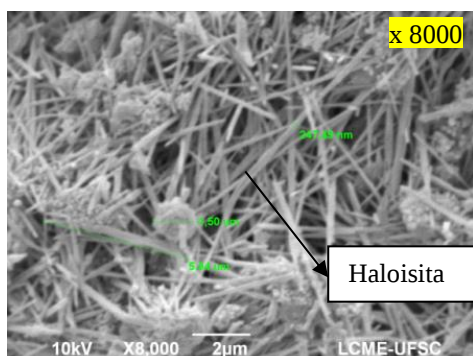
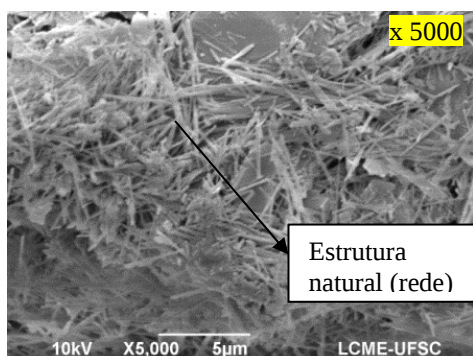
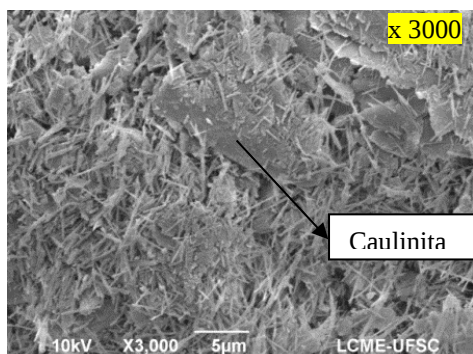
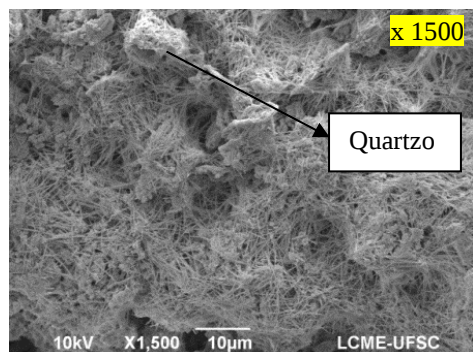


Figura 7. Imagens de MEV – amostra Tal. 2 – AM.1- prof. 0,5m.

Porém, nas amostras do poço de inspeção, principalmente a amostra *PI-1-AM.1-prof. 2m*, fica evidenciado na Figura 8, nas ampliações x30, o material no estado natural preservado e, na imagem x100, um aspecto de fratura estrutural do solo, após o cisalhamento.

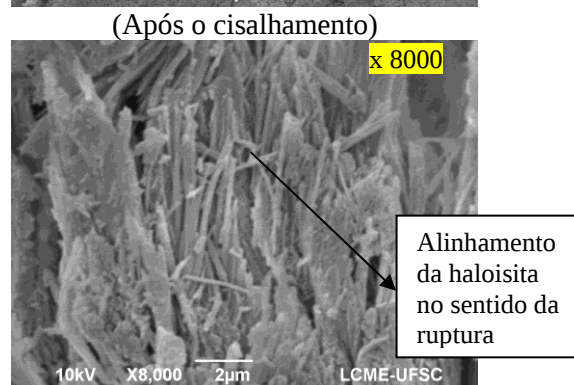
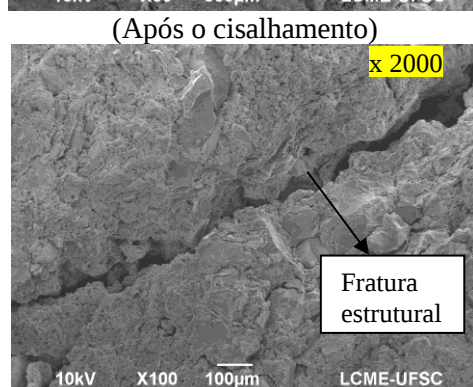
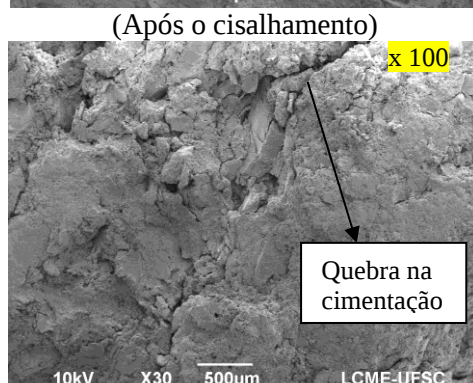
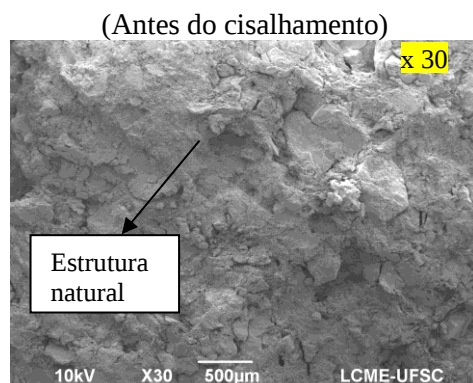


Figura 8. Imagens de MEV – amostra PI-1 – AM.2 – prof. 2m, antes e após o cisalhamento.

Nas ampliações x2000 e x8000, um provável realinhamento (no sentido da ruptura) causado pelo deslocamento relativo das partículas, caracterizando um novo arranjo estrutural. Na ampliação x8000 pudesse visualizar o alinhamento da haloisita no sentido da ruptura.

A qualidade das imagens na microscopia eletrônica é função de uma superfície lisa. No caso dos solos granulares estudados devido às irregularidades inerentes ao material ficou difícil obter imagens melhores e com maiores focalizações. Outro aspecto, é que a pequena área de amostra pode não refletir todas as características mineralógicas do solo residual de gnaiss.

5 CONCLUSÕES

Quanto aos resultados dos ensaios conduzidos nesta pesquisa em solo residual de gnaiss, destacam-se:

- os ensaios SPT classificaram o solo como um silte arenoso marrom de medianamente compacto à muito compacto. A resistência é crescente ao longo da profundidade e não identificaram a presença de nível de água;
- observaram-se alterações nas características físicas resultados dos diferentes graus de interperismo;
- o valor da densidade real das partículas está entre 2.67 e 2.73, os limites de liquidez variaram entre 38% e 52% e o limite de plasticidade entre 6% a 18%;
- nos ensaios MEV pode-se visualizar o Quartzo, a Caulinita e a Haloisita nas amostras ensaiadas,
- verificou-se um provável realinhamento das partículas após o cisalhamento.
- as irregularidades superficiais das amostras e pequena área de observação interferem na qualidade das imagens.

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT; 1984. *Análise granulométrica, solos, método de ensaio*, NBR 7181/84. Rio de Janeiro, 15 p.
- _____. – ABNT; 1986. *Amostra de solo- Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização*. NBR 6457/86. Rio de Janeiro.
- _____. – ABNT; 1984. *Grãos de solos que passam na peneira 4,8mm. Determinação da massa específica*. NBR 6508/84. Rio de Janeiro.
- _____. – ABNT; 1984. *Solo, determinação do limite de liquidez*, NBR 6459/84. Rio de Janeiro, 6 p.
- _____. – ABNT; 1982. *Identificação e descrição de amostras de solos obtidas em sondagens de simples reconhecimento dos solos*, NBR 7250/82. Rio de Janeiro.
- _____. – ABNT; 1984. *Solo, determinação do limite de plasticidade*, NBR 7180/84. Rio de Janeiro, 6 p.
- _____. – ABNT; 1986. *Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas*, NBR 9604/86. Rio de Janeiro, 9 p.
- _____. – ABNT; 2001. *Sondagens de simples reconhecimento com SPT – método de ensaio*, NBR 6484/01. Rio de Janeiro, 17 p.
- Bittencourt, M.F., Bongioiolo, E.M., Philipp, R.P., Morales, L.F.G.; Rubert, R.R., Melo, C.L., Luft Jr, J.L. (2008) *Estratigrafia Do Batolito Florianópolis, Cinturão Dom Feliciano, Na Região De Garopaba - Paulo Lopes, SC*. Revista Pesquisa em Geociências. Instituto de Geociências, UFRGS.
- Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais, CPRM. (1995). *Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil – Carta Metalogenética/Previsional – Escala 1:100.000– Anexo II*.
- Krueger, F.S. (2015). *Caracterização Física E Mecânica De Solo Residual de Gnaiss Por Meio de Ensaios de Campo e Laboratório – Santo Amaro da Imperatriz/Sc*. Tese de Doutorado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal De Santa Catarina. Florianópolis.
- Maccarini, M. (1987). *Laboratory Studies of Weakly Bonded Artificial Soil*. Thesis, University Of London.
- Mitchell, J.K. (1993). *Fundamentals of Soil Behavior*. 2nd Ed., John Wiley & Sons, New York.
- Oliveira, C.P. (2011). *Comportamento Mecânico de um Solo Residual Naturalmente Cimentado*. Tese De Doutorado. Universidade Federal De Viçosa/Mg. Viçosa.
- Sato, R.D.O. (2006). *Investigação Hidrogeológica das Ocorrências Termas e Termo-Minerais da Região Centro-Sul da Borda Oriental do Estado de Santa Catarina e Possíveis Modelos Genéticos*. Dissertação De Mestrado. Universidade Federal De São Paulo-Usp. São Paulo.
- Sandroni, S.S. (1981). *Residual soils: research developed at PUC-RJ*. Proc. Simpósio Brasileiro de Solos Tropicais em Engenharia, COPPE, Vol. 2, pp. 30–65. Rio de Janeiro.
- Santamarina, J.C. (2001). *Soil Behavior at The Micro Scale: Particle Forces*. Proc. Symp. Soil Behavior And Soft Ground Construction, In Honor Of Charles C. Ladd – October 2001, Mit.
- Vaughan, P.R. (1985). *Mechanical And Hydraulic Properties Of In Situ Residual Soils*. Proceedings, First International Conference On Geomechanics In Tropical, Lateritic, And Saprolitic Soils, Brasília, Brazil, 1-33.
- Wesley, L.D. (2010). *Geotechnical Engineering In Residual Soils*. John Wiley & Sons, Inc. Wroth, C. P. 1984. “The Interpretation Of In-Situ Soil Tests. Rankine Lecture.” *Geotechnique*, 4, 449–489.