

INFLUÊNCIA DE DESCONTINUIDADES GEOLÓGICAS NA ESTABILIDADE DE UMA ENCOSTA EM SÃO JOSÉ – SC

INFLUENCE OF GEOLOGICAL DISCONTINUITIES
ON THE STABILITY OF A SLOPE IN SÃO JOSÉ-SC

MARCELO HEIDEMANN

*(Centro de Engenharias de Mobilidade - Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, SC, Brasil
& Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil -
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil
E-mail: marcelo.heidemann@gmail.com*

LUIZ ANTÔNIO BRESSANI

*Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil
E-mail: bressani@ufrgs.br*

JUAN ALTAMIRANO FLORES

*Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil
E-mail: juan.flores@cftn.ufsc.br*

RESUMO ABSTRACT

Na porção leste de Santa Catarina é predominante a ocorrência de rochas graníticas, e consequentemente de solos residuais de granito. No entanto, o estudo de um escorregamento no município de São José, na Região Metropolitana de Florianópolis, tem indicado a ocorrência de litotipos espacialmente menos representativos em zonas de descontinuidades dos maciços graníticos. Nesta área foi verificada a presença de milonitos e pseudotaquilitos, que evidenciam a existência de descontinuidades no local. Assim, outros solos que não os residuais de granito tipicamente ocorrentes na área foram identificados. Estes materiais têm comportamento geotécnico distinto dos solos residuais de granito, em termos de características físicas e resistência ao cisalhamento, o que conduz à possibilidade de que o movimento de massa seja condicionado não pelo solo residual de granito, mas por estes outros materiais. Nesse sentido, o presente trabalho visa descrever o cenário geotécnico e geológico em que ocorre o caso de instabilidade citado e apresentar aspectos do comportamento geotécnicos dos solos envolvidos no mesmo.

Palavras-chave: Instabilidade de encosta; solos tropicais; granitos, descontinuidades

Granites are the most common rocks in the eastern part of Santa Catarina state, and consequently, residual soils of granite are there frequently found. However, the study of a landslide in São Jose municipality, in Metropolitan Region of Florianopolis shows the occurrence of other rocks, with minor representativeness in a spatial point of view, in fault and joint zones of the granitic batholith. In this area was noticed the presence of mylonites and pseudotachylites which indicate the existence of discontinuities in the local. Then, residual soils different from those formed through granite weathering were identified. These materials exhibit distinct geotechnical behavior if compared with residual soils of granites, concerning to physical characteristics and shear strength. This situation suggest the possibility that the landslide could be conditioned not by the residual soil of granite, but by these other materials. In this way, the objectives of this work are the description of the geotechnical and geological scenario where occurs the mentioned slope instability case and to present some aspects related to the geotechnical behavior which concerns to the soils involved in such landslide.

Keywords: slope instability, tropical soils, granites, discontinuities

RESUMEN

En la parte oriental del estado de Santa Catarina es predominante la aparición de rocas graníticas, y consecuentemente, de suelos residuales de granito. Sin embargo, el estudio de un deslizamiento en el municipio de São José, en la Región Metropolitana de Florianópolis, ha indicado la aparición de litotipos espacialmente menos representativos en zonas de discontinuidades de los macizos graníticos. En esta área fue verificada la presencia de milonitos y pseudotaquilites, que evidencian la existencia de discontinuidades en el local. De esta forma, fueron identificados otros suelos diferentes a los residuales de granito típicamente encontrados en el área. Estos materiales tienen el comportamiento geotécnico distinto al de los suelos residuales de granito, en términos de características físicas y resistencia al cizallamiento, lo que conduce a la posibilidad de que el movimiento de masa sea condicionado, no por el suelo residual de granito, más si por los otros materiales. En este sentido, el presente trabajo busca describir el escenario geotécnico y geológico en que ocurre el caso de inestabilidad citado y presenta aspectos del comportamiento geotécnico de los suelos envueltos en el mismo.

Palabras llave: Inestabilidad de taludes; suelos tropicales; granitos; discontinuidades

1 INTRODUÇÃO

Em Santa Catarina os processos de instabilidade de encostas incidem principalmente na porção leste do Estado, onde se situa uma sequência de elevações rochosas relacionadas às Serras do Mar, do Leste Catarinense e Geral. Nesta região ocorrem rochas magmáticas e metamórficas, oriundas dos processos orogenéticos, que compõem o Cinturão Dom Feliciano.

O Cinturão Dom Feliciano é dominado por associações de rochas graníticas que são discretizadas em diferentes segmentos designados: Batólito Pelotas no Escudo Sul-rio-grandense, Batólito Florianópolis no Escudo Catarinense e Batólito Aiguá no Escudo Uruguaio (HORN FILHO, 2003). Embora o Batólito Florianópolis possa ser representado como uma grande unidade litológica, o mesmo se caracteriza como um complexo, constituído por diferentes plútons, que de acordo com CPRM (2000) são emplacados com intrusões sucessivamente mais jovens. Em relação a esta divisão, de acordo com autores como

Basei et al., (2000) os diferentes segmentos mostram características isotópicas e geocronológicas suficientemente diferentes para justificar sua designação independente. Basei (1985) detalhou a porção catarinense do Cinturão Dom Feliciano. Por conta da história geotectônica da região existem zonas de intensa heterogeneidade e muitas discontinuidades, o que contribui para a formação de um cenário bastante complexo do ponto de vista geológico-geotécnico.

É nesta região de complexa geologia e geotécnica que se concentram boa parte das maiores cidades do Estado. Como decorrência do processo de expansão destas cidades tem ocorrido uma acelerada ocupação de diversas áreas em encostas consideradas de risco, com possível ocorrência de movimentos de massa, seja pelo relevo acidentado marcado por encostas íngremes, seja pela complexidade geológica local.

Esta situação é bastante visível na Região Metropolitana de Florianópolis, especialmente no Município de São José, o qual experimentou forte crescimento populacional nos últimos anos, com consequente aumento na demanda por áreas urbanizadas. Nesse cenário está inserido o bairro Potecas, que se caracteriza como uma área de expansão do município de São José e palco de movimentos de massa que têm sido registrados desde 2002. Entre eles cita-se um deslizamento de grandes proporções, de baixa velocidade, que acumula deformações desde 2009 e que provocou a demolição e a interdição de moradias.

Este movimento de massa desenvolve-se ao longo de uma descontinuidade do maciço granítico. Nesta descontinuidade ocorrem rochas do tipo milonito e pseudotaquilite, cabendo destacar também a abundante presença de água. Assim, apesar de serem os granitos o litotipo dominante na área, a ocorrência do escorregamento em questão aparenta estar associada aos materiais presentes ao longo da falha, mais especificamente aos solos residuais formados a partir destas rochas, o que chama a atenção para a importância destas zonas na compreensão dos agentes predisponentes de movimentos de massa na região. A descrição desta situação é o tema deste trabalho, que apresenta ainda informações relativas ao comportamento geotécnico de alguns solos presentes no local.

2 INTRODUÇÃO

2.1 Movimento de massa estudado

A área de estudo corresponde a uma encosta em processo de instabilidade localizada no bairro

Potecas, no município de São José, região Metropolitana de Florianópolis em Santa Catarina. As coordenadas médias da área são UTM: 732.279E e 6.948.068S. A Figura 1 mostra uma imagem de satélite do local.

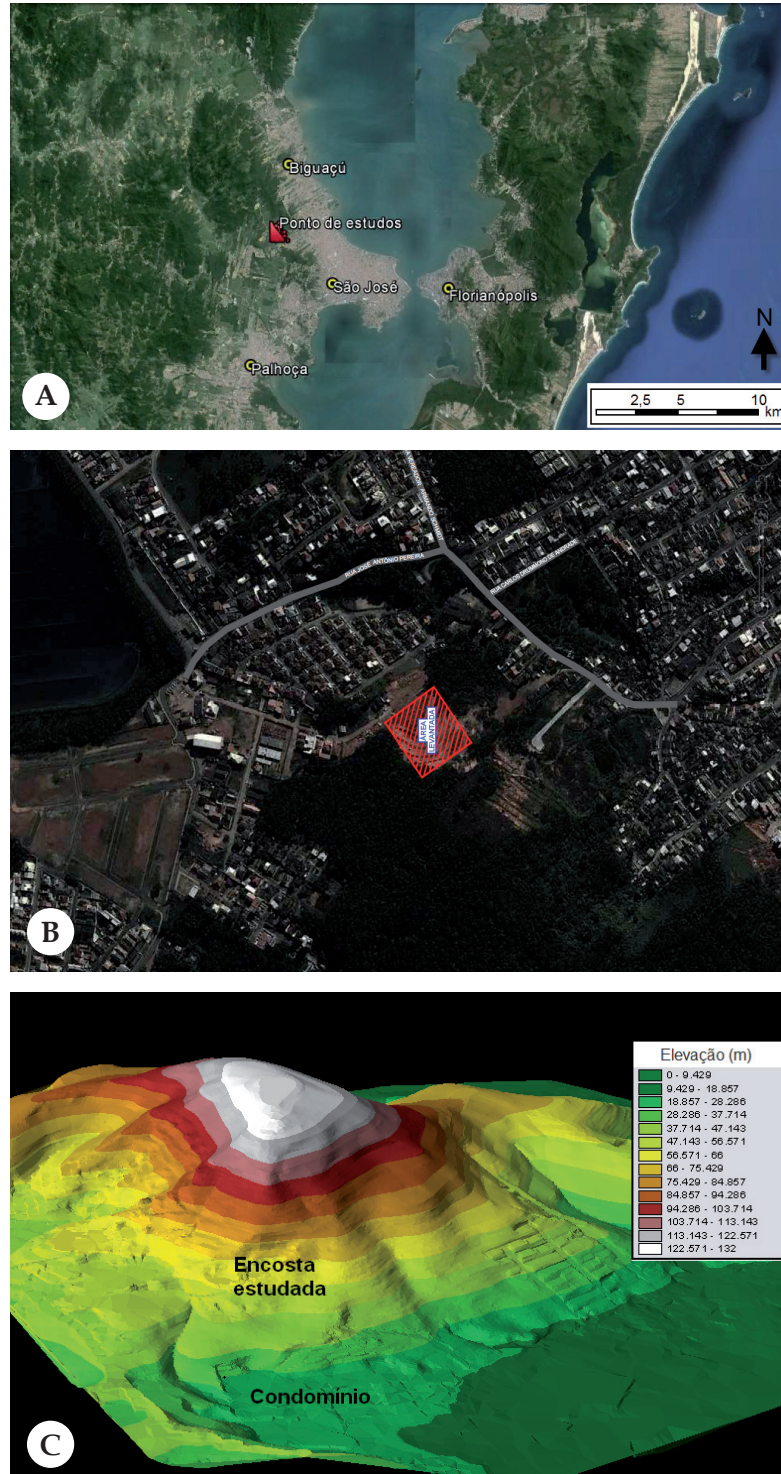


Figura 1 – Imagens de satélite para localização (A e B) e modelo digital do terreno da área estudada (C)

A área à jusante da encosta é ocupada por diversas edificações. Estas moradias compõem um condomínio residencial com 130 residências e que foi atingido pelo solo mobilizado no deslizamento. Os primeiros movimentos de massa na área, embora lentos, ocorreram em janeiro de 2002 e, desde então, diversos outros movimentos têm sido registrados. Os registros mais recentes iniciaram-se quando, entre os dias 22 e 24 de novembro de 2008, chuvas intensas atingiram a região e causaram a deflagração de um movimento de massa no local. Este movimento foi evidenciado pelo aparecimento de fendas no solo, trincas em uma construção localizada a montante do loteamento e deslocamentos do pavimento próximo à esta edificação. Este movimento se deu de forma lenta e logo foi suspenso, não deslocando a massa mobilizada encosta abaixo.

Posteriormente, em setembro daquele ano, chuvas intensas (307 mm no mês) promoveram novas deformações e o risco de novos escorregamentos resultou na ordem de interdição de 17 moradias. Em maio de 2010 o talude junto ao condomínio no pé da elevação sofreu instabilização e o material mobilizado invadiu a rua, aproximando-se das residências.

A partir deste evento medidas de estabilização foram propostas e executadas, desde cortinas temporárias de madeira, até retaludamento da encosta. No entanto, todas estas intervenções acabaram por sucumbir diante das deformações que, embora lentas, mantêm-se recorrentes.

2.2 Caracterização geológica

A área de estudo está localizada, de acordo com Geobank-CPRM (2013) e Bitencourt et al. (2008), sobre granitos foliados, calcialcalinos de alto K. A área estudada encontra-se também muito próxima à transição entre os Granitos e a unidade Ortognaisse Águas Mornas, o que indica o histórico de metamorfismo nesta região.

Na encosta estudada, imersos na matriz de solo residual, foram encontrados diversos blocos de rocha (matações) de variáveis dimensões e predominantemente graníticos, embora corpos de outros litotipos tenham também sido encontrados.

Na área do talude foram identificados, a partir de uma avaliação expedita feita em campo, três tipos de rochas, sendo elas: granito, milonito e pseudotaquilito. Os granitos são de forma geral rochas mais bem descritas. Por outro lado, enquanto os extensos corpos graníticos predominantes na área são abordados de forma mais ampla nos mapeamentos existentes, menos comuns são as referências à ocorrência de pseudotaquilitos e milonitos na região.

Os milonitos são rochas dinamicamente metamorfisadas e constituem-se um indicativo da existência de falhas e descontinuidades na área em questão, assim como o são em diversas outras regiões, como descreve Shelley (1983). Os milonitos são produzidos pela pulverização de rochas, envolvendo não apenas tensões de cisalhamento extremamente altas, mas também tensões de confinamento consideráveis, que ocorrem em zonas de falhas importantes (BELL, 1993).

O pseudotaquilito, de acordo com Fossen (2012) é uma rocha escura, densa, vítrea ou microcristalina, que se forma pela fusão local das paredes da rocha pelo atrito do deslizamento. Ainda segundo o autor, o pseudotaquilito pode apresentar injeções de veios em suas laterais, fragmentos de rocha encaixante e estrutura vítrea, e sua formação pode se dar tanto na parte superior da crosta bem como em profundidades maiores.

A existência de milonitos e pseudotaquilitos na área corrobora a caracterização geológica da região apresentada na literatura, não apenas em relação à predominância dos granitos, como também acerca da existência de zonas de contato e descontinuidades. A Figura 2 mostra o aspecto das rochas encontradas no local juntamente com a imagem das mesmas em lâminas delgadas.

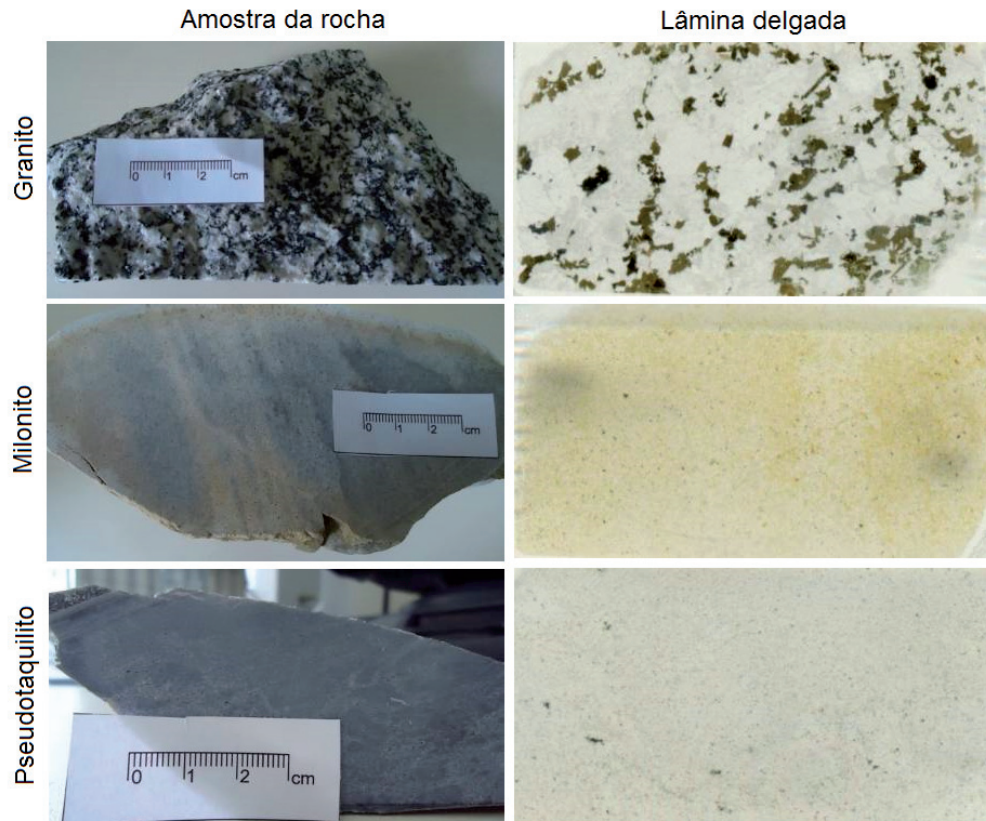


Figura 2 – Rochas encontradas na área de estudo – amostras coletadas e lâminas

Enquanto que os granitos formam a litologia principal, a existência de pseudotaquilitos e milonitos indicam a ocorrência de movimentos de cisalhamento na região. Estes movimentos estão associados às tensões elevadas que provocaram metamorfismo das rochas aí existentes e caracterizam a região como uma zona de ocorrência de falhas e contatos, como já indicado em Bitencourt et al. (2008), que relacionam estas falhas ao Cinturão de Cisalhamento Sul Brasileiro.

A deformação dos corpos graníticos é evidenciada na Figura 3 (A), onde se mostra a deformação sofrida pela rocha ao longo de uma superfície bem definida. Também neste sentido a Figura 3 (B) mostra uma descontinuidade entre um corpo de rocha granítica alterada e o solo residual, com pouco menos de 90° de inclinação e orientação ortogonal aos movimentos de massa registrados no local.

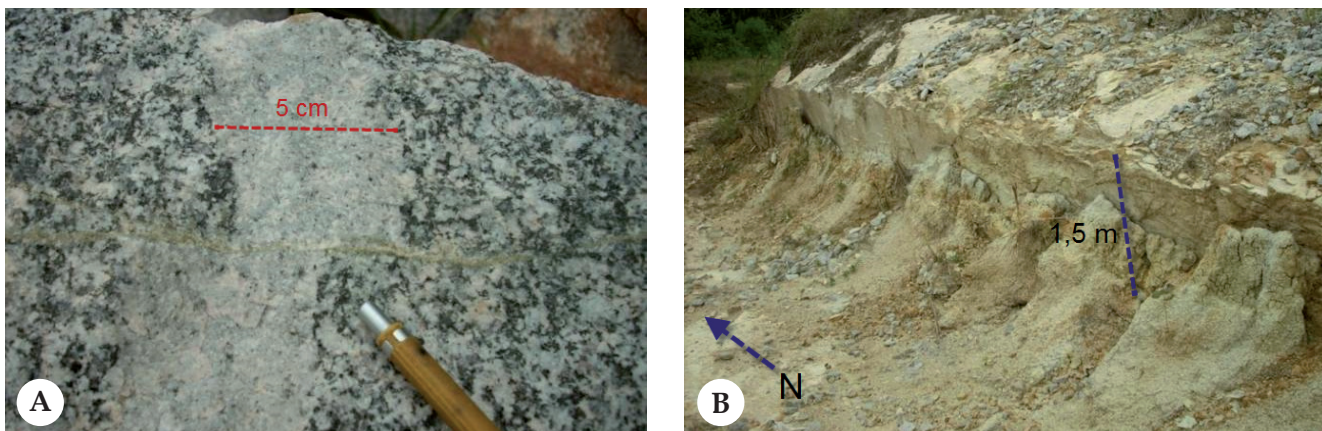


Figura 3 – Indicativos da ocorrência de descontinuidades observados na área: (A) deformação em rocha, (B) falha

2.3 Caracterização geotécnica

Como é possível observar na Figura 4, os solos que ocorrem na encosta apresentam grande variação em termos de coloração. Esta variabilidade se reflete também na textura dos mesmos.



Figura 4 – Vista geral da encosta com indicação da zona de falhamento (pontilhado) e da ocorrência do solo residual de pseudotaquíto (polígono)

Por conta da litologia dominante, os solos mais abundantemente encontrados na área de estudo são os residuais de granito. Estes têm coloração variando entre amarelo e vermelho, havendo ocorrências pontuais de coloração cinza. Nas imediações da descontinuidade existente observa-se a ocorrência de solos com significativa presença de minerais máficos, mais especificamente biotita.

A biotita, assim como outras micas, tem estrutura foliada composta por diversas camadas que, entre si, tem fraca ligação, condicionando uma perfeita clivagem basal resultando em partículas com formato de finas placas. De acordo com Mitchell e Soga (2005) areias e siltes, mesmo que contendo pequeno percentual de mica, podem exibir alta compressibilidade quando carregados e significativa expansibilidade. Além disso, solos ricos em micas, mesmo que pouco plásticos, tendem a apresentar baixa resistência ao cisalhamento em condições residuais, como exposto em Rigo et al. (2006).

Diante deste cenário optou-se por concentrar a investigação no solo residual de granito mais representativo espacialmente, apesar de variações em coloração e textura observadas. Salienta-se

aqui que é importante avaliar o comportamento dos demais solos oriundos de granito que ocorrem na área, pois aspectos mineralógicos podem influenciar de forma significativa no comportamento geotécnico destes materiais.

Além destes materiais, ocorre um solo denominado residual de pseudotaquíto e um terceiro material denominado argila de preenchimento.

O solo residual de pseudotaquíto tem coloração avermelhada e textura argilosa. Pelo fato de ser um material oriundo de rochas que existem tipicamente em áreas de tectonismo, o mesmo tem importância no comportamento de maciços em que ocorrem contatos, caso a textura mais argilosa deste solo reflita em menor resistência ao cisalhamento e zonas de gradiente de condutividade hidráulica. Segundo Reid (1997), mesmo pequenos contrastes (uma ordem de magnitude ou menos) na condutividade hidráulica dos solos em encostas podem modificar as condições de tensões efetivas atuantes no maciço, elevando o potencial de instabilidade.

O solo denominado argila de preenchimento tem pequena representatividade em termos de volume, mas a condição em que se dá sua ocorrência

pode ser bastante importante para o entendimento do comportamento da encosta como um todo. Este material foi encontrado em fendas abertas no terreno como mostra a Figura 5, sob a forma de finas camadas com espessura inferior a 1 cm,

feição típica de áreas submetidas à atividade hidrotermal. O material encontra-se aderido ao solo residual amarelo de granito, mas nas imediações da área é abundante a ocorrência de blocos rochosos de milonito.

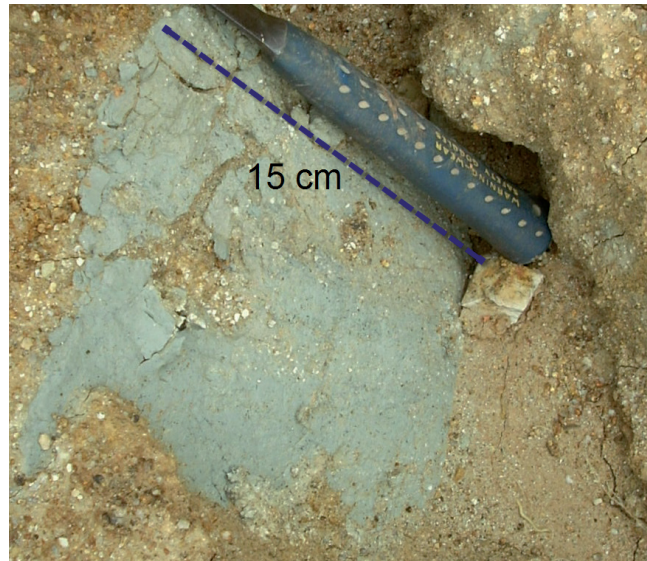
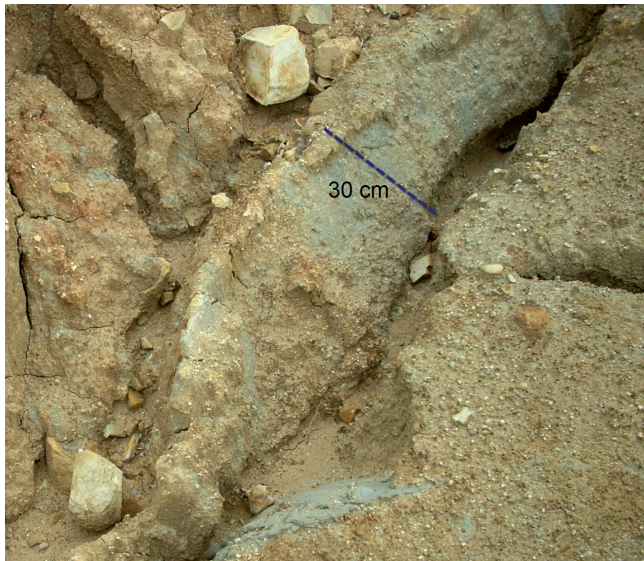


Figura 5 – Registros da ocorrência de argila de preenchimento em campo

A presença destas argilas em zonas de descontinuidade remete ainda à questão da resistência ao cisalhamento residual, que é um fator predisponente ou controlador de muitos movimentos de massa em solos tropicais do sul do Brasil, como reportado por Pinheiro (1997) e Rigo (2000; 2005).

3 COMPORTAMENTO GEOTÉCNICO DOS SOLOS ESTUDADOS

Os solos encontrados na área de estudo foram submetidos a ensaios de laboratório. Estes ensaios foram executados para avaliação de parâmetros de comportamento geotécnico de interesse ao problema de instabilidade de encostas.

Foram executados ensaios de caracterização física básica, análises mineralógicas e ensaios de cisalhamento direto e *ring shear*, que visam à determinação da resistência ao cisalhamento dos solos.

O ensaio de cisalhamento direto é a técnica mais utilizada na determinação dos parâmetros de resistência ao cisalhamento de solos por ser um ensaio rápido, relativamente simples e de baixo

custo. O equipamento e os procedimentos utilizados nos ensaios são descritos com minúcia por Head (1982). A utilização do ensaio de cisalhamento direto permite a obtenção de resultados, em geral, bastante confiáveis em termos de resistência drenada nas condições de pico e última.

O ensaio *ring shear* é a técnica mais aplicada no estudo da resistência ao cisalhamento residual de solos, tendo sido utilizado largamente no estudo de movimentos gravitacionais de massa. A resistência residual desempenha um papel importante na estabilidade de antigos movimentos gravitacionais de massa, no comportamento de depósitos de solo que contém superfícies de ruptura pré-existentes e no entendimento do risco de rupturas progressivas (LUPINI et al., 1981). O equipamento *ring shear* foi desenvolvido com o intuito de superar algumas limitações apresentadas pelo ensaio de cisalhamento direto na determinação da resistência residual. Neste ensaio o corpo de prova é moldado em uma célula anelar e por meio de um cabeçote é aplicada a tensão normal desejada. Aplica-se então um torque que provoca o giro da parte inferior da célula, enquanto que o cabeçote

permanece fixo. Isto provoca o cisalhamento do corpo de prova de forma contínua, em uma única direção, atingindo qualquer magnitude de deslocamento e possibilitando a orientação das partículas de argila, e conseqüente desenvolvimento da condição de resistência residual.

A Tabela 1 apresenta resumidamente os resultados obtidos nos ensaios geotécnicos de laboratório, em termos de índices físicos e parâmetros de resistência ao cisalhamento em condição indeformada. Já a Figura 6 mostra as curvas granulométricas dos materiais estudados.

Tabela 1 - Índices físicos e parâmetros de resistência dos solos investigados.

Material	Solo Residual de Granito	Solo Residual de Pseudotaquilito	Argila de Preenchimento
γ (kN/m ³)	17,9	15,0	-
e	0,93	1,23	-
w (%)	32	24	25
Sr (%)	89	54	-
LL	38	60	60
IP	17	25	30
c'_{pico} (kPa)	21	3,3	-
ϕ'_{pico} (°)	26	31	-
$\phi'_{residual}$ (°)	15	13	8

Onde: γ - peso específico aparente natural; e - índice de vazios; w - teor de umidade; Sr - grau de saturação; c' - coesão; ϕ - ângulo de atrito; LL - limite de liquidez; limite de plasticidade.

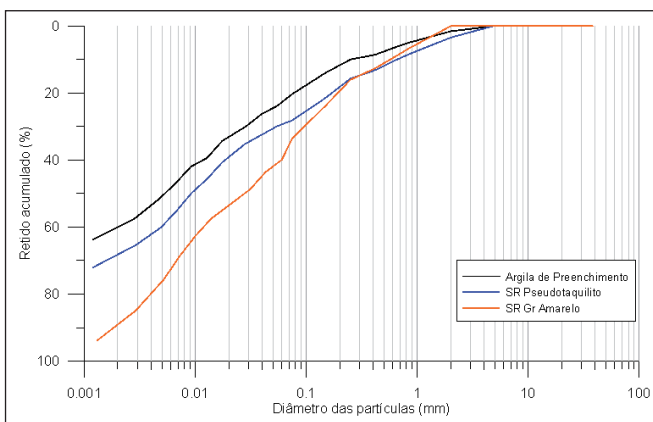


Figura 6 - Curvas Granulométricas dos solos estudados

Os solos residuais de granito são menos porosos que os de pseudotaquilito e encontravam-se muito próximos da saturação quando da extração

de amostras indeformadas. O solo residual de granito apresenta menor limite de liquidez e índice de plasticidade que o solo de pseudotaquilito e argila de preenchimento. Este comportamento em termos de plasticidade está associado à granulometria dos mesmos, uma vez que os granitos são compostos por uma quantidade significativamente menor de finos que os demais materiais investigados (Figura 6). Chama-se ainda atenção para a semelhança em termos de plasticidade entre a argila de preenchimento e o solo de pseudotaquilito.

Em relação à resistência ao cisalhamento, os dados disponíveis de resistência de pico dos solos de granito estudados indicam valores semelhantes aos encontrados em outros solos residuais de granito investigados no sul do Brasil (BASTOS, 1991; HIGASHI, 2006; BEVILÁQUA, 2004). Para os demais materiais investigados não foram encontradas na literatura referências a trabalhos progressos.

Contudo, os resultados obtidos em termos de resistência em condição residual são bastante interessantes porque mostram valores de ângulo de atrito muito mais baixos que os obtidos em condição de pico. Nesse sentido é de destaque o resultado obtido na argila de preenchimento, onde se mediu ângulo de atrito residual da ordem de 8°. Este valor é da mesma ordem dos mais baixos medidos em solos residuais do sul do País, tendo-se como referência uma compilação de dados de resistência residual apresentado em Rigo et al. (2006).

O baixo ângulo de atrito encontrado para a argila de preenchimento chama a atenção para a possibilidade de que este material controle ou influencie o mecanismo de ocorrência da instabilidade estudada.

Estes resultados mostram a importância que as zonas de descontinuidades, e mais especificamente os materiais que as preenchem, podem ter na deflagração dos movimentos de massa em solos residuais de granito. Tal cenário mostra-se especialmente relevante para o estado de Santa Catarina, tendo em vista as complexas condições geológicas do leste do Estado, como reportado por Scheibe (1986), onde descontinuidades, falhas e planos reliquiares são abundantes.

4 CONCLUSÃO

O movimento estudado tem mecanismo complexo, ainda não totalmente definido. Contudo, inspeções em campo permitiram identificar materiais e estruturas importantes para a futura definição de um modelo geomecânico capaz de explicar o escorregamento.

Este movimento de massa ocorre em uma área onde os granitos são a rocha predominante, e a ocorrência de solos residuais de granito é abundante. No entanto, embora os granitos caracterizem-se como o litotipo predominante na área estudada, foram identificadas outras rochas, neste caso milonito e pseudotaquilito, cuja presença remete à existência de descontinuidades geológicas na área estudada.

Nas imediações de uma falha que atravessa a área do escorregamento foi encontrado um solo residual oriundo do intemperismo de pseudotaquilitos, além de se verificar a ocorrência de uma argila que preenche descontinuidades na massa de solo residual, provavelmente formada por atividade hidrotermal, que por sua textura remete à possibilidade de mobilização de resistência residual, sendo este aspecto controlador da ocorrência da instabilidade.

Em relação à investigação geotécnica de laboratório, dentre os resultados até aqui obtidos, destaca-se a baixa resistência ao cisalhamento na condição residual apresentada pelo solo residual de pseudotaquilito, e principalmente, da argila de preenchimento. Para este material obteve-se ângulo de atrito da ordem de 8°, o qual é da mesma ordem de grandeza que os mais baixos ângulos medidos em solos residuais do sul do País, sejam de basaltos (RIGO, 2000; PINHEIRO, 1997), ou de granulitos (HEIDEMANN, 2011).

Estes resultados mostram a importância que as zonas de descontinuidades, e mais especificamente os materiais que as preenchem, podem ter na deflagração dos movimentos de massa em solos residuais de granito, especialmente no leste do Estado de Santa Catarina, onde descontinuidades, falhas e planos reliquias são abundantes.

Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES e CNPq pelo fomento à pesquisa e às bolsas de pesquisa, e ao Instituto de Geociências da UFSC e o PPGEC-UFRGS pelo suporte oferecido.

REFERÊNCIAS

BASEI M.A.S., Siga Jr. O., Masquelin H., Harara O.M., Reis Neto J.M., Preciozzi F.P. 2000. The Dom Feliciano Belt of Brasil and Uruguay and its foreland domain, the Rio de La Plata craton: framework, tectonic evolution and correlation with similar provinces of southwestern Africa, in *Tectonic Evolution of South America*. Rio de Janeiro, p. 311-334.

BASEI, M.A.S. 1985. O Cinturão Dom Feliciano em Santa Catarina, Tese de Doutorado, IG-USP, São Paulo, 190p.

BELL, F.G. 2007. *Engineering Geology*, Elsevier, Oxford, 593p.

BEVILAQUA, F.Z. 2004. Estudo do comportamento geomecânico de solos residuais de granito de Florianópolis, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 114p.

BITENCOURT, M.F. et al. 2008. Estratigrafia do Batólito Florianópolis, Cinturão Dom Feliciano na Região de Garopaba - Paulo Lopes, SC, *Revista Pesquisas em Geociências*, n.35, v.1, p.109-136.

CPRM - GEOBANK, 2013. Levantamento geológico Folha SG22: Disponível em: <http://geobank.sa.cprm.gov.br>; Acessado acesso: 02/03/2013

CPRM. 2000. Folha SH 22-X-B Criciúma, Carta geológica - escala 1:250.000, Programa levantamentos geológicos básicos do Brasil. Min. de Minas e Energias, Brasília.

FOSSÉN, H. 2012. *Geologia Estrutural, Oficina de Textos*, São Paulo, 584p.

HEAD, K.H. 1982. *Manual of Soil Laboratory Testing*. Pentech Press, London, v. 2.

HEIDEMANN, M. 2011. Caracterização geotécnica de um solo residual de granulito envolvido em uma ruptura de talude em Gaspar - SC, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 178p.

- HIGASHI, R. A. R. 2006. Metodologia de Uso e Ocupação dos Solos de Cidades Costeiras Brasileiras Através de SIG com Base no Comportamento Geotécnico e Ambiental, Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 486p.
- HORN FILHO, N. O. 2003. Setorização da Província Costeira de Santa Catarina em base aos aspectos geológicos, geomorfológicos e geográficos, In: Geosul, v. 18, n. 35, p. 71-98
- LUPINI, J. F., Skinner, A.E., Vaughan, P.R. 1981. The drained residual strength of cohesive soils, Géotechnique, v. 31, n.2, p.181-213
- MITCHELL, J.K., Soga, K. 1995. Fundamentals of soil behavior, 3ed, John Wiley and Sons, New York, 558p
- PINHEIRO, R.J.B., Bressani, L.A., Bica, A.V.D. 1997. A study on the residual shear strength of two unstable slopes in the state of Rio Grande do Sul, in Pan-American Symposium on Landslides, Brazilian Conference on Slope Stability, v. 1, Rio de Janeiro, p. 443-452.
- REID, M.E. 1997. Slope instability caused by small variations in hydraulic conductivity, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, v. 123, n. 8, p. 717-725
- RIGO, M.L. 2000. Resistência ao cisalhamento residual de alguns solos saprolíticos de basalto do estado do Rio Grande do Sul, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 150p.
- RIGO, M.L. 2005. Mineralogia, intemperismo e comportamento geotécnico de solos saprolíticos de rochas vulcânicas da Formação Serra Geral. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 347p.
- RIGO, M.L., Pinheiro, R.J.B., Bressani, L.A., Bica, A.V.D., Silveira, R.M. 2006. The residual shear strength of tropical soils, Canadian Geotechnical Journal, v. 43, n. 4, p. 431-447
- SCHEIBE, L.F. 1986. Geologia de Santa Catarina, in Geosul - Revista do Departamento de Geociência - CFH/UFSC, v. 1, Editora da UFSC
- SHELLEY, D. 1992. Igneous and Metamorphic rocks under the microscope. Chapman & Hall. London, 445p.