

## **Mapeamento geotécnico preliminar de áreas suscetíveis a movimentos de massa na microbacia do Ribeirão Baú, Ilhota/SC**

Regiane Mara Sbroglia<sup>1</sup>  
Rafael Augusto dos Reis Higashi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC  
Departamento de Geociências. Trindade, Florianópolis/SC, CEP: 88040-900.  
e-mail: regi\_sb@hotmail.com

<sup>2</sup>Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC  
Departamento de Engenharia Civil. Córrego Grande, Florianópolis/SC, CEP: 88040-970.  
e-mail: rrhigashi@gmail.com

**Abstract.** During november 2008, intense and concentrated rainfall occurred causing numerous mass movements, changing significantly the morphology of valleys and slopes and reaching directly the population of the municipalities of Vale do Itajaí. In forecasting natural disasters, geotechnical mapping, associated with a GIS and laboratory tests, composes an important tool in identifying factors and processes involved in the destabilization of slopes. In this sense, the present paper proposes the creation of a preliminary geotechnical mapping to identify the geotechnical units more susceptible to the occurrence of mass movements in the watershed of Ribeirão Baú, located at the city of Ilhota, Santa Catarina state. Using the methodology developed by Davison Dias (1995), which seeks to estimate from geological, soil and topographic data the soil units with similar geomechanical behavior, nine geotechnical units were estimated. From all the geotechnical units estimated, it can be noteworthy the units Cambisol with substrate of sandstone, that was affected by 311 mass movements, and the most affected, the Cambisol with substrate gneiss unit, reached in 6,5% of its total area by 315 mass movements, which corresponds to a greater magnitude and number of mass movements events due to its thick mantle of weathering and extensive network of fractures and faults.

**Palavras-chave:** mass movements, geotechnical mapping, mapping of areas susceptible, movimentos de massa, mapeamento geotécnico, mapeamento de áreas suscetíveis.

### **1. INTRODUÇÃO**

Nos dias 22 e 23 de novembro de 2008 ocorreram precipitações intensas e concentradas, chegando a chover mais que o dobro da média prevista para todo o mês, provocando numerosos movimentos de massa e inundações em Santa Catarina, principalmente no Vale do Itajaí. Dentre os desastres naturais evidenciados, destacaram-se os escorregamentos generalizados e os fluxos de detritos que mudaram significativamente a morfologia dos vales e encostas e atingiram a população local.

Segundo dados da Defesa Civil (2008), dos municípios atingidos, Ilhota apresentou o maior número de vítimas fatais, com 47 mortos, além de 4 desaparecidos e 526 desabrigados. Neste sentido, a microbacia hidrográfica do Ribeirão Baú, pertencente ao município, foi escolhida como área de estudo por ser considerada de interesse científico, tendo em vista a significativa ocorrência e magnitude dos movimentos de massa e vítimas fatais, sendo registradas 18 mortes.

Na previsão de desastres naturais, o mapeamento geotécnico é considerado uma importante ferramenta geradora de subsídios para atuar na identificação dos fatores e processos envolvidos na instabilização de encostas. Esta ferramenta associada a um SIG, que segundo Higashi (2006) permite várias aplicações proporcionando a elaboração de mapas temáticos, cartografia geotécnica e Modelagem Numérica de Terreno (MDT), e a ensaios de laboratório, atua na

caracterização do meio físico de forma a prever o comportamento geomecânico dos solos e, assim, a distribuição espacial dos movimentos de massa.

No Brasil, pesquisadores e entidades desenvolveram metodologias para a elaboração de mapas geotécnicos voltadas às áreas tropicais e seus solos característicos, como a metodologia do Instituto de Geologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Metodologia do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT), Metodologia proposta por Zuquette (EESC-USP) e Metodologia desenvolvida por Davison Dias (UFRGS). Esta última foi escolhida para realização do mapa geotécnico da área de estudo por ser empregada no sul do Brasil e por considerar a pedologia como ciência orientadora do comportamento geomecânico.

A metodologia proposta por Davison Dias (1995) surgiu a partir da necessidade de caracterizar grandes áreas de solos tropicais, onde não se tem a possibilidade de realizar um grande volume de ensaios geotécnicos. Busca estimar a partir de dados geológicos, pedológicos e topográficos as unidades geotécnicas de uma determinada área, ou seja, unidades de solos com comportamento geotécnico semelhante.

Neste sentido, este trabalho tem como proposta a realização de um mapeamento geotécnico preliminar com vistas à identificação das unidades geotécnicas mais suscetíveis a ocorrência de movimentos de massa na microbacia do Ribeirão Baú.

## 2. METODOLOGIA DE TRABALHO

### 2.1 Caracterização da área de estudo

O Ribeirão Baú pertence à bacia do Rio Luiz Alves, como afluente de sua margem direita. A microbacia do Ribeirão Baú localiza-se na porção noroeste do município de Ilhota (SC), com uma área de 62,89 km<sup>2</sup> (figura 1).

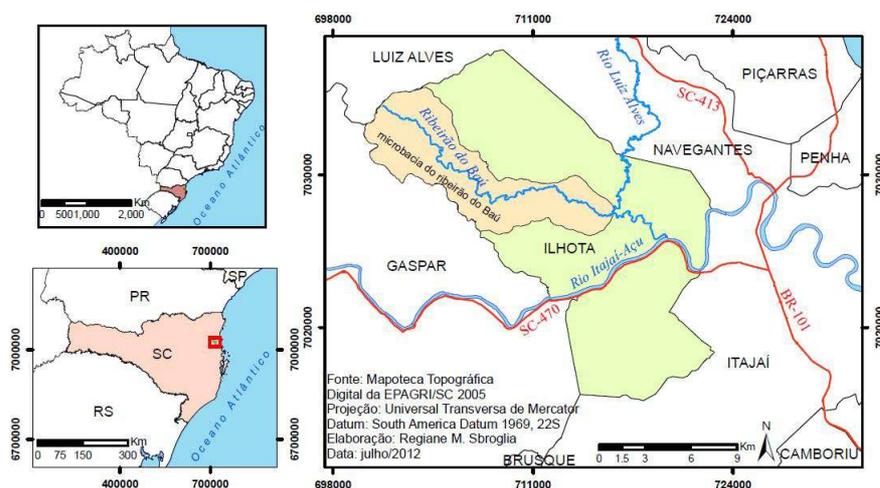


Figura 1. Localização da microbacia do Ribeirão Baú, Ilhota/SC.

De acordo com o mapa na escala 1:50.000 elaborado pelo projeto “Análise e mapeamento das áreas de risco a movimentos de massa e inundações nos municípios de Gaspar, Ilhota e Luiz Alves (Complexo do Morro do Baú), SC”, na microbacia ocorrem os seguintes domínios geológicos e litológicos: Complexo Luiz Alves - gnaisse e núcleos máficos-ultramáficos, Grupo Itajaí - arenito arcoseano, conglomerado e folhelhos, e Sedimentos Quaternários - depósitos aluvionares e coluvionares (figura 2).

O Complexo Luiz Alves é mais frequente no alto da microbacia, representado na maior parte pelo gnaiss. Caracteriza-se por rochas metamorfas nas fácies granulito e anfíbolito. O Grupo Itajaí foi mapeado em diversos setores da microbacia, no Morro Baú e na área central. Essas rochas ocorrem em camadas superpostas com pequenas a médias inclinações para sul-sudeste, constituindo elevações do tipo mesa ou em forma de *cuesta*, devido às inclinações mais pronunciadas. Dos Depósitos Quaternários, os depósitos aluvionares são constituídos por areias, cascalheiras e sedimentos siltico-argilosos inconsolidados, depositados em planície de inundação, terraços e calhas da rede fluvial, localiza-se em maior parte na jusante do Ribeirão Baú (KAUL et al., 2003; ÉGAS, 2011).

Quanto à pedologia, as dez unidades presentes na microbacia pertencem a três classes distintas, sendo uma classificada como Gleissolo distrófico (Gd2) e duas como Cambissolo, diferenciado em álico (Ca14, Ca27, Ca30, Ca45, Ca61, Ca63 e Ca102) e distrófico (Cd1 e Cd2); e o Afloramento Rochoso (AR) (figura 3). Nas siglas a letra maiúscula representa os tipos de solo (Gleissolo ou Cambissolo), a letra minúscula as características de fertilidade e o número as informações referentes à textura e relevo, conforme o mapeamento realizado pelo projeto Gerenciamento Costeiro (GERCO) - 3ª fase em 2003, em escala 1:100.000.

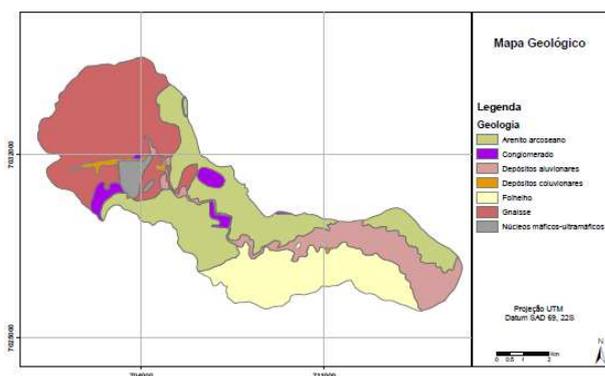


Figura 2. Mapa geológico da microbacia Ribeirão Baú.

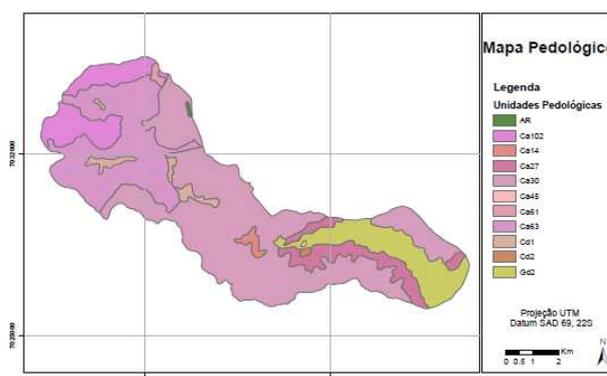


Figura 3. Mapa pedológico da microbacia Ribeirão Baú.

Os Gleissolos compõem solos minerais, com textura variável, mas com predomínio das frações argila e silte. São medianamente profundos, mal drenados e com permeabilidade muito baixa. São originados sobre sedimentos do Holoceno, desenvolvidos em várzeas de relevo praticamente plano, margeando rios, ou em locais de depressão e planícies aluvionais sujeitas a inundações. Os Cambissolos são oriundos de materiais de diversas origens e encontrados em condições climáticas variadas, compreendem solos de origem mineral, não hidromórficos, com horizonte B incipiente, de textura franco-arenosa ou mais argilosa, geralmente apresenta teores uniformes de argila (SHIMIZU et al., 2003; EMBRAPA, 2009). O Afloramento Rochoso compõe a parte superior do Morro Baú, onde há exposição do conglomerado e arenito. Aparecem comumente associados aos solos Litólicos com relevo montanhoso e/ou escarpado.

As características topográficas da microbacia foram obtidas através do Modelo Digital de Terreno (MDT), sendo a altimetria, e a declividade segundo as classes da EMBRAPA (2009) (figuras 4 e 5). Chegando a 800m de altitude, a microbacia apresenta a maior parte de sua área com declividade de 20 a 45°, caracterizando o relevo como forte ondulado. A área a jusante do Ribeirão Baú apresenta relevo plano, enquanto que nas áreas do alto Ribeirão Baú ocorre relevo forte ondulado e montanhoso, representando uma paisagem propícia a processos de instabilização de encostas.

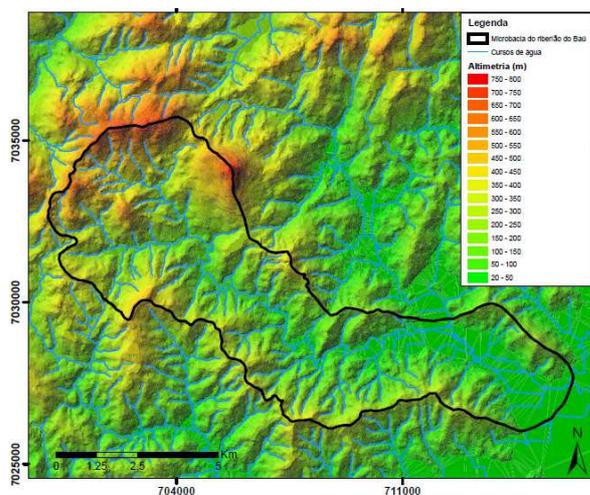


Figura 4. MDT com a altimetria.

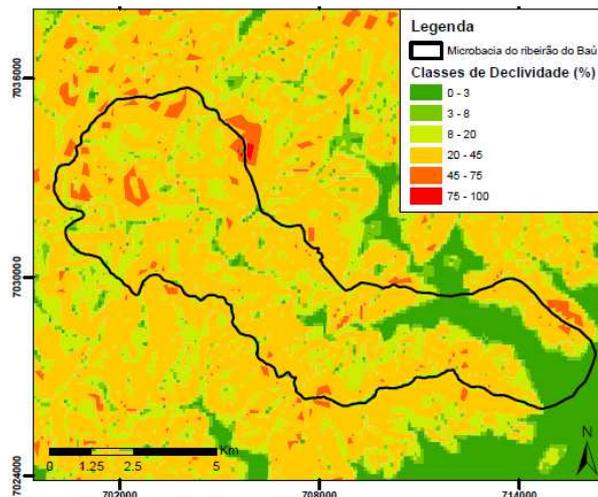


Figura 5. Mapa de declividade.

## 2.2 Procedimentos metodológicos

### 2.2.1 Mapa Geotécnico Preliminar

Conforme a metodologia desenvolvida por Davison Dias (1995), a partir da sobreposição do mapa pedológico, litológico e das curvas de nível é possível obter um mapa de estimativas de unidades geotécnicas de uma área, sendo que, este procedimento compõe os estudos preliminares do mapeamento. Neste sentido, o mapa litológico é elaborado a partir de interpretações do mapa geológico, representando o tipo de rocha predominante:

<b>Geologia</b>	→	<b>Litologia predominante</b>
Complexo Luiz Alves		Gnaiss - gn; Piroxenito - pi
Grupo Itajaí		Arenito - a; Conglomerado - c; Folhelho - f
Sedimentos Quaternários		Sedimentos quaternários - aluviais - sq1; coluviais - sq2

Nas classificações pedológicas são ignoradas as características de fertilidade húmico (h), álico (a), eutrófico (e) ou distrófico (d), pertencentes ao horizonte A. Devido ao grande número de subdivisões, foi realizada uma generalização taxonômica das unidades de solos, compondo o mapa pedológico da microbacia por Cambissolo (C), Gleissolo (G) e Litólico (R).

Em ambiente SIG, foram sobrepostos os mapas pedológico, em escala 1:100.000, geológico e as curvas de nível, ambos em escalas 1:50.000. Utilizando o *software* ArcGis 9.3, foram identificadas e corrigidas dois tipos de inconsistências encontradas nesta etapa do mapeamento das unidades. A primeira está relacionada à composição de unidade incoerente quanto ao tipo de solo originado da rocha, como Cambissolo com substrato de sedimentos quaternários aluviais. E a segunda, às divergências entre a geologia e pedologia, estas inconsistências são atribuídas à incompatibilidade entre as escalas dos dados cartográficos originais e foram retificadas com base no mapa geológico, de escala maior, ou seja, de maior detalhe.

As unidades geotécnicas criadas são compostas por polígonos classificados segundo a pedologia, horizontes B e C, representada por letras maiúsculas, e pela geologia, horizontes RA e R (rocha sã), por letras minúsculas. Quando houver mais de uma litologia predominante no substrato, representa-se a sua sigla por letras minúsculas separadas por vírgulas.

### 2.2.2 Investigação em campo e em laboratório

Foram realizadas visitas a campo nos dias 25 e 26 de agosto, onde foram efetuadas 08 tradagens superficiais com o auxílio de um trado pedológico de 1,2m para a coleta de amostras deformadas de solo a 1,0m de profundidade. As tradagens iniciaram em locais de relevo plano e seguiram para os locais de maiores declividades até encontrar perfis de solos residuais, identificando a transição entre as classes de solo.

A classificação das amostras em campo fundamentou-se nas análises tátil-visual de características físicas do solo (granulometria, consistência, cor e odor), associadas às características do local (uso e ocupação do solo, proximidade de curso d'água e posição do lençol freático). As amostras também foram caracterizadas através da metodologia expedita de Godoy (1997), baseando-se no comportamento de esferas de solos submetidas à pressão e à imersão em água (figura 6). Essas análises fundamentaram a delimitação do mapa de origem dos solos, entre sedimentar e residual (figura 7).



Figura 6. Caracterização das amostras.

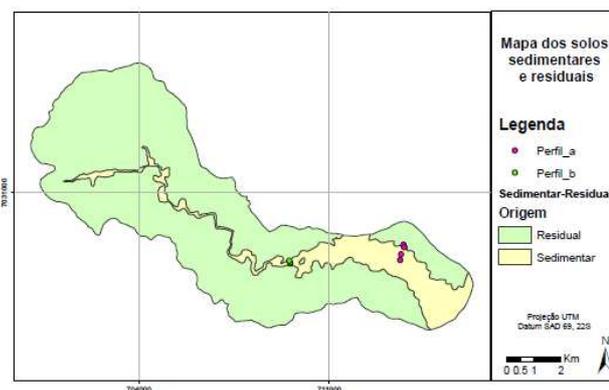


Figura 7. Mapa de origem dos solos da microbacia Ribeirão Baú com os pontos de tradagem.

### 2.2.3 Identificação das unidades geotécnicas onde ocorreram os movimentos de massa

Objetivando definir as unidades geotécnicas mais suscetíveis à ocorrência de movimentos de massa, foi utilizado o mapeamento realizado por Égas (2011) das cicatrizes ocorridas no evento de 2008. As cicatrizes foram mapeadas utilizando a imagem pancromática do satélite Cbers com resolução espacial de 2,7m, datada de abril de 2009, cerca de quatro meses após o evento, com o auxílio de fotografias panorâmicas aéreas em sobrevoos de helicóptero realizados entre dezembro de 2008 e novembro de 2009 e investigações em campo. As cicatrizes foram mapeadas de acordo com sua forma geométrica, através de polígonos.

No arquivo disponibilizado por Égas (2011), além das cicatrizes de escorregamentos e fluxos de detritos, foram mapeadas as massas deslizadas e as planícies modificadas. Porém, para esta pesquisa o arquivo foi editado no ArcGis 9.3, utilizando-se apenas as cicatrizes de escorregamentos (translacionais e rotacionais) e de fluxos de detritos.

Para identificar a unidade geotécnica mais suscetível foi contabilizado o número de cabeceiras (local de origem) dos movimentos de massa que ocorreram em cada unidade, pois se entende que o mais importante são as características geotécnicas do solo que está gerando o movimento de massa.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As unidades geotécnicas compõem polígonos que representam áreas de solos com comportamento geomecânico semelhante, fazendo-se a sobreposição da pedologia, representada por letras maiúsculas, com o tipo de rocha predominante, por letras minúsculas. Os polígonos estimados são representados na figura 8, contemplando inicialmente nove unidades geotécnicas.

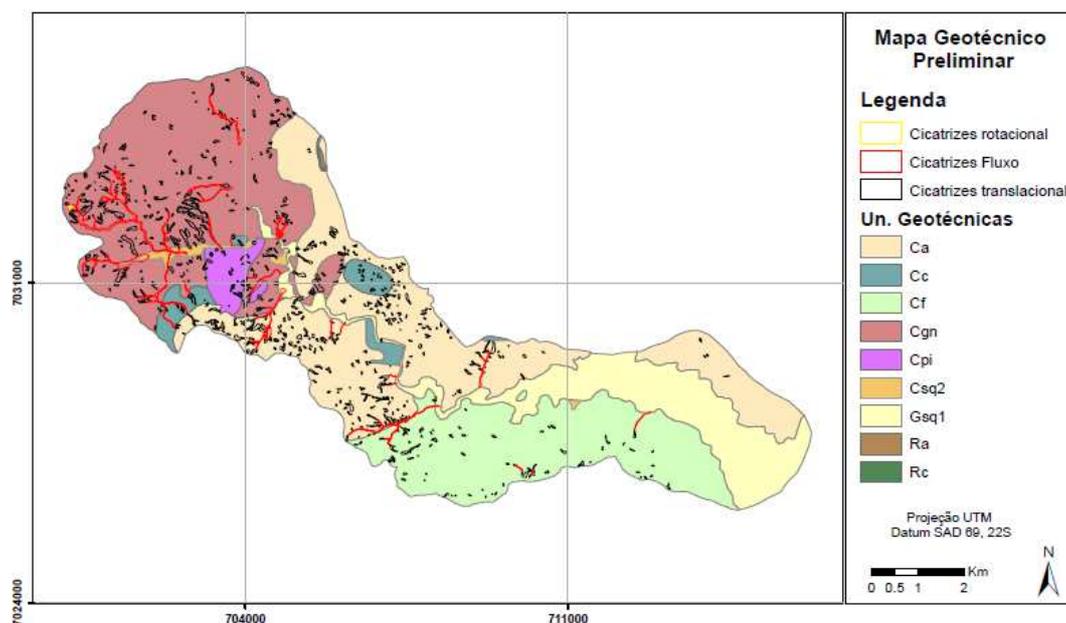


Figura 8. Unidades geotécnicas preliminares na microbacia Ribeirão Baú.

A tabela 1 apresenta a caracterização das unidades geotécnicas estimadas até o momento com sua área na microbacia do Ribeirão Baú. A maior área da microbacia é composta pelas unidades Cambissolo com substrato de gnaiss - Cgn (31,3%), Cambissolo com substrato de arenito - Ca (29,7%) e Cambissolo com substrato de folhelho - Cf (19,7%).

A unidade Cgn caracteriza-se por possuir solo residual, com horizonte C profundo e horizonte B incipiente, sem lençol freático próximo a superfície, os cambissolos originados do gnaiss (Complexo Luiz Alves) apresentam saturação de bases variável, normalmente argila de atividade baixa e textura argilosa e muito argilosa. Localizado em maior parte em área de relevo forte ondulado (20 a 45°), o gnaiss por ser muito erodível, também pode estar relacionado à ocorrência de movimentos de massa.

Compostas predominantemente por área de mata, as unidades Ca e Cf apresentam relevo forte ondulado e características semelhantes ligadas à pedologia. No Grupo Itajaí, originam os solos residuais cambissolos álicos com argila de atividade alta ou baixa, textura argilosa e presença ou não de seixos na massa do solo. O folhelho pode estar relacionado com instabilização de encostas, por ser facilmente intemperizado, assim como um horizonte C profundo.

Durante o evento pluviométrico extremo ocorrido em novembro de 2008, os escorregamentos foram deflagrados de forma generalizada, gerando um grande volume de material que, canalizado para o sistema de drenagem, transformou-se em fluxos de lama e/ou detritos, alcançando grandes distâncias e com alto poder destrutivo. Segundo Égas (2011), esses movimentos de massa

transformaram a topografia, modificando os cursos de águas superficiais e planícies de inundação, remodelando encostas e vales com a remoção da vegetação e/ou plantações em um curto período de tempo. As cicatrizes dos movimentos de massa mapeadas por Égas, estão representadas na figura 8 e tabela 2, sendo 711 cicatrizes de escorregamentos translacionais, 1 de rotacional e 46 de fluxos de detritos, no total são 758 cicatrizes de movimentos de massa, que correspondem a uma área de 2,45 km<sup>2</sup>, equivalentes a quase 4% da área total da microbacia.

Tabela 1. Caracterização das unidades geotécnicas preliminares na microbacia do Ribeirão Baú.

Sigla	Unidade Geotécnica	Área (km <sup>2</sup> )	%	Origem do solo	Relevo predominante	Uso do solo predominante
Ca	Cambissolo substrato arenito	18,67	29,69	Residual	Forte ondulado	Mata
Cc	Cambissolo substrato conglomerado	1,81	2,88	Residual	Forte ondulado	Mata/ Reflorestamento
Cf	Cambissolo substrato folhelho	12,37	19,67	Residual	Forte ondulado	Mata
Cgn	Cambissolo substrato gnaiss	19,69	31,31	Residual	Forte ondulado	Mata
Cpi	Cambissolo substrato piroxenito	1,32	2,10	Residual	Forte ondulado	Mata/ Reflorestamento
Csq2	Cambissolo substrato sedimentos quaternários (coluviais)	0,51	0,82	Sedimentar de origem residual	Ondulado	Pastagem
Gsq1	Gleissolo substrato sedimentos quaternários (aluviais)	8,46	13,45	Sedimentar	Plano	Rizicultura
Ra	Litóico substrato arenito	0,03	0,04	Residual	Montanhoso	Mata
Rc	Litóico substrato conglomerado	0,03	0,04	Residual	Montanhoso/ Escarpado	Mata
Microbacia Rib. Baú	-	62,89	100,00	-	-	-

Tabela 2. Número de cicatrizes por unidade geotécnica na microbacia do Ribeirão Baú.

Mov. Massa	Ca	Cc	Cf	Cgn	Cpi	Csq2	Gsq1	Ra	Rc	Microbacia
Escorregamentos	303	25	77	284	22	1	0	0	0	712
Fluxos de detritos	8	0	4	31	3	0	0	0	0	46
<b>Total</b>	<b>311</b>	<b>25</b>	<b>81</b>	<b>315</b>	<b>25</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>758</b>

Observa-se que, por suas características, algumas unidades são menos ou mais suscetíveis à ocorrência de movimentos de massa. As unidades de solo Litóico com substrato de arenito (Ra) e com substrato de conglomerado (Rc) não foram atingidas. Apesar de situarem-se em área escarpada, o solo é jovem ou inexistente, não havendo a formação de espesso manto de intemperismo, porém podem incidir outros tipos de movimentos de massa como queda de blocos e tombamentos, favorecidos pela presença de descontinuidades na rocha, tais como fraturas e bandeamentos ou pelo avanço dos processos de intemperismo físico e químico. A unidade Gleissolo com substrato de sedimentos quaternários aluviais (Gsq1), apesar de ser atingida por movimentos de massa gerados em outras unidades, foi considerada não suscetível, por estar localizada em áreas planas e de baixa declividade.

Duas unidades se destacam por serem as mais suscetíveis. Com o maior número de cicatrizes de escorregamentos mapeadas, 303, a unidade Ca foi uma das mais atingidas por movimentos de massa. Apesar de serem em maior número, os escorregamentos possuem menor amplitude e

apenas 8 se transformaram em fluxos de detritos. A unidade mais suscetível analisada é a Cgn, com a maior quantidade, 284 cicatrizes de escorregamentos e 31 de fluxos de detritos, e magnitude dos movimentos de massa. Isso pode estar relacionado ao espesso manto de alteração dos gnaisses, por ser facilmente intemperizado, associado às elevadas declividades das encostas e vales encaixados em inúmeras falhas e fraturas.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A microbacia do Ribeirão Baú destacou-se após o evento extremo ocorrido em novembro de 2008 devido à significativa ocorrência de movimentos de massa que mudaram significativamente a morfologia de seus vales e encostas e provocaram mortes e danos à população local.

Seguindo a metodologia proposta por Davison Dias, foram estimadas nove unidades geotécnicas na área de estudo. As maiores são a Cambissolo com substrato de gnaiss (Cgn), com substrato de arenito (Ca) e com substrato de folhelho (Cf), com 31,3; 29,7 e 19,7%, respectivamente.

Das unidades geotécnicas estimadas, foram analisadas as mais suscetíveis a movimentos de massa conforme o número de cicatrizes mapeadas ocorridas em novembro de 2008. Destacaram-se a unidade Ca, afetada por 311 movimentos de massa, e a mais atingida com a maior quantidade e magnitude, a unidade Cgn, com 315 movimentos de massa, por, muitas vezes, apresentar elevada declividade, espesso manto de intemperismo e ampla rede de fraturas e falhas.

A microbacia do Ribeirão Baú, por representar suscetibilidade à ocorrência de movimentos de massa, poderá servir como área-piloto para a aplicação da metodologia de mapeamento geotécnico na análise de áreas suscetíveis, que pode estender-se para os demais municípios e bacias hidrográficas do Vale do Itajaí, historicamente problemáticos quanto à ocorrência de desastres naturais relacionados aos movimentos de massa.

#### REFERÊNCIAS

DAVISON DIAS, R. **Proposta de metodologia de definição de carta geotécnica básica em regiões tropicais e subtropicais**. In: Revista do Instituto Geológico. São Paulo, 1995. p.51-55.

DEFESA CIVIL DE SANTA CATARINA. **Relatório de 31 dez.** 2008. Disponível em: <<http://www.desastre.sc.gov.br>>. Acesso em: 15 set. 2011.

ÉGAS, H. M. **Análise dos movimentos de massa na microbacia do Ribeirão do Baú, Ilhota, SC, com base em critérios da geomorfologia e geologia**. 2011. 169p. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2011.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, Serviço de Produção de Informação, 1999. 412p.

GODOY, H. **Identificação e classificação geotécnica de latossolos do estado de São Paulo pelo método das pastilhas MCT**. 1997. 132p. Tese (Doutorado em Geociências) - Universidade de São Paulo, São Paulo. 1997.

HIGASHI, R. A. R. **Metodologia de uso e ocupação dos solos de cidades costeiras brasileiras através de SIG com base no comportamento geotécnico e ambiental**. 2006. 486p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2006.

KAUL, P. F. T.; FERNANDES, E.; SANTOS NETO, A. dos. **Projeto Gerenciamento Costeiro GERCO - 3º Fase: Geologia**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 2002. 63p.