

Caio Cesar Niehues Aguiar

**MAPEAMENTO DAS ÁREAS SUSCETÍVEIS A DESLIZAMENTOS
ROTACIONAIS NA MICROBACIA DO RIBEIRÃO BAÚ -
ILHOTA/SC.**

Trabalho de Conclusão de Curso
submetido ao Curso de Graduação da
Universidade Federal de Santa Catarina
para a obtenção do Grau de Engenheiro
Civil.

Orientador: Prof. Dr. Rafael Augusto
dos Reis Higashi

Coorientador: Matheus Klein Flach

Florianópolis

2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Aguiar, Caio Cesar Niehues
MAPEAMENTO DAS ÁREAS SUSCETÍVEIS A DESLIZAMENTOS
ROTACIONAIS NA MICROBACIA DO RIBEIRÃO BAÚ - ILHOTA/SC. /
Caio Cesar Niehues Aguiar ; orientador, Rafael Augusto
dos Reis Higashi, coorientador, Matheus Klein Flach, 2018.
79 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico,
Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2018.

Inclui referências.

1. Engenharia Civil. 2. Areas de Risco. 3. Mapeamento
de Suscetibilidade. I. Higashi, Rafael Augusto dos Reis.
II. Flach, Matheus Klein. III. Universidade Federal de
Santa Catarina. Graduação em Engenharia Civil. IV. Título.

Caio Cesar Niehues Aguiar

**MAPEAMENTO DAS ÁREAS SUSCETÍVEIS A DESLIZAMENTOS ROTACIONAIS NA
MICROBACIA DO RIBEIRÃO BAÚ - ILHOTA/SC.**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, julgado adequado e aprovado para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil.

Florianópolis, dezembro de 2018.

Prof. Dra. Luciana Rohde

Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil

Banca Examinadora:



Prof. Dr. Rafael Augusto dos Reis Higashi

Orientador

Prof. Dr. João Victor Staub de Melo

Universidade Federal de Santa Catarina

M^a. Regiane Mara Sbroglia

Examinador Externo

Geol. Matheus Klein Flach

Universidade Federal de Santa Catarina

Dedico este trabalho a Zoh é Pedreira Niehues, in memoriam.

AGRADECIMENTOS

A minha família, pessoas sem as quais dedico tudo que conquistei e que ainda posso conquistar. Pai, mãe e meus avós, por sempre me ajudarem com tudo durante toda minha vida e por sempre acreditarem em meu potencial.

Ao meu coorientador, Matheus Klein Flach, por todo o tempo compreendido, ajuda, disponibilidade, amizade e motivação.

Ao meu orientador, Rafael Augusto dos Reis Higashi, por ter aceitado ser meu orientador nesta pesquisa, e pelos diversos momentos de orientação, ensinamentos e disposição.

Aos laboratoristas do LAMGEO Carol e Rodrigo, pela ajuda na resolução de entraves durante o desenvolvimento do trabalho.

A minha equipe de trabalho no Sapiens Parque.

Aos membros da banca, por terem aceitado contribuir para aprimorar este estudo.

Aos meus amigos (alguns), por terem compreendido minha ausência nos eventos e me apoiarem e acreditarem em mim.

RESUMO

Apesar do considerável avanço tecnológico nos últimos anos, abrigando assim um grande número de pessoas em um pequeno espaço urbano, a ocupação de áreas de risco continua crescendo, tendo em vista a baixa renda de boa parte da população e a grande variedade de relevo do território brasileiro. Cabe salientar que a ocupação destes locais não é feita exclusivamente por pessoas de baixo poder aquisitivo, tendo em vista que muitas vezes esses “locais de riscos” podem também servir de pontos estratégicos para melhorar o abastecimento de serviços de uma determinada região, construir ligações importantes entre áreas urbanas e até mesmo servir de base para altos investimentos imobiliários devido as características específicas da região. Logo, é de extrema importância conhecer o comportamento do solo da região, a fim de evitar a ocorrência de desastres, os quais afetam profundamente a população e economia local. O estudo proposto visa mapear as áreas suscetíveis a deslizamentos rotacionais na microbacia do Ribeirão Baú - Ilhota/SC. Para isso foram obtidos os dados preexistentes da região, como parte do levantamento bibliográfico empregado na primeira etapa do trabalho proposto. Esses dados são, como exemplo, mapas prévios da região de estudo, parâmetros geotécnicos do solo, obtidos com base nos resultados do ensaio de cisalhamento direto em laboratório de amostras coletadas em campo. Com o auxílio do software Mac.S.T.A.R.S, foram elaborados perfis de inclinações hipotéticas com base em dois cenários: média e mínimo dos parâmetros das unidades geotécnicas de cambissolo, tendo em vista que a maior parte da microbacia é constituída deste solo. De posse dos resultados da análise de estabilidade, foram plotados gráficos para obtenção da equação da linha de tendência logarítmica, a qual possibilita encontrar os valores de inclinações do talude correspondentes aos FS orientados pela NBR 11.682/1992. Posteriormente foi utilizado o software ArcGis para gerar o mapa de suscetibilidade, classificando as áreas conforme sua inclinação, além de verificar a localização das cicatrizes. Os resultados foram então validados conforme trabalhos anteriores realizados na mesma área de atuação. De forma geral, grande partes das cicatrizes se situaram em áreas consideradas instáveis, contudo ocorreram exceções, em que algumas destas estão localizadas em áreas classificadas como estáveis. Conclui-se que as modelagens computacionais representam uma boa ferramenta para tentar reproduzir o real comportamento do solo de uma região, contudo a realização de caracterizações e investigações em campo são de grande relevância para identificar áreas e condições específicas que acarretam em instabilidades de encostas.

Palavras-Chave: Desastres naturais. Deslizamentos. Parâmetros de resistência. Fator de segurança. Ribeirão Baú.

ABSTRACT

Despite considerable technological advances in recent years, housing a large number of people in a small urban area, the occupation of risk areas continues to grow, due to the low income of a large part of the population and the great variety of terrain relief Brazilian. It should be noted that the occupation of these sites is not done exclusively by people of low purchasing power, since these "places of risk" can also serve as strategic points to improve the supply of services of a certain region, to build important connections between urban areas and even serve as the basis for high real estate investments due to the specific characteristics of the region. Therefore, it is extremely important to know the soil behavior of the region in order to avoid the occurrence of disasters, which profoundly affect the local population and economy. The proposed study aims to map the areas susceptible to rotational landslides in the microbasin Ribeirão Baú - Ilhota / SC. For that, the preexisting data of the region were obtained, as part of the bibliographic survey used in the first stage of the proposed work. These data are, as an example, previous maps of the study region, soil geotechnical parameters, obtained based on the results of the direct shear test in the laboratory of samples collected in the field. With the aid of the software Mac.S.T.A.R.S, hypothetical slope profiles were elaborated based on two scenarios: average and minimum of the parameters of geotechnical units of cambisol, considering that most of the microbasin is constituted of this soil. Based on the results of the stability analysis, graphs were plotted to obtain the logarithmic trend line equation, which makes it possible to find the values of slope slopes corresponding to FS, guided by NBR 11,682 / 1992. Later ArcGis software was used to generate the susceptibility map, classifying the areas according to their inclination, as well as to verify the location of the scars. The results were then validated according to previous work carried out in the same area. In general, scar areas are located in more unstable areas, with the exception of exceptions, where the species are located in areas classified as stable. It is concluded that computational modeling represents a good tool to try to reproduce the soil behavior of a region, but an in-field characterization and investigation is of great relevance to the specific areas and conditions that lead to slope instabilities.

Keywords: Natural disasters. Landslides. Parameters of resistance. Security factor. Ribeirão Baú

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - CRESCIMENTO POPULACIONAL URBANO E RURAL.....	15
FIGURA 2 - TIPOS DE DESASTRES NATURAIS OCORRIDOS NO BRASIL (1900-2006).....	17
FIGURA 3 - CONDIÇÃO ATMOSFÉRICA DEMONSTRANDO A COMBINAÇÃO DO ANTICLONE E VÓRTICE CICLÔNICO EM 22 DE NOVEMBRO DE 2008.....	18
FIGURA 4 - TOTAL ACUMULADO DA PRECIPITAÇÃO EM MM ENTRE OS DIAS 21 E 25 DE NOVEMBRO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAJAÍ.....	19
FIGURA 5 - INDÍCIOS DE RASTEJO.....	21
FIGURA 6 - CORRIDA DE DETRITOS.....	22
FIGURA 7 - QUEDA DE BLOCOS.....	23
FIGURA 8 - DESLIZAMENTO ROTACIONAL.....	24
FIGURA 9 - ÂNGULO DE ATRITO INTERNO.....	26
FIGURA 10 - CRITÉRIOS DE MOHR E COULOMB.....	27
FIGURA 11 - COMPONENTES DO ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO.....	28
FIGURA 12 - ACONDICIONAMENTO DO BLOCO INDEFORMADO DO SOLO.....	29
FIGURA 13 - GRAU DE SEGURANÇA CONFORME FS.....	30
FIGURA 14 - MÉTODO DE FELLENIUS.....	32
FIGURA 15 - MÉTODO DE BISHOP SIMPLIFICADO.....	33
FIGURA 16 - ESTRUTURA GERAL DO SIG.....	35
FIGURA 17 - OBJETOS VETORIAIS.....	36
FIGURA 18 - REPRESENTAÇÕES MATRICIAIS.....	37
FIGURA 19 - CRUZAMENTO DE MAPAS.....	39
FIGURA 20 - CLASSIFICAÇÃO GEOLÓGICA.....	40
FIGURA 21 - CLASSIFICAÇÃO PEDOLÓGICA.....	40
FIGURA 22 - CRUZAMENTO DE MAPAS PELA METODOLOGIA DAVISON DIAS.....	42
FIGURA 23 - EXEMPLO DE DEFINIÇÃO DE PONTO DE COLETA.....	43
FIGURA 24 - METODOLOGIA PROPOSTA POR HIGASHI.....	44
FIGURA 25 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA MICROBACIA.....	49
FIGURA 26 - MAPA GEOLÓGICO DA MICROBACIA DO RIBEIRÃO BAÚ.....	50
FIGURA 27 - MAPA GEOMORFOLÓGICO DA MICROBACIA DO RIBEIRÃO BAÚ.....	51
FIGURA 28 - MAPA DECLIVIDADE (EM GRAUS) DA MICROBACIA RIBEIRÃO BAÚ.....	52
FIGURA 29 - LITOLOGIA DA MICROBACIA DO RIBEIRÃO BAÚ.....	53
FIGURA 30 - UNIDADES GEOTÉCNICAS PRELIMINARES DA MICROBACIA DO RIBEIRÃO BAÚ.....	54
FIGURA 31 - MAPA GEOTÉCNICO DA MICROBACIA DO RIBEIRÃO BAÚ.....	55
FIGURA 32 - CICATRIZES PRESENTES NA MICROBACIA DO RIBEIRÃO BAÚ.....	56
FIGURA 33 - PARÂMETROS DAS UNIDADES DE CAMBISSOLO.....	58
FIGURA 34 - CLASSIFICAÇÃO DE ESTABILIDADE DAS ÁREAS CONFORME O FATOR DE SEGURANÇA.....	59
FIGURA 35 - GRÁFICO FS X INCLINAÇÃO - PARÂMETROS MÉDIOS.....	62
FIGURA 36 - GRÁFICO FS X INCLINAÇÃO - PARÂMETROS MÍNIMOS.....	64
FIGURA 37 - MAPA DE SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS - PARÂMETROS MÉDIOS.....	66
FIGURA 38 - MAPA DE SUSCETIBILIDADE - PARÂMETROS MÍNIMOS.....	67
FIGURA 39 - MAPA DE SUSCETIBILIDADE DESENVOLVIDO POR SBROGLIA.....	68
FIGURA 40 - MAPA DE SUSCETIBILIDADE (PARÂMETROS MÉDIOS) COM CICATRIZES.....	69
FIGURA 41 - MAPA DE SUSCETIBILIDADE (PARÂMETROS MÍNIMOS) COM CICATRIZES.....	70

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - PARÂMETROS MÉDIOS DAS UNIDADES DE SOLO RESIDUAL DA MICROBACIA DO RIBEIRÃO BAÚ.	61
TABELA 2 – INCLINAÇÕES E SEUS RESPECTIVOS VALORES DE FATOR DE SEGURANÇA.....	62
TABELA 3 - DECLIVIDADES CRÍTICAS.	62
TABELA 4 - PARÂMETROS MÍNIMOS DAS UNIDADES DE SOLO RESIDUAL DA MICROBACIA DO RIBEIRÃO BAÚ.	63
TABELA 5 - INCLINAÇÕES E SEUS RESPECTIVOS VALORES DE FATOR DE SEGURANÇA.	64
TABELA 6 - DECLIVIDADES CRÍTICAS.	64
TABELA 7 - RESUMO DOS DADOS.	65
TABELA 8 - ÁREAS DE ESTABILIDADE – PARÂMETROS MÉDIOS.....	66
TABELA 9 - ÁREAS DE ESTABILIDADE – PARÂMETROS MÍNIMOS.	67
TABELA 10 - NÚMERO DE CICATRIZES PRESENTES EM CADA CLASSE - HIPÓTESE 1.	71
TABELA 11 - NÚMERO DE CICATRIZES PRESENTES EM CADA CLASSE - HIPÓTESE 2.	71

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1 OBJETIVO GERAL.....	14
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 CRESCIMENTO URBANO DESORDENADO	15
2.2 <i>Desastres naturais</i>	16
2.3 MOVIMENTOS DE MASSA	19
2.3.1 Rastejos	20
2.3.2 Corridas	21
2.3.3 Quedas	22
2.3.4 Deslizamentos	23
2.4 PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA DE UM SOLO.....	24
2.4.1 Coesão	25
2.4.2 Ângulo de atrito interno	25
2.5 RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO.....	26
2.5.1 Ensaio de cisalhamento direto	27
2.5.2 Coleta de amostras	28
2.6 ESTABILIDADE DE TALUDES	29
2.6.1 Método Sueco ou das fatias	31
2.6.2 Método de Bishop	32
2.7 MEDIDAS DE PREVENÇÃO.....	34
2.8 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG).....	34
2.8.1 Estrutura de dados	35
2.9 MAPEAMENTO GEOTÉCNICO.....	37
2.9.1 Metodologia Davison Dias	38
2.9.2 Metodologia Higashi	41
2.10 SOFTWARES PARA ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE TALUDES	44
2.10.1 Slide	45
2.10.2 Geo-Slope	45
2.10.3 Mac.S.T.A.R.S	45
2.11 MAPEAMENTO DE ÁREAS DE RISCO.....	46
2.11.1 Análise da distribuição dos movimentos de massa em campo	46
2.11.2 Análise baseada em mapeamento geológico-geomorfológico e/ou geotécnico	46
2.11.3 Aplicação com modelos de bases estatísticas	47
2.11.4 Aplicação de modelos matemáticos (estocásticos e determinísticos)	47
3. AREA DE ESTUDO	48
3.1 GEOLOGIA, GEOMORFOLOGIA E TOPOLOGIA.....	49
3.2 GEOTECNIA.....	52
3.2.1 Refinamento do mapa geotécnico preliminar	54
3.3 CICATRIZES.....	55

4. MATERIAIS E MÉTODO	57
4.1 LEVANTAMENTO DE DADOS PRÉ-EXISTENTES.....	58
4.2 ANÁLISE DE ESTABILIDADE.....	58
4.3 MAPEAMENTO DE RISCO A DESLIZAMENTOS CIRCULARES.....	59
4.4 VALIDAÇÃO DOS CENÁRIOS.....	60
5. RESULTADOS E ANÁLISES	61
5.1 MÉDIA DAS UNIDADES DE CAMBISSOLO.....	61
5.2 MÍNIMOS DAS UNIDADES DE CAMBISSOLO	63
5.3 MAPEAMENTO DAS AREAS SUSCETIVEIS A DESLIZAMENTOS ROTACIONAIS	65
5.4 MAPEAMENTO E VALIDAÇÃO DOS CENÁRIOS	68
6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES	72
6.1 CONCLUSÕES.....	72
6.2 SUGESTÕES	73
REFERÊNCIAS	74

1. INTRODUÇÃO

Conforme Kobiyama (2009), quando algum fenômeno natural é responsável por perdas sociais ou econômicas em uma determinada região, este pode ser caracterizado como um desastre natural. Nos dias de hoje, as inundações e os deslizamentos são os principais desastres que acontecem no Brasil (BRASIL, 2007), sendo que estes ocorrem usualmente em locais que sofreram grandes modificações em relação ao seu estado natural e durante eventos de alta pluviometria. Estas ocorrências podem gerar expressivas perdas humanas e materiais, as quais impactam diretamente o desenvolvimento da área afetada.

Com relação aos deslizamentos em áreas urbanizadas, pode-se citar alguns fatores deflagradores:

- Crescimento urbano desordenado e ocupação de áreas de encostas pela população, por não possuir o devido conhecimento técnico e/ou opção para escolher o local de sua moradia, muitas vezes, escolhendo áreas de riscos;
- Desmatamentos, alterando as características químicas e físicas do solo, tornando-o cada vez mais frágil e suscetível a deslizamentos;
- Mudanças climáticas, as quais tornam o clima cada vez mais imprevisível e difícil na previsão dos desastres naturais;
- Ausência de fiscalização por parte do poder público, que deveriam implementar políticas de conscientização sobre as áreas de riscos presentes no meio urbano;
- Impermeabilização do solo;
- Adensamento das construções, etc.

A criação de mapas de risco é um grande agente mitigatório das consequências que um evento de deslizamento pode resultar, tendo em vista que de posse destes mapas, será possível prever as áreas de maior e menor instabilidade do solo, possibilitando assim que o poder público execute as medidas de prevenção necessárias.

Para esse mapeamento, é necessário conhecer as propriedades do solo, além do mapa geotécnico e de declividade da região. Tendo como base esse mapa, seria possível realizar modelagens computacionais que indicariam os locais de maior instabilidade, e conseqüentemente, de maior propensão à ocorrência de movimentos de terra.

A microrregião de Itajaí situada no litoral norte do estado de Santa Catarina, possui características específicas que aumentam significativamente a probabilidade da ocorrência de deslizamentos, como o seu relevo fortemente ondulado, alto índice pluviométrico, além do mau uso e ocupação do solo.

A proposta deste trabalho é comparar o mapa de suscetibilidade de deslizamentos da microbacia do Ribeirão Baú, desenvolvido por Sbroglia (2015), com um novo mapa de suscetibilidade da região, concebido através do método do fator de segurança, com os parâmetros do solo subdivididos em dois cenários: média e mínimo dos parâmetros das unidades geotécnicas de solo residual.

A comparação destes dois mapas irá nortear futuros pesquisadores, indicando se os resultados são aceitáveis ou se a estratégia de abordagem deverá ser modificada.

1.1 OBJETIVO GERAL

Mapear e avaliar as áreas suscetíveis a deslizamentos rotacionais na microbacia do Ribeirão Baú, Ilhota/SC.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diagnosticar a área de estudo por intermédio da análise de mapas temáticos e dados geotécnicos;
- Obter os resultados dos ensaios das amostras coletados por Sbroglia (2015);
- Obter os parâmetros do solo relativos a cada cenário proposto;
- Obter as inclinações limites do talude dos cenários relacionadas aos FS;
- Mapear a microbacia, classificando suas regiões conforme sua suscetibilidade ao deslizamento;
- Validar o mapa de suscetibilidade tendo como base as cicatrizes de deslizamentos pretéritas;
- Analisar e comparar os resultados com os obtidos por Sbroglia (2015).

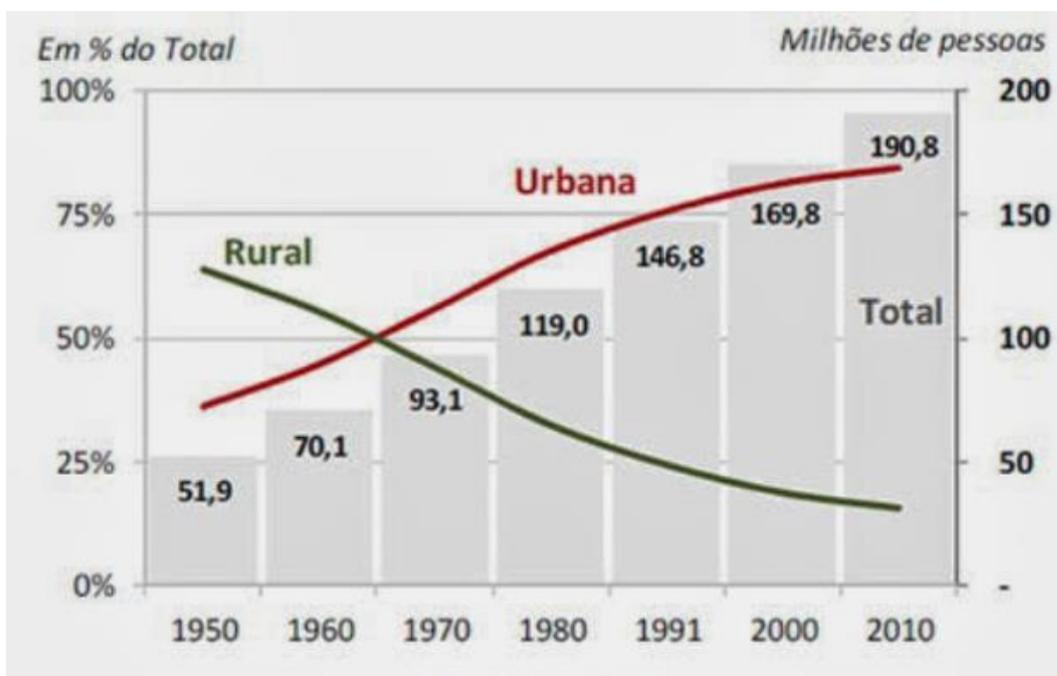
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta unidade será realizada a fundamentação teórica, através de referências bibliográficas, necessária para a utilização da metodologia, revisando princípios e conceitos essenciais para melhor entendimento sobre o tema do trabalho.

2.1 CRESCIMENTO URBANO DESORDENADO

Uma rápida urbanização do território brasileiro, caracterizada por uma grande explosão demográfica e ausência de planejamento, acarretou em desordenamento do uso e ocupação do solo nos centros urbanos. A figura 1 nos confirma essa rápida urbanização e grande crescimento demográfico.

Figura 1 - Crescimento populacional urbano e rural



Fonte: IBGE (2010)

De acordo com Serrano Junior (2012), conforme as cidades foram se expandindo, predominaram ordenamentos jurídicos e urbanísticos que ignorava as classes sociais menos favorecidas financeiramente. Essas pessoas, por sua vez,

buscaram construir suas casas em locais de pouca procura, muitas vezes em áreas de encostas de morros ou distantes da cidade.

As ocupações populacionais em locais impróprios não mudaram no decorrer dos anos, pelo contrário, se acentuaram boa parte em decorrência da grave crise financeira que assola o país. A ausência de infraestrutura urbana em boa parte das cidades brasileiras, caracterizada pelo relevo acidentado e precariedade das construções edificadas, torna o cenário ideal para a ocorrência de desastres.

Segundo Higashi (2006), a desconsideração de fatores geotécnicos e ambientais, tendo em vista a consequente aceleração da expansão urbana, tem apresentado problemas de considerável gravidade para as cidades, como deslizamentos de terras ou enxurradas e inundações.

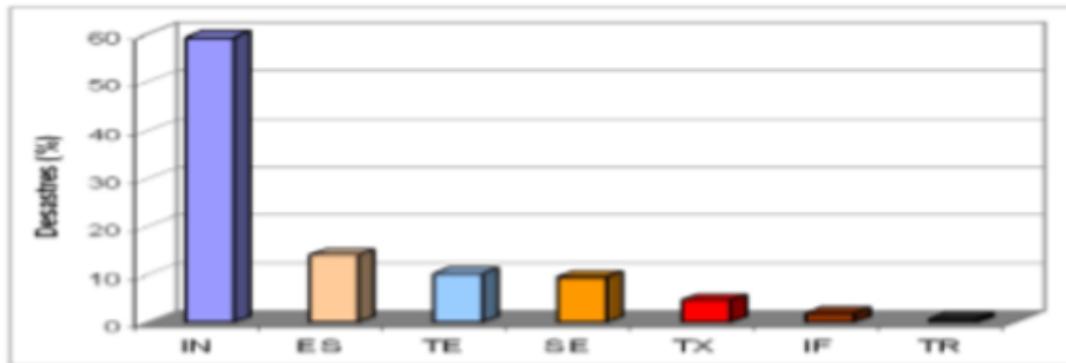
Raimundo (1998) acrescenta que, mesmo com todos os problemas citados, existe uma maneira de encontrar o equilíbrio entre a ocupação urbana de uma encosta com a degradação do meio que a envolve. Contudo, para que isso aconteça, devem ser realizadas medidas regulamentadoras dos órgãos de planejamento e apoio das entidades civis, técnicas e da população local.

Conforme Voltolini (2012) *apud* Cruz (2017), municípios que estão sujeitos a ocorrências geológicas com significativo potencial destrutivo devem adequar seus planos diretores às cartas geotécnicas da região, que incluem o mapeamento de risco, conforme o estipulado no projeto de lei PLV 4/2012.

2.2 DESASTRES NATURAIS

Conforme Souza (2009), desastre natural é caracterizado quando um fenômeno natural atinge uma área ou região habitada pelo homem, causando danos significativos. Essas ocorrências normalmente se tornam tão catastróficas pelo fato de a população não possuir o conhecimento necessário sobre o correto uso e ocupação do solo. No Brasil, os desastres naturais mais frequentes são inundações e deslizamentos de terra, conforme a figura 2.

Figura 2 - Tipos de desastres naturais ocorridos no Brasil (1900-2006).



Legenda – IN – inundação; ES – escorregamento ; TE – tempestade ; SE – seca ; TX – temperatura extrema ; IF – incêndio florestal ; TR - terremoto

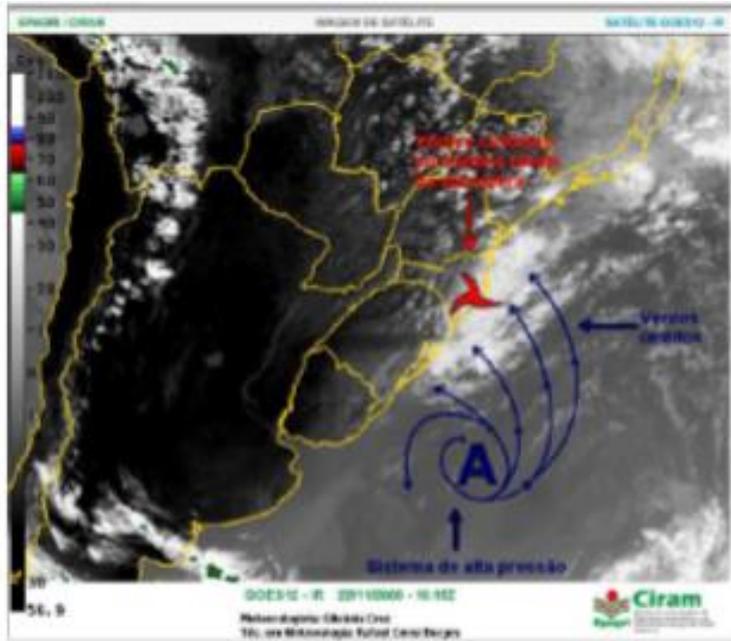
Fonte: (BRASIL, 2007, p.8).

Alexander (1997) *apud* Guerra e Cunha (2011) informa que as consequências de um evento estão intimamente ligadas ao desenvolvimento da região. Entre 1977 e 1996 ocorreram milhares de mortes decorrentes de desastres naturais, sendo que quase 90% ocorreram em países com um menor índice de desenvolvimento, afetando a população de baixa renda que tende a buscar moradias em áreas de risco, devido ao seu menor valor de mercado.

A região Sul do Brasil possui características de eventos com alta pluviometria, além de um relevo acidentado em boa parte de seu território, fornecendo assim fortes indícios para a ocorrência de deslizamentos, como o evento ocorrido em novembro de 2008, na região compreendida pela bacia hidrográfica do Rio Itajaí. Tal evento foi considerado pela Defesa Civil como o mais severo desastre natural da história do estado, acarretando em 135 óbitos, 27.236 desalojados, 5.617 desabrigados, afetando mais de 1,5 milhões de habitantes, causando danos significativos também a infraestrutura de diversos municípios catarinenses.

O evento em questão é fruto de um longo período de precipitações fracas, por períodos constantes, que se iniciaram 3 meses antes, ocasionando em infiltração de água no solo de maneira lenta e gradativa. O clímax dessas precipitações ocorreu entre os dias 20 a 24 de novembro de 2008, decorrentes da combinação de um bloqueio atmosférico causado por um anticiclone sobre o Oceano Atlântico e um sistema de baixa pressão nos médios níveis da atmosfera, conforme figura 3, conhecido como vórtice ciclônico (DIAS, 2009 *apud* SBROGLIA, 2015).

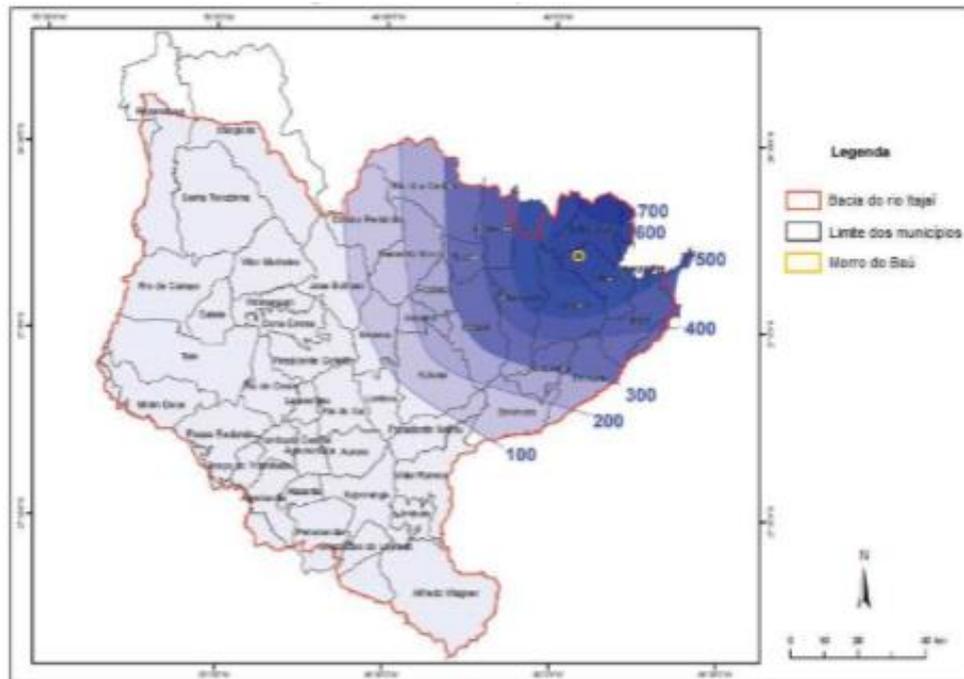
Figura 3 - Condição atmosférica demonstrando a combinação do anticiclone e vórtice ciclônico em 22 de novembro de 2008.



Fonte: Epagri/Ciram, 2008 *apud* Sbroglia (2015).

A combinação desses fatores, durante o dia 21 até o dia 25 de novembro, resultou em valores totais pluviométricos de até 700 mm em regiões localizadas próximas ao litoral norte de Santa Catarina, principalmente no Vale do Itajaí. Essa precipitação foi caracterizada por uma distribuição irregular, ocasionando em maiores valores a nordeste e decrescendo a sudoeste, como pode ser notado na figura 4.

Figura 4 - Total acumulado da precipitação em mm entre os dias 21 e 25 de novembro na bacia hidrográfica do Rio Itajaí.



Fonte: Severo (2009) *apud* Sbroglia (2015).

Segundo Kobiyama (2009), para cada R\$ 1 investido em prevenção de desastres pode-se economizar até R\$ 30 em medidas de reconstrução pós-evento, além do fato de que as graves e diversas consequências dessas ocorrências são causadas majoritariamente pela falta de recursos de obras de prevenção e também pela falta de orientação das autoridades para a população. Com isso em mente, fica claro que a adoção de medidas preventivas são extremamente viáveis para um governo, tendo em vista o alto custo de reparo da região pós-desastre. Carvalho e Damascena (2012) também concluem que os governos devem mudar os conceitos atuais, em que as medidas são tomadas somente após os desastres, e passarem a buscar melhoras nos sistemas de comunicação, alertas de riscos e prevenção, tendo em vista que o custo das medidas pós-evento é superior.

2.3 MOVIMENTOS DE MASSA

Fiori (1995) expõe que os deslizamentos representam um importante papel no desenvolvimento das vertentes do Sul do Brasil, devido ao fato de estar ligado às

condições climáticas úmidas e ao intemperismo intenso das rochas. Ainda conforme o autor, a atuação da força da gravidade acarreta em tensões normais e cisalhantes no interior do solo. Estes esforços cisalhantes são aumentados conforme é aumentada a inclinação e altura do talude, e também conforme aumentado o peso específico do solo e a quantidade de água de infiltração no solo. Quando o valor da tensão cisalhante do solo ultrapassa o limite ocorre a ruptura do talude e possivelmente acarretando em deslizamentos.

Existem diversos tipos de movimentos de massa, caracterizados como transporte de grandes volumes de solo e rochas, ocasionados por diversos fatores, usualmente sob a ação da gravidade.

Os movimentos de massa podem ter diversas classificações, devido à grande variedade de materiais, processos e fatores condicionantes (FERNANDES; AMARAL, 1996). No Brasil, uma classificação bem aceita é a proposta por Augusto Filho (1994), que leva em consideração a velocidade do movimento, teor de água presente no solo, tipo de solo e geometria da seção deslizante. Podendo ser classificada como rastejo, queda de blocos, fluxo e deslizamento.

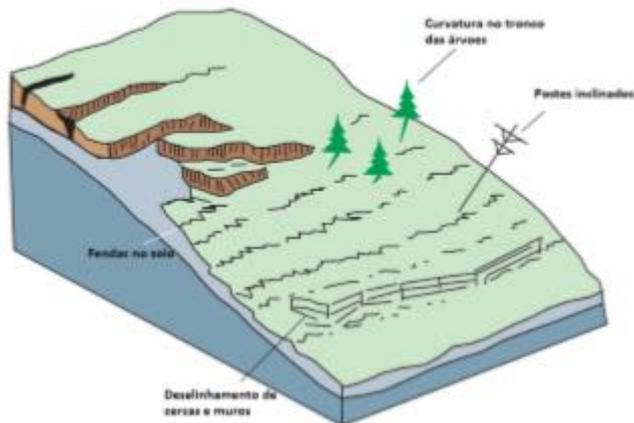
2.3.1 Rastejos

Os rastejos possuem a característica de grande quantidade de massa movimentada sob a ação da gravidade e lentidão de movimento.

Conforme Guidicini e Neible (1984), a diferença do rastejo não está somente na baixa velocidade, mas também no mecanismo de deformação. Enquanto nos deslizamentos o mecanismo de deformação do terreno se assemelha a um sólido que atingiu a tensão de cisalhamento de ruptura, nos rastejos esse mecanismo se assemelha a de um líquido muito viscoso.

Tominaga (2009) também ressalta que este tipo de movimento de massa não apresenta grandes diferenças visíveis entre o solo que está se movimentando e em repouso, conforme podemos notar na figura 5.

Figura 5 - Indícios de rastejo.



Fonte: The Landslide Handbook (2008).

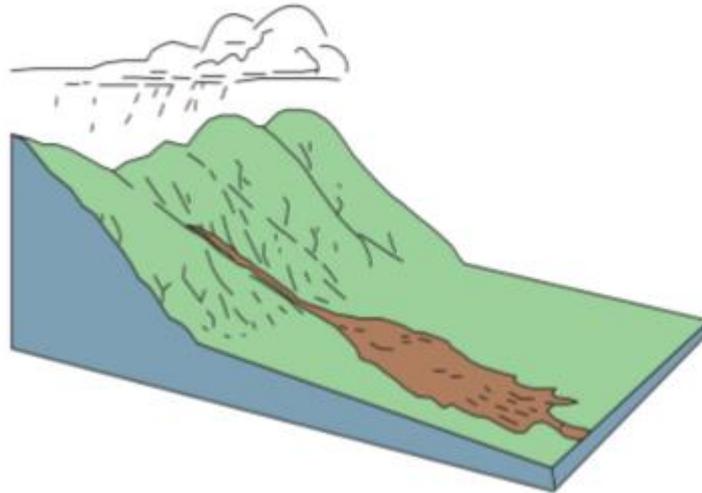
2.3.2 Corridas

No movimento tipo fluxo ou corrida, o solo se comporta como um fluido muito viscoso, vide figura 6, devido à grande presença de água no solo, além de possuir uma velocidade de movimento muito rápida (GUIDICINI; NEIBLE, 1984).

Normalmente ocorrem devido a altos índices pluviométricos registrados na região, onde a massa de solo deslizada da encosta segue a calha fluvial, mobilizando um grande volume de solo, que pode percorrer grandes distâncias em um curto período de tempo, causando enormes prejuízos para a região.

A ocorrência registrada em novembro de 2008 em Santa Catarina pode ser caracterizada em sua maior parte por deslizamentos, muitos associados a fluxos.

Figura 6 - Corrida de detritos.

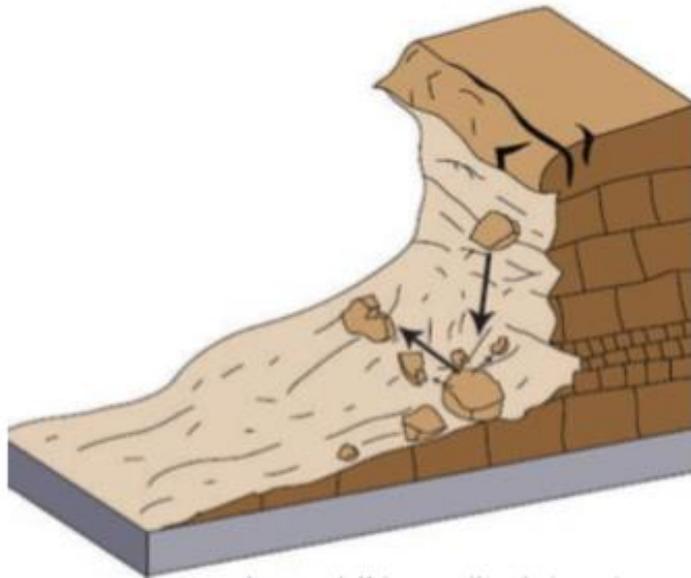


Fonte: The Landslide Handbook (2008).

2.3.3 Quedas

Quedas de blocos são movimentos rápidos e com geometria variável, sob a ação exclusivamente da gravidade (GUIDICINI; NEIBLE, 1984). Esses movimentos são usuais em áreas de relevo extremamente íngremes e paredões, favorecidas pela presença de fraturas nas rochas presentes no local, bem como pela influência de fatores erosivos e intemperismo do solo. (FERNANDES; AMARAL, 2003). A figura 7 exemplifica esse tipo de ocorrência.

Figura 7 - Queda de blocos.



Fonte: The Landslide Handbook (2008).

2.3.4 Deslizamentos

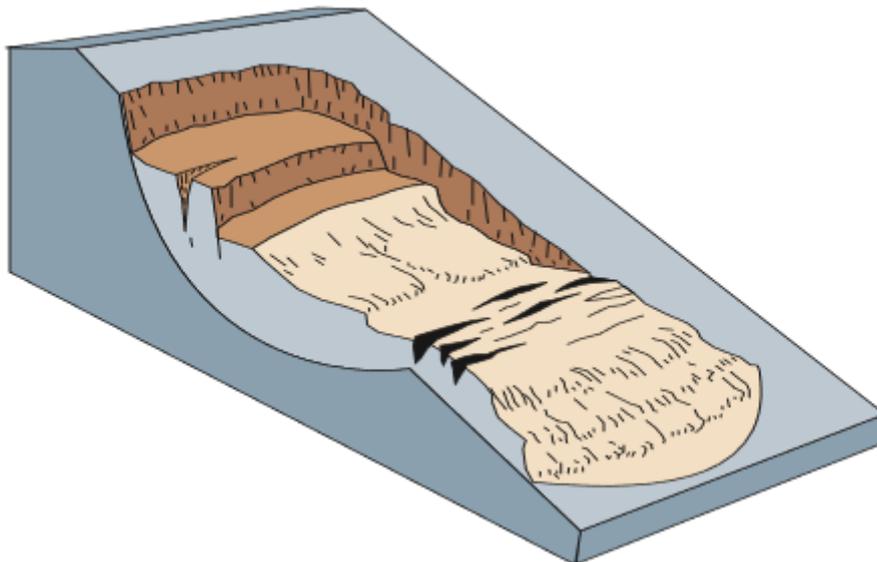
Os deslizamentos também possuem a característica de rapidez de movimento, porém de curta duração com seu plano de ruptura bem definido e geralmente alongado (FERNANDES; AMARAL, 2003). Também podem ser subdivididos, com base na forma do plano de ruptura e tipo de material movimentado. A forma do plano pode ser rotacional, translacional ou até mesmo em cunha.

Deslizamentos translacionais são os mais frequentes entre todos os tipos de movimentos de massa, principalmente nas encostas serranas brasileiras, ocorrendo predominantemente em solos pouco desenvolvidos das vertentes com altas declividades. Sua geometria caracteriza-se por uma pequena espessura com comprimentos bem superiores as larguras (FERNANDES; AMARAL, 2003).

Com relação aos deslizamentos em cunha, estes são caracterizados pela existência de dois planos de fraqueza desfavoráveis a estabilidade, condicionando assim o deslocamento ao longo do eixo de intersecção destes planos. Estes processos são mais comuns em taludes de corte ou encostas que sofreram algum processo natural de desconfinamento, como erosão ou deslizamentos anteriores (SILVEIRA, 2017).

Os deslizamentos rotacionais, abordados neste trabalho, possuem uma forma arredondada, com uma concavidade voltada para cima, a qual se progride o movimento de massa, como pode ser visto na figura 8. A existência de solos homogêneos e de grande espessura favorece a ocorrência desse movimento. Segundo Tomazzoli (2009), esses movimentos geralmente acontecem em áreas urbanizadas, usualmente decorrentes de cortes de taludes equivocados ou grande carregamento de uma encosta devido ao carregamento de obras urbanas.

Figura 8 - Deslizamento rotacional.



Fonte: Fonte: The Landslide Handbook (2008).

2.4 PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA DE UM SOLO

Para que seja possível prever um evento de deslizamento ou até mesmo para a realização segura e correta de qualquer obra de engenharia é de suma importância conhecer os parâmetros do solo, sendo assim possível determinar o comportamento do solo diante das mais adversas situações. Muitas das propriedades físicas do solo são influenciadas pelo tamanho, forma e composição química dos grãos.

O conhecimento dos parâmetros de resistência ao cisalhamento como a coesão e o ângulo de atrito interno são essenciais para executar obras em taludes, como estabilizações, contenções, túneis etc.

2.4.1 Coesão

De acordo com (ABNT NBR 6502,1995), a coesão pode ser definida como a força de atração físico-química entre as partículas de um solo, ou cimentação destas, resultando em uma parcela da resistência cisalhante de um solo, a qual independe da tensão normal aplicada. Esta pode ser subdividida em coesão verdadeira e coesão aparente

Conforme Sbroglia (2015), a coesão verdadeira é resultante das forças eletroquímicas de atração entre as partículas ou resultante de sua cimentação. Podemos notar esta coesão usualmente em solos argilosos, devido à grande força de atração das partículas de argila, e também em solos ricos em sílicas, óxidos de ferro e carbonatos, tendo em vista que esses minerais são considerados agentes cimentantes. Já a coesão aparente aparece em solos parcialmente saturados, quando a atração entre os grãos do solo é afetada devido a pressão capilar da água, ou seja, quando o solo está totalmente seco ou saturado, ela desaparece.

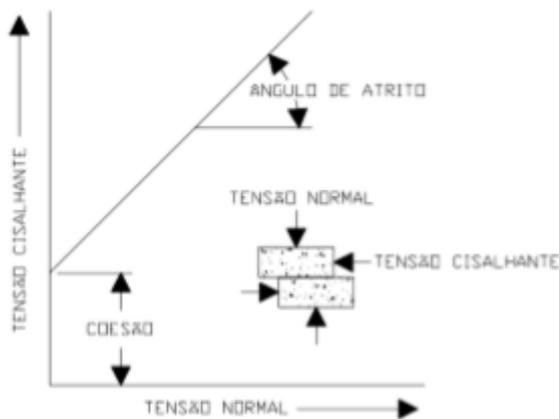
2.4.2 Ângulo de atrito interno

É a força de atrito proveniente do deslizamento dos grãos (ABNT NBR 6502, 1995). Pinto (2006) caracteriza a ocorrência do atrito no solo diferente do atrito ocorrido entre dois corpos, isso porque não existe uma superfície significativa de contato entre os grãos, ou seja, estes podem deslizar ou rolar um sobre o outros, rearranjando-se entre os vazios presentes no solo.

No deslizamento, o atrito ocorre nas superfícies dos grãos devido a sua rugosidade, quando um grão tende a se mover com relação ao outro, pelo fato de haver uma superfície que irá gerar uma força de resistência a este movimento. No entrosamento ou embricamento, a força de atrito ocorre devido ao encaixe das partículas (SBROGLIA, 2015).

Conforme a figura 9, podemos definir o ângulo de atrito interno como o ângulo formado entre a resultantes das forças normais e tangenciais, sendo este o máximo ângulo que a força de cisalhamento possui em relação normal ao plano sem que ocorra deslizamento.

Figura 9 - Ângulo de atrito interno.



Fonte: Adaptado de Guidicini e Nieble, 1984.

2.5 RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO

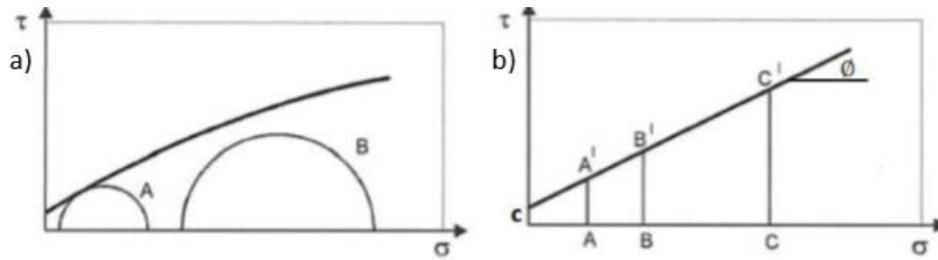
Conforme Pinto (2000), a resistência ao cisalhamento pode ser caracterizada como a máxima tensão cisalhante que o solo suporta sem que ocorra a ruptura, ou seja, a tensão de cisalhamento do solo no plano que a ruptura ocorre. Logo, a análise do estado de tensões que causa a ruptura do solo deve ser conhecida através do estudo da resistência ao cisalhamento.

Atualmente existem dois métodos comumente utilizados para caracterizar os parâmetros de ruptura: Mohr e Coulomb.

Segundo Coulomb, a resistência do solo é uma função linear, e que o solo não irá romper se a tensão de cisalhamento não extrapolar o valor resultando da expressão: $\tau = c + \sigma \cdot \varphi$, em que “c” é a coesão, “ φ ” o ângulo de atrito interno, ambos parâmetros do solo e “ σ ” a tensão normal existente no plano cisalhante (PINTO, 2000).

Conforme Mohr, quando a tensão de cisalhamento for máxima o solo irá se romper. Isto ocorre quando no plano de ruptura as combinações das tensões (normais e cisalhantes), gerarem a tensão de cisalhamento máxima para o solo, a qual dependerá unicamente da tensão normal (SBROGLIA, 2015). A envoltória que define a função de Mohr é uma linha curva, e não haverá ruptura enquanto o círculo do estado de tensões não ultrapassar o limite da curva criada a partir das envoltórias dos círculos do estado de tensão na ruptura, observados experimentalmente. Podemos ilustrar esses conceitos analisando a figura 10.

Figura 10 - Critérios de Mohr e Coulomb.



a) Critério de Mohr, sendo que o círculo A representa um estado de tensões na ruptura, tangente à envoltória, e o círculo B um estado de tensões fora do limite de ruptura.

b) Critério de Coulomb, na qual está representado a equação de linha $\tau = c + \sigma \cdot \phi$

Fonte: Adaptado de Pinto, 2000 *apud* Sbroglia, 2015.

Unindo o conhecimento obtido pelos dois critérios foi possível criar o critério de ruptura de Mohr-Coulomb, conforme a equação (1):

$$\tau = c + \sigma \cdot \text{tg}\phi \quad (1)$$

Em que (τ) é a tensão cisalhante (kPa); (c) é a coesão (kPa); (σ) equivale a tensão normal ao plano (kPa) e (ϕ) o ângulo de atrito interno (graus).

No ano de 1925, Terzaghi realizou estudos que constataram que somente as pressões efetivas de atrito afetam a resistência ao cisalhamento. Logo, a equação (1) foi atualizada conforme a equação (2):

$$\tau = c + \sigma' \cdot \text{tg}\phi \quad (2)$$

Em que (σ') é resultante da tensão total menos a pressão presente no solo.

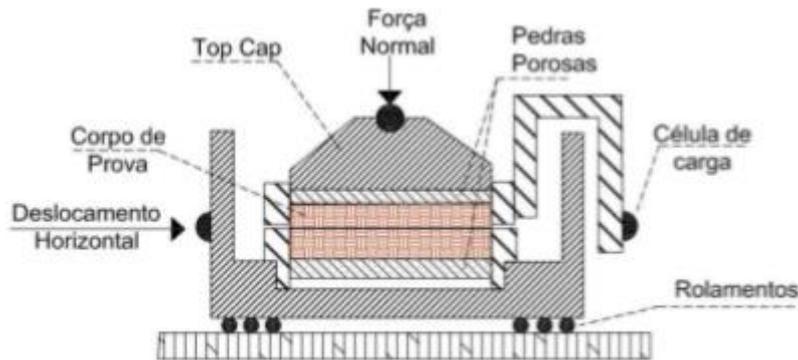
2.5.1 Ensaio de cisalhamento direto

Conforme visto no item anterior, através do critério de Mohr-coulomb, podemos descobrir a tensão cisalhante que provoca a ruptura do solo aplicando uma tensão normal em um plano.

Godoi (2014) informa que no ensaio em questão, uma amostra de solo é colocada em uma caixa metálica bipartida, onde uma metade é fixa e a outra pode ser

movimentada horizontalmente, além de duas pedras porosas, uma superior e outra inferior, a qual permite a drenagem da amostra conforme a característica do ensaio desejado.

Figura 11 - Componentes do ensaio de cisalhamento direto.



Fonte: Godoi (2014).

Após isso, deve ser aplicada uma força vertical N , constante, que realiza a consolidação da amostra, enquanto uma outra força tangencial T é aplicada e aumentada gradativamente, provocando o deslocamento de uma metade da caixa, até ocorrer a ruptura do corpo de prova.

O plano preferencial de cisalhamento é definido bem como as tensões cisalhantes são obtidas através do uso de ferramentas computacionais.

É relevante informar que este ensaio deve ser realizado com uma amostra na condição inundada, a fim de simular uma condição crítica, tendo em vista uma considerável diminuição na coesão do solo sob presença de água (SBROGLIA, 2015).

2.5.2 Coleta de amostras

Um importante passo para a realização dos ensaios e consequentemente obtenção dos parâmetros do solo é a coleta de amostras. Uma amostragem mal coletada pode afetar, e muito, a confiança nos resultados finais.

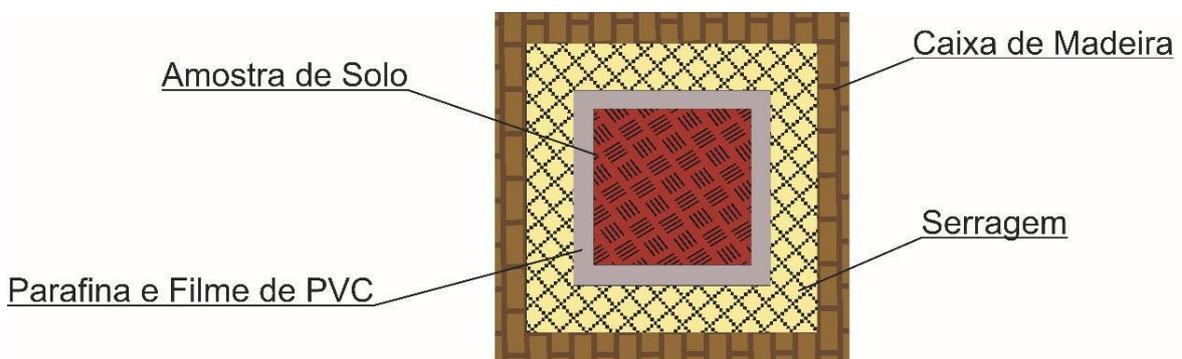
As amostras podem ser classificadas como deformadas, quando ocorre quebra da estrutura do solo, e indeformadas, quando esta estrutura é mantida (FLACH, 2016).

As coletas de amostras deformadas devem conservar os minerais do solo, até mesmo sua umidade natural, entretanto quando o solo é extraído, estas não conseguem conservar sua estrutura original. As amostras podem ser extraídas com o uso de pás, escavadeiras ou talhadeiras (FLACH, 2016).

Segundo Godoi (2014), é necessário um cuidado especial para coletar amostras indeformadas em campo, tendo em vista que essas amostras devem possuir todas as características do solo intactas, para que assim os resultados obtidos em laboratório sejam representativamente iguais ao de campo.

Conforme Maccarini (1999), o bloco deve ser coletado com uma aresta máxima de 25 cm e a embalagem deve ser utilizada de tecido ou filme PVC, seguida com parafina líquida. Após isto, deve-se colocar a amostra dentro de uma caixa de madeira, envolta por um mínimo de 4 cm de uma camada de serragem, evitando assim deformações por eventuais choques no bloco.

Figura 12 - Acondicionamento do bloco indeformado do solo.



Fonte: Adaptado de Maccarini, 1999 *apud* Flach, 2016.

2.6 ESTABILIDADE DE TALUDES

A análise da estabilidade de uma encosta sempre foi uma questão importante para os engenheiros, tendo em vista que o objetivo desta visa prever a possibilidade de ocorrência ou não de movimentos de terra, seja em taludes naturais ou construídos.

Conforme Guidicini e Nieble (1984), devido à enorme gama de variáveis envolvidas no cálculo teórico da estabilidade de um talude, muitas vezes não é viável que seja realizada uma análise precisa da situação da encosta, tendo em vista o

grande gasto de tempo e dinheiro envolvido, além da forte interação entre os parâmetros do solo, os quais acabam se modificando constantemente (saturação, ângulo de atrito interno, coesão, tensões atuantes etc).

As análises de estabilidade de um talude são calculadas com o objetivo de estimar um número relativo que forneça uma melhor compreensão do comportamento do talude, e da sensibilidade deste em relação as mudanças que acabam ocorrendo em suas características durante o tempo.

Essas análises podem ser subdivididas em três grupos:

- Estudos em modelos físicos – Fenomenológicos e de projeto
- Modelos matemáticos – Elementos finitos
- Equilíbrio limite – Gráficos e analíticos

Um talude possui diversos parâmetros em constante mudança e interação entre si, o método do equilíbrio limite tende a ser o de maior simplicidade. Nessa análise, é considerada que os esforços solicitantes sejam menores que os esforços de resistência do talude, para que este se mantenha estável. Caso esses esforços sejam iguais, isso corresponderia a um equilíbrio limite, o qual não gera muita confiança por parte de diversos pesquisadores, tendo em vista a margem de erro na coleta de dados e as características específicas de certas situações em campo.

Logo, o fator de segurança (FS) de um talude pode ser definido como a relação entre a resultante das forças resistentes atuantes e a resultante dos esforços solicitantes. Esse fator possui valores mínimos estipulados em norma, sendo classificado em grau de segurança pela NBR11682/1991, conforme a figura 13.

Figura 13 - Grau de segurança conforme FS.

Grau de segurança necessário ao local	Métodos baseados no equilíbrio-limite	Tensão-deformação
	Padrão: fator de segurança mínimo ^(A)	Padrão: deslocamento máximo
alto	1,50	Os deslocamentos máximos devem ser compatíveis com o grau de segurança necessário ao local, à sensibilidade de construções vizinhas e à geometria do talude. Os valores assim calculados devem ser justificados.
médio	1,30	
baixo	1,15	

^(A) Podem ser adotados fatores diferentes, desde que justificados.

Guidicini e Nieble (1984) destacam diversos métodos para análise de rupturas circulares, contudo será detalhado neste trabalho a metodologia Sueca ou das fatias, desenvolvida por Fellenius e aperfeiçoada por Bishop, tendo em vista que esta será a metodologia utilizada pelo software para a análise da estabilidade dos taludes da microbacia do Ribeirão Baú.

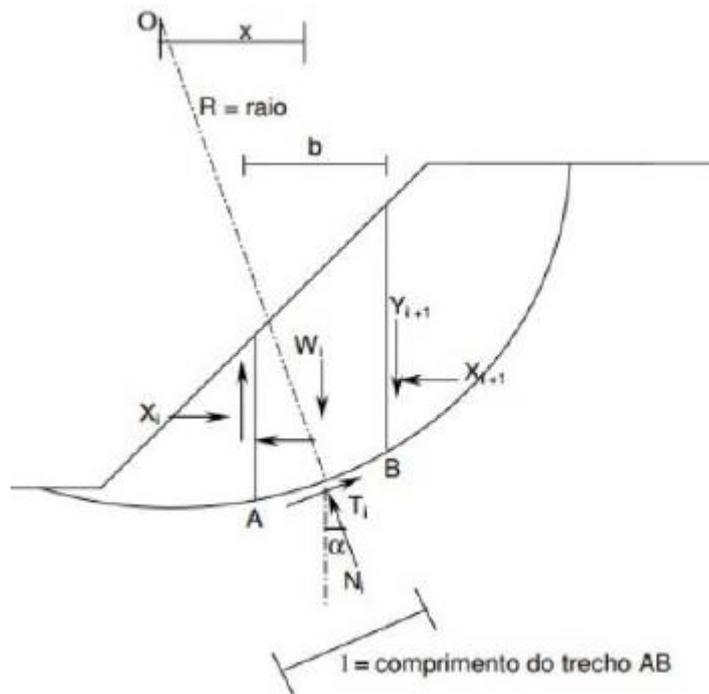
2.6.1 Método Sueco ou das fatias

No início do século XX o professor Wolmar Fellenius propôs uma nova metodologia para análise da estabilidade de encostas, com base em estudos de deslizamentos ocorridos em ferrovias e portos na Suécia.

Esse método consiste em primeiramente arbitrar uma superfície de ruptura circular para o talude, após uma subdivisão do talude em fatias, realizar o equilíbrio das forças em cada fatia e calcular o equilíbrio do conjunto através da equação de equilíbrio de momentos com relação ao centro do círculo de ruptura. Após isso, devem ser realizados diversos círculos com centros diferentes, visando o menor valor do FS para o conjunto das superfícies calculadas.

Conforme Gerscovich (2012), esta metodologia possui diversos “benefícios”, que a tornam muito utilizada até nos dias de hoje, dentre elas podemos citar a não restrição quanto à geometria do talude, homogeneidade do solo, análise em termos de tensões totais ou efetivas e condições de carregamento (durante a construção ou a longo prazo).

Figura 14 - Método de Fellenius.



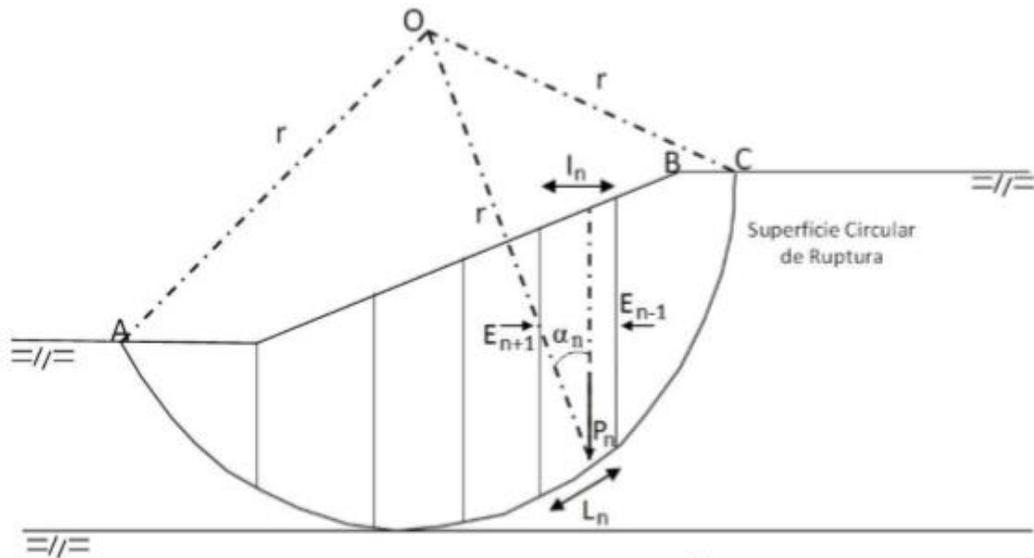
Fonte: Guidicini e Neible (1984).

2.6.2 Método de Bishop

Em 1955, Alan Wilfre Bishop propôs um refinamento para a metodologia proposta por Fellenius, considerando também o equilíbrio das forças resistentes e atuantes em cada fatia.

Rogério (1977) conclui que o método de Fellenius acarreta em um FS 15% maior que o de Bishop, o qual fornece assim um valor mais conservador, e, portanto de maior segurança.

Figura 15 - Método de Bishop simplificado.



Fonte: Remédio (2014).

Fiori e Carmignani (2009, *apud* Flach 2016) concluíam que a diferença entre E_{n-1} e E_{n+1} é igual a zero, resultando nas seguintes expressões:

$$FS = \sum \left[\frac{(c' l_n + P_n \operatorname{tg} \phi') \frac{1}{m_{an}}}{\sum P_n \operatorname{sen} \alpha_n} \right] \quad (3)$$

Onde,

$$m_{an} = \cos \alpha_n + \frac{\operatorname{tg} \phi' \operatorname{sen} \alpha_n}{FS} \quad (4)$$

Sendo:

c' = Coesão;

ϕ' = Ângulo de atrito do solo;

P_n = Peso da fatia;

l_n = Comprimento da fatia;

α_n = Ângulo entre a vertical e o raio da superfície de ruptura.

Como observado, a equação (4) depende do FS (fator de segurança), que é uma incógnita conforme a equação (3). Logo é necessário arbitrar um valor de FS, o qual resulta em um processo iterativo para obtenção do m_{an} . Esse processo deve ser repetido até a convergência dos valores do FS. Gerscovich (2012) considera que iniciando o processo iterativo com o valor do FS calculado pelo método de Fellenius, a convergência deste processo é rápida.

2.7 MEDIDAS DE PREVENÇÃO

Conforme Kobiyama (2004), as ações de prevenções à desastres naturais podem ser classificadas em ações estruturais e não estruturais.

Ações estruturais são as obras de engenharia, podendo citar a retificação de canais, sistemas de estabilidade de taludes, melhorias na infraestrutura urbana etc.

Já as ações não estruturais são caracterizadas por possuir um custo e complexidade muito menor, além de fornecer uma previsão de quando e onde os desastres possuem maior possibilidade de ocorrer. Podemos citar como exemplo de ações não estruturais a criação de sistemas de alertas, melhora nas orientações públicas sobre o crescimento urbano e uso do solo, além do mapeamento de risco.

2.8 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG)

Atualmente, a maioria das metodologias utilizadas para realizar o mapeamento geotécnico de uma região emprega o uso de SIG, uma ferramenta que possibilita a armazenagem, recuperação, visualização, justaposição e manipulação de dados com o intuito de realizar análises e modelagens espaciais georreferenciadas (OLIVEIRA, 2014).

Esse sistema pode ser considerado como uma tecnologia recente, que está intimamente ligado ao grande crescimento tecnológico dos últimos 30 anos. Devido a este fato, existem diversas definições sobre os SIG, sendo que boa parte se encontram ultrapassadas decorrente da evolução dos processadores, os quais possibilitam o aperfeiçoamento da ferramenta, que possui cada vez mais recursos e áreas de utilização.

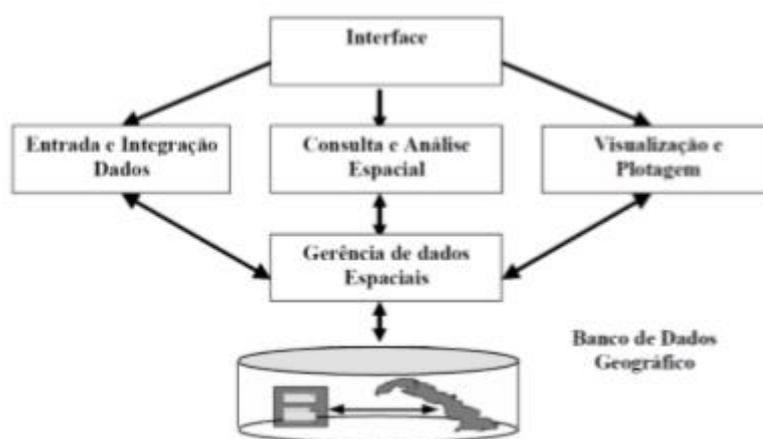
Conforme Higashi (2002):

“O Sistema de Informações Geográficas não é simplesmente um software ou um pacote de funções que mostram um mapa digital na tela de um computador, mas deve ser visto como um sistema de apoio à tomada de decisões, bem como um sistema de gerenciamento de informações. O Sistema de Informações Geográficas permite várias aplicações no campo do Mapeamento Geotécnico. Estas aplicações proporcionam a elaboração de mapas temáticos, cartografia geotécnica, modelagem numérica de terrenos para análise de risco, avaliação geotécnica e gerenciamento ambiental (HIGASHI, 2002)”.

Câmara *et al.* (2000) informa que o SIG possui a estrutura conforme a figura 16, dividida em partes:

- 1-Interface com o usuário;
- 2-Entrada e integração de dados;
- 3-Consulta, análise espacial e processamento de imagens;
- 4-Visualização e plotagem
- 5-Banco de dados geográficos

Figura 16 - Estrutura geral do SIG.



Fonte: Câmara (2000).

2.8.1 Estrutura de dados

A estrutura dos dados no ambiente SIG segue dois padrões: dados vetoriais ou matriciais (raster).

Conforme Higashi (2006), os dados vetoriais são compostos de pontos, nós, linhas, cadeias, anéis e polígonos, ou seja, formatos vetoriais que possuem coordenadas em suas extremidades. Possuem alta precisão dos dados e podem também serem utilizados em outros softwares de ambiente CAD. São comumente utilizados por engenheiros e projetistas devido a suas características de precisão.

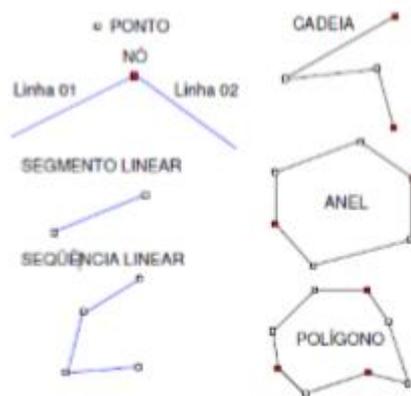
Segundo Christ (2014), os elementos geométricos podem ser utilizados conforme sua aplicação.

Pontos: Locais de coleta de amostras, furos de sondagens e presença de mobiliários urbanos.

Linhas: Distribuição de água, esgoto, energia. Falhas geológicas. Curvas de nível.

Polígonos: Delimitação de áreas, unidades geotécnicas, zoneamento urbano etc.

Figura 17 - Objetos vetoriais.



Fonte: Higashi (2006).

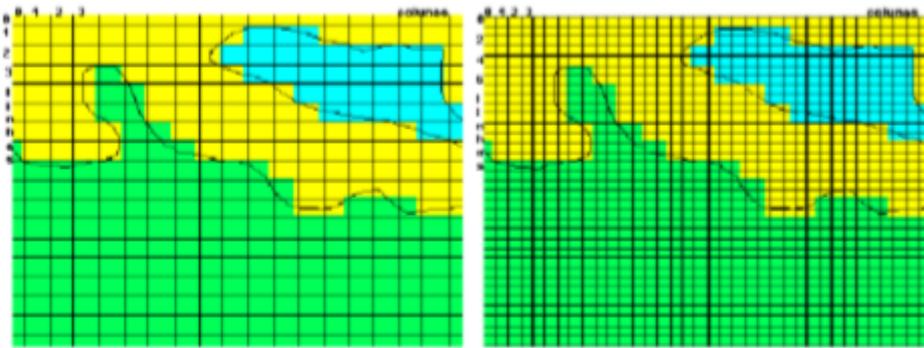
Já os dados matriciais ou rasters possuem representação em forma de matriz $P(m,n)$ composta por “m” colunas e “n” linhas, onde cada célula (pixel) possui um valor (atributo) correspondente. Logo, cada célula possui somente uma localização com seu correspondente atributo (CÂMARA *et al.*, 2000).

Conforme Mafra Jr. (2007), a área de estudo é dividida em uma malha de células, onde para cada uma é atribuída um dado qualitativo ou quantitativo. As células são consideradas os pontos da matriz que dividem toda a imagem. Quanto menor a célula, melhor a resolução, tendo em vista que uma maior quantidade de pontos

formará a imagem. Imagens de satélites ou aerofotogramétricas são exemplos de dados matriciais.

A figura 18 ilustra dois mapas com dados matriciais. O mapa da direita possui células quatro vezes menores, o que lhe confere uma resolução quatro vezes mais e assim uma maior precisão, entretanto isso acaba por causar um maior espaço de armazenamento.

Figura 18 - Representações matriciais.



Fonte: Câmara *et al.* (2000).

2.9 MAPEAMENTO GEOTÉCNICO

Segundo UNESCO (1976), o mapeamento geotécnico é definido por um mapa geológico que caracteriza todos os componentes significantes que influenciam no planejamento do uso do solo, bem como nos projetos relacionados a Engenharia.

De acordo com Mafra Jr (2007), o produto do mapeamento geotécnico deverá possuir relação à ocupação do meio físico, podendo assim apontar entraves relacionados a ocupação de cada unidade geotécnica, evitando assim agressões ao meio ambiente.

Adicionalmente, Higashi (2006) diz que:

“O mapeamento geotécnico é uma metodologia em que sob a forma de um mapa são representadas as principais características geomecânicas do solo, podendo ser utilizado na previsão de comportamento de polígonos de solos chamados de

unidades geotécnicas, possibilitando sua aplicação em projetos ambientais e de engenharia (HIGASHI, 2006).”

Com base nas definições desses autores, podemos concluir que o mapeamento geotécnico é de suma importância para a engenharia, tendo em vista que nos fornece uma representação geral dos componentes da área de estudo, componentes esses que influenciam consideravelmente nas definições iniciais de toda e qualquer obra de engenharia.

Inúmeras metodologias foram criadas em diversos países para realizar o mapeamento geotécnico de uma região. No Brasil, podemos listar algumas de maior relevância:

- Metodologia do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT);
- Metodologia UNESP/Rio Claro;
- Metodologia EESC-USP;
- Metodologia UFRGS;
- Metodologia Higashi

Destaca-se neste trabalho a metodologia UFRGS, criada por Davison Dias, utilizada para o mapeamento geotécnico de grandes áreas localizadas em regiões de clima tropical e subtropical, e também a metodologia Higashi, utilizada em zonas costeiras, as quais caracterizam a área de estudo deste trabalho.

2.9.1 Metodologia Davison Dias

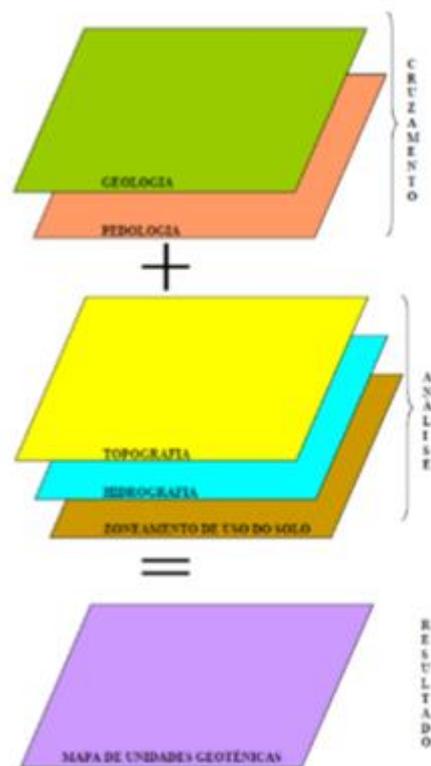
Regina Davison Dias criou uma metodologia que possui grande importância no Brasil, tendo em vista que as metodologias mais utilizadas na época foram elaboradas por países do hemisfério norte, em um cenário completamente diferente do nosso.

Logo, a metodologia de mapeamento geotécnico de grandes áreas proposta por Davison Dias (1995) caracterizava de maneira eficaz os solos tropicais e subtropicais presentes no Brasil.

Segundo Higashi (2006), essa metodologia baseia-se na criação de um mapa geotécnico, onde os mapas litológicos, proveniente de um mapa geológico, e pedológico são utilizados para a criação das unidades geotécnicas com comportamento geomecânicas pressupostas.

Além disso, são analisados os mapas topográficos, hidrográficos e zoneamento de uso do solo, definindo assim preliminarmente os polígonos que representam as unidades geotécnicas.

Figura 19 - Cruzamento de mapas.



Fonte: Mafra Jr. (2007).

A sequência da Metodologia Davison Dias está esquematizada na figura 19. Inicialmente são cruzados os mapas pedológico e geológico, resultando assim em um mapeamento geotécnico preliminar. Como este mapa preliminar em mãos, serão realizados ensaios de laboratoriais e de campo, a fim de conhecer os parâmetros do solo, que unidos aos dados obtidos anteriormente serão capazes de identificar as unidades geotécnicas presentes na área de estudo. Para nomear as unidades geotécnicas, deve-se unir as classificações geológicas e pedológicas, na qual as letras

mai úsculas representam a pedologia, enquanto as minúsculas caracterizam a geologia local, como pode ser observado nas figuras 20 e 21.

Figura 20 - Classificação Geológica.

Sigla	Classificação	Sigla	Classificação
a	Arenito	g	Granito
ag	Argilito	gl	Granulito
an	Andesito	gn	Gnaisse
ar	Ardósia	gd	Granitóide
b	Basalto	ma	Mármore
br	Brecha	p	Pelito
c	Conglomerado	q	Quartzito
ca	Calcáreo	r	Riolito
cm	Complexo metamórfico	si	Sienito
cr	Carvão	s	Siltito
d	Diorito	sq	Sedimentos quaternários
da	Dacito	st	Sedimentos terciários
f	Folhelho	x	Xisto

Fonte: Higashi (2006).

Figura 21 - Classificação Pedológica.

Sigla	Classificação	Sigla	Classificação
A	Aluviais	P	Podzóis Indiscriminados
AQ	Areia Quartzosa	PB	Podzóico Bruno-Acidentado
B	Brunizém	PE	Podzóico Vermelho-Escuro
BV	Brunizém Vértico	PL	Planossolo
C	Cambissolo	PLV	Planossolo Vértico
CB	Cambissolo Bruno	PLP	Planossolo Plíntico
GH	Glei	PT	Plintossolo
HO	Solo Orgânico	PV	Podzóico Vermelho-Amarelo
LA	Latossolo Amarelo	R	Litóico
LB	Latossolo Bruno	TR	Terra Roxa Estruturada
LBC	Latossolo Bruno Câmbico	TB	Terra Bruna-Estruturada
LBR	Latossolo Bruno-Roxo	TBR	Terra Bruna-Roxa
LE	Latossolo Vermelho-Escuro	TBV	Terra Bruna Podzóica
LR	Latossolo Roxo	V	Vertissolo
LV	Latossolo Vermelho-Amarelo		

Fonte: Higashi (2006).

Higashi (2006) destaca que:

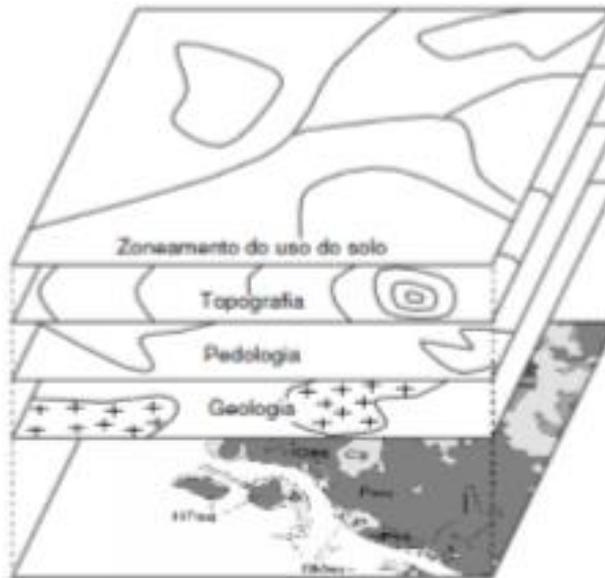
“A classificação geotécnica não deve ser confundida com a classificação pedológica, fato possível devido a origem das mesmas e a consequente semelhança na simbologia”.

2.9.2 Metodologia Higashi

Conforme Higashi (2006), as metodologias de mapeamento geotécnico não consideram locais que serão ocupados, em curto prazo, por centros urbanos. Logo, baseado na metodologia de Davison Dias (1995), o professor Higashi propôs o planejamento geotécnico da expansão urbana, que considera não somente as características dos solos tropicais e subtropicais, mas também as vertentes de crescimento urbano. Com isso, os responsáveis pelas orientações sobre o uso e ocupação do solo da região possuem maiores informações para conseguir direcionar o crescimento da cidade de uma maneira mais segura e correta.

O primeiro passo dessa metodologia é realizar uma análise geotécnica preliminar da área. Após isso, de posse dos mapas geológicos, pedológicos e das curvas de nível, é criado um novo mapa de estimativas das unidades geotécnicas, utilizando as mesmas simbologias de Davison Dias (1995). A figura 22 ilustra estes cruzamentos de mapas.

Figura 22 - Cruzamento de mapas pela Metodologia Davison Dias.



Fonte: Higashi (2006).

De posse deste mapa preliminar, devem-se realizar ensaios específicos em cada unidade geotécnica, com o intuito de caracterizar o comportamento geomecânico das formas criadas. Após isso, realiza-se uma análise temporal do crescimento da mancha urbana, através de vetores de crescimento. Em seguida, as áreas de estudo são definidas por meio da individualização de universos geotécnicos, através das diferenças nas características dos solos. Isto deve ser executado em etapas:

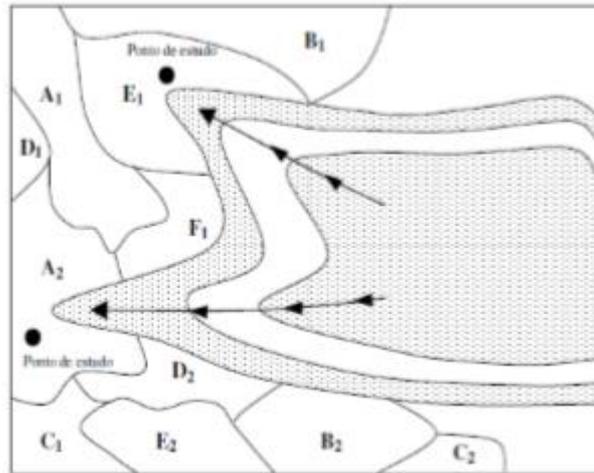
Primeira etapa: Construção de modelos de elevação e declividade;

Segunda etapa: Construção e análise de um banco de dados de sondagens SPT;

Terceira etapa: Trabalhos de campo – utilizando tradagens nos solos e uso de GPS.

Analisando os modelos altimétricos, é analisada a diferença entre os solos sedimentares e residuais das regiões costeiras. Após essa análise, inicia-se a identificação, em campo, dos universos individualizados nos SIG. Os pontos de coleta de amostras devem ser definidos com base prováveis áreas de ocupação do centro urbano, com base nos vetores de crescimento. A figura 23 ilustra a identificação desses pontos a partir dos vetores de crescimento.

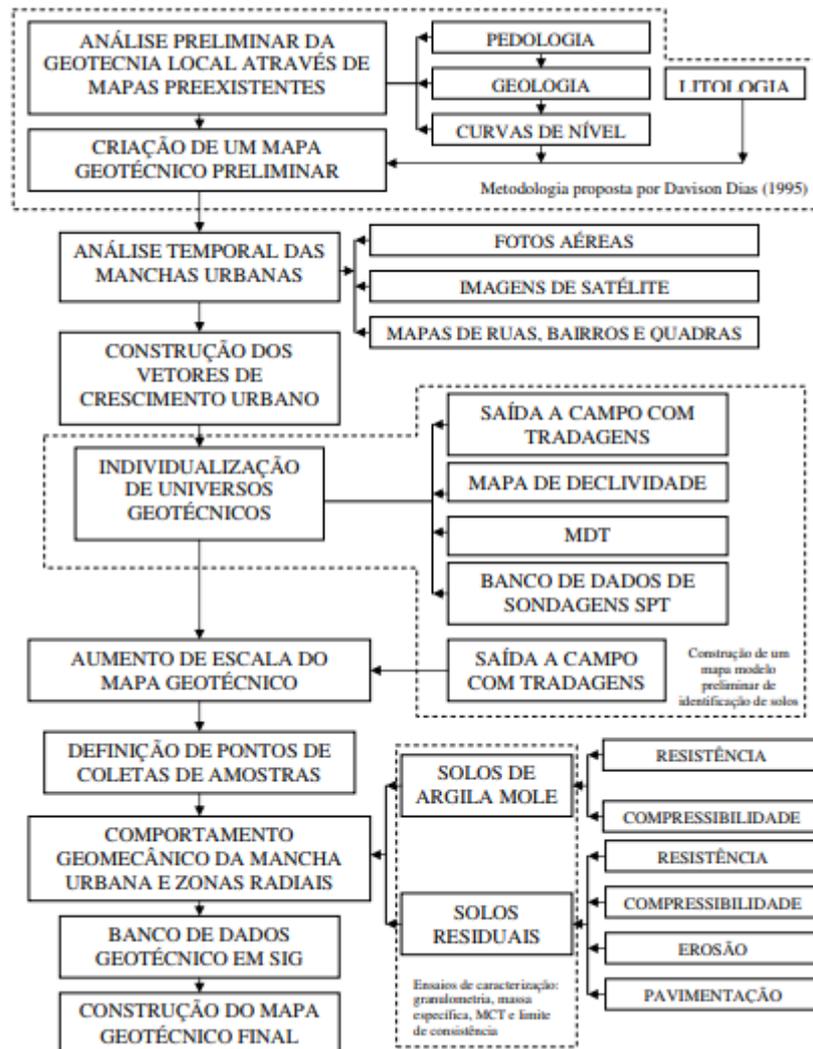
Figura 23 - Exemplo de definição de ponto de coleta.



Fonte: Higashi (2006).

Logo após a coleta de amostras, são iniciados os ensaios de laboratório, a fim de se conhecer os parâmetros de comportamento geotécnico da região. De posse dos resultados dos ensaios, é criado um banco de dados espacial em SIG, sem repetição de dados e permitindo um acesso ágil e que seja possível atualizar os dados por diversos usuários. Por fim é criado o mapa geotécnico final, elaborado de acordo com o mapa geotécnico preliminar e dos ensaios de campo e laboratório realizados nos pontos de amostragem. Higashi complementa que o mapa final deve ser apresentado de forma sucinta, através de unidades chamadas de “zonas de solo”, tendo em vista que a ocupação dos solos é orientada pelo poder público. A figura 24 ilustra o fluxograma da metodologia proposta por Higashi (2006).

Figura 24 - Metodologia proposta por Higashi.



Fonte: Higashi (2006).

2.10 SOFTWARES PARA ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE TALUDES

Com relação aos deslizamentos, modelos bidimensionais tipo equilíbrio limite, baseados na pesquisa de diversas superfícies de rupturas e abordagens estáticas são os mais recomendados e utilizados para o cálculo de estabilidade, devido à facilidade e precisão no resultado. Podemos citar diversos softwares que realizam essa análise, como o Slide da Roscscience, o Geo-slope da empresa Geostudio e o Mac.S.T.A.R.S, da empresa Maccaferi.

2.10.1 Slide

Este software possui alguns métodos de análises concebidos com base na subdivisão da massa potencialmente instável das fatias e na determinação do FS através da relação dos esforços solicitantes e resistentes. O diferencial deste programa é sua análise por elementos finitos, além de ser possível inserir dados relativos às águas subterrâneas e possibilidade de análise probabilística.

2.10.2 Geo-Slope

O Geo-Slope é um programa que permite calcular a estabilidade de um talude analisando diversos parâmetros de entrada, por exemplo as formas da superfície de deslizamento, condições de poro-pressão, características do solo e condições de carregamento.

2.10.3 Mac.S.T.A.R.S

O software desenvolvido pela Maccaferri conduz verificações de estabilidade de solos reforçados, ou seja, estruturas que fornecem ao solo estabilidade utilizando unidades de reforço que permitem absorver as tensões resultantes.

O software disponibiliza dois tipos de cálculo: método de Bishop e Janbu. Cabe salientar que a diferença dos resultados entre os dois é mínima. O programa também permite verificar a estabilidade do talude utilizando o Método do Equilíbrio Limite, além de ser possível escolher a superfície de ruptura desejada.

Este software possui menos ferramentas e quantidades de informações com relação ao Geo-slope e o Slide, contudo possui grande aceitação no meio acadêmico, com um número muito maior de uso em artigos e trabalhos publicados. Autores como Cruz (2017), Monteiro (2016), Sinimbuh (2016), Sbroglia (2015), Veronez (2014), Fraga e Jung (2013) e Chuquimuni (2005) utilizaram o software em seus trabalhos e obtiveram ótimos resultados, provando que a escolha do Mac.S.T.A.R.S para realização da análise da estabilidade do solo deste trabalho é a ideal.

2.11 MAPEAMENTO DE ÁREAS DE RISCO

Segundo IPT (2012), uma área pode ser considerada de risco quando esta é passível de ser atingida por processos naturais e/ou induzida que cause efeito adverso. Atualmente com o processo da urbanização desordenada, está ocorrendo um aumento expressivo no número de pessoas ocupando estas, fato relacionado a diversos fatores como a crise econômica, ineficácia das políticas de uso e ocupação do solo, inexistência de apoio técnico a população entre outros.

Grande parte destas áreas de risco no Brasil se encontram em encostas de morros, nas quais o principal evento passível de caráter destrutivo é o deslizamento de terra. Desta forma, o mapeamento destas áreas suscetíveis a deslizamentos fornece uma ferramenta importante para o desenvolvimento de medidas preventivas, no intuito de minimizar os danos causados por estes eventos.

Segundo Guimarães (2008), existem quatro grandes grupos de metodologias para a previsão de movimentos de massa.

- Análise da distribuição dos movimentos de massa em campo;
- Análise baseada em mapeamento geológico-geomorfológico e/ou geotécnico;
- Aplicação de modelos com bases estatísticas;
- Aplicação de modelos matemáticos (estocásticos e determinísticos).

2.11.1 Análise da distribuição dos movimentos de massa em campo

Conforme Fernandes (2000), esta metodologia é baseada na distribuição das cicatrizes e depósitos dos deslizamentos recentes, os quais podem sugerir futuros padrões para o comportamento das instabilidades.

2.11.2 Análise baseada em mapeamento geológico-geomorfológico e/ou geotécnico

O mapeamento geológico-geomorfológico é de fundamental importância para caracterização das áreas de risco. Isto porque, segundo Santos (1997), existem

diversos atributos naturais do solo que afetam sua erodibilidade e conseqüentemente instabilidade das vertentes dos taludes, como a granulometria, estrutura, capacidade de infiltração e retenção de água no solo, permeabilidade, teor de matéria orgânica e espessura.

Com relação a geotecnia, para uma análise da estabilidade de uma vertente é necessário conhecer os esforços mais atuantes sobre ela, sendo a coesão o principal fator a determinar a resistência ao deslizamento (VELOSO, 2009).

2.11.3 Aplicação com modelos de bases estatísticas

Este modelo parte do princípio da existência de relações funcionais de correlação entre os fatores condicionantes e a distribuição dos movimentos de massa (GUIMARÃES, 2008).

O cruzamento das variáveis é um procedimento muito bem aceito nas análises espaciais, conhecida também como árvores de decisões ou análise hierárquica de pesos. Este procedimento se baseia no mapeamento das variáveis conforme plano de informação de pertinência e cada um dos componentes empregado utiliza uma matemática simples de média ponderada. A análise também possibilita a inserção de dados qualitativos que devem ser padronizados e mensurados conforme sua avaliação de qualidade (MOURA, 2007 *apud* EGAS, 2011).

2.11.4 Aplicação de modelos matemáticos (estocásticos e determinísticos)

Possui o intuito de tentar reproduzir os sistemas ambientais a partir de equações físicas que tentam descrever o comportamento dos processos que influenciam um fenômeno (SBROGLIA, 2015). Esses modelos podem ser subdivididos em estocásticos e determinísticos. Conforme Tominaga (2009), os modelos estocásticos usualmente utilizam bases estatísticas, conferindo menor subjetividade aos mapeamentos das áreas suscetíveis, sendo possível assim replica-lo. Já os modelos determinísticos possuem base em noções matemáticas exatas (GUIMARÃES, 2008 *apud* SBROGLIA, 2015).

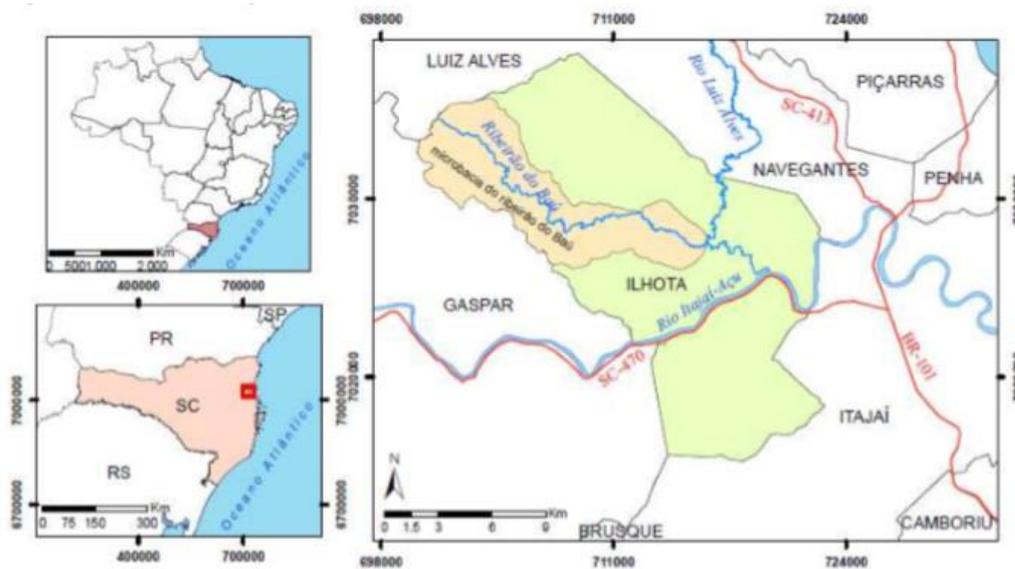
3. ÁREA DE ESTUDO

Conforme visto nos últimos anos, a região em que se localiza a microbacia do Ribeirão Baú possui graves problemas relacionados a movimentos de massa, fatos esses que afetam drasticamente a vida da população e infraestrutura da região. Devido a estes desastres constantes, diversos estudos já foram realizados na região,

como o de Sbroglia (2015), Santos (2015) e Tomazzoli (2009), os quais forneceram dados importantes sobre a região.

A microbacia em questão se situa no noroeste do município de Ilhota/SC, contemplando uma área de 62,66 km² e possuindo como principal afluente o Rio Luiz Alves, como podemos ver na figura 25.

Figura 25 - Mapa de localização da microbacia.



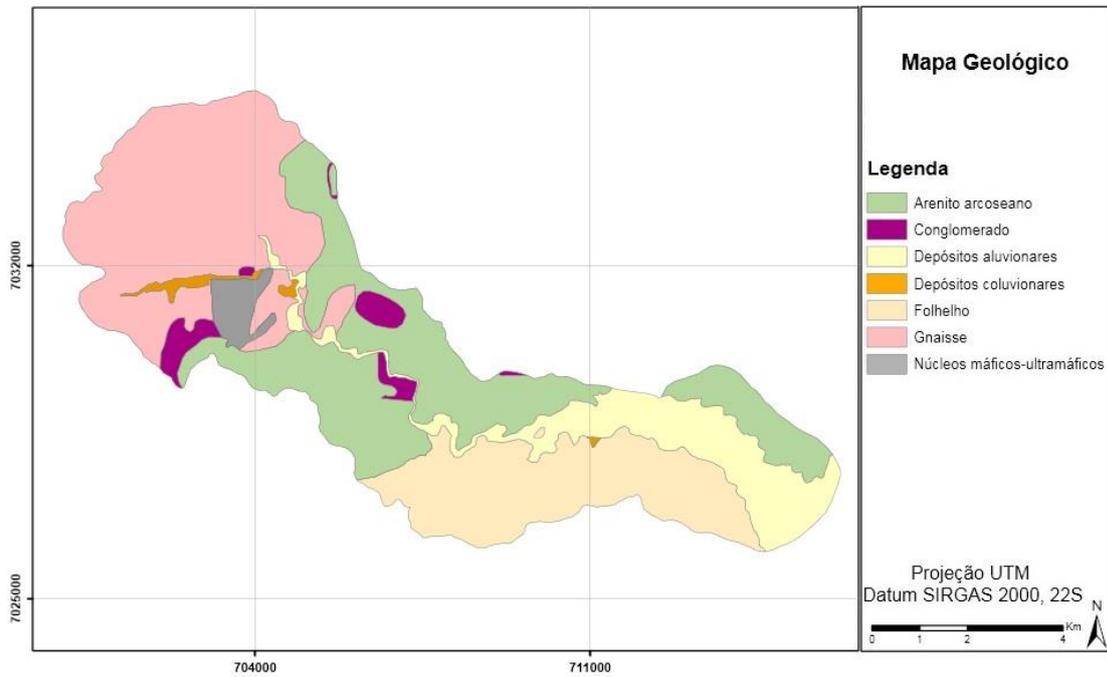
Fonte: Sbroglia (2015).

Segundo Santos (2015), a área contemplada está situada em uma região de clima subtropical, de acordo com a classificação climática de Köppen, com umidade relativa média do ar de 72 a 86% e uma precipitação média anual de 1500 a 1800 mm.

3.1 GEOLOGIA, GEOMORFOLOGIA E TOPOLOGIA

A figura 26 representa o mapa geológico da região, em escala 1:50.000 desenvolvido 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”, sendo os principais domínios geológicos e litológicos: Complexo Luiz Alves (compostos basicamente por gnaisse e núcleos máficos-ultramáficos); Grupo Itaja (onde são encontrados arenitos arcoseano, conglomerados e folhelhos) e Sedimentos Quaternários (os quais são compostos por depósitos aluvionares e coluvionares) (SBROGLIA, 2015).

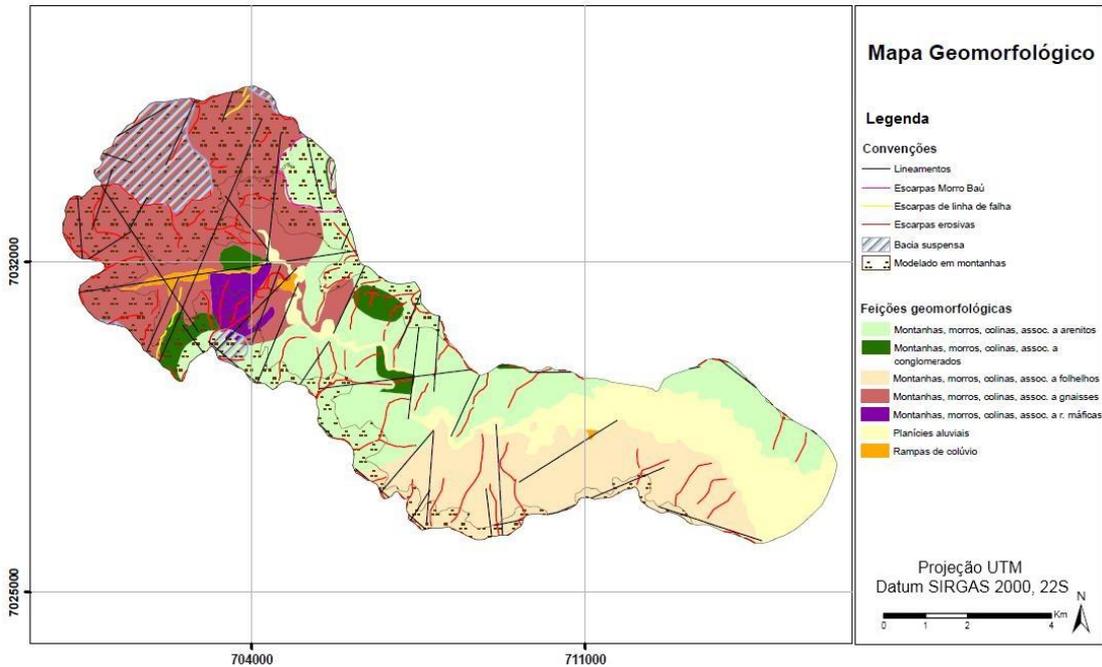
Figura 26 - Mapa geológico da microbacia do Ribeirão Baú.



Fonte: Sbroglia (2015).

Com base também mapeamento executado 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”, foi possível identificar as principais feições da região. São elas: Montanhas, morros e colinas associadas a arenitos, folhelhos e gnaisses, além das planícies aluviais, vide figura 27.

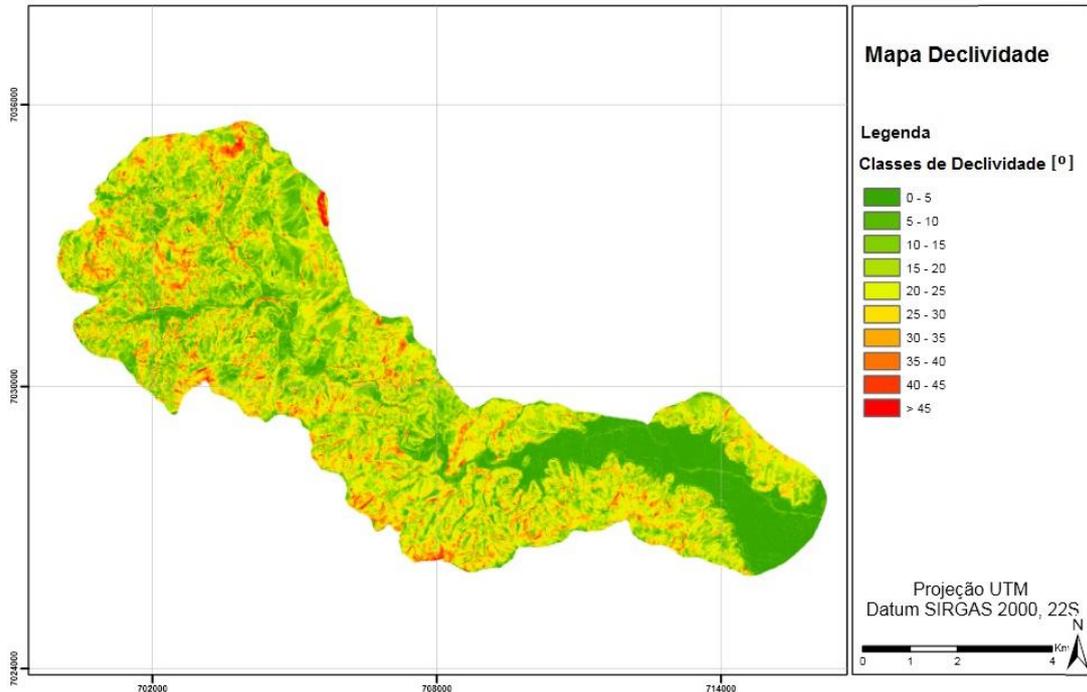
Figura 27 - Mapa geomorfológico da microbacia do Ribeirão Baú.



Fonte: Sbroglia (2015).

A topologia da região foi caracterizada através do Modelo Digital de Terreno (MDT), com base nas classificações realizadas pelo EMBRAPA (2009), sendo possível identificar quatro diferentes classes na região analisando a figura 31: relevo plano, identificada na região a jusante do micro bacia; relevo forte ondulado, presente na maior parte da bacia; relevo montanhoso, presente nas áreas do alto Ribeirão Baú; além do relevo escarpado constatados nas áreas do próprio Morro do Baú (SBROGLIA, 2015). Verifica-se também que a maior parte da microbacia possui declividades na faixa de 10 a 30 °, conforme figura 28.

Figura 28 - Mapa Declividade (em graus) da microbacia Ribeirão Baú.



Fonte: Sbroglia (2015).

3.2 GEOTECNIA

Sbroglia (2015) realizou um mapeamento geotécnico preliminar da região de acordo com a metodologia proposta por Davison Dias (1995), sobrepondo os mapas geológicos, pedológicos e das curvas de níveis, utilizando ferramentas do software *ArcGis 9.3* para a obtenção das unidades de solo com comportamento semelhante.

Segundo Sbroglia (2015), devido ao grande número de subdivisões do mapa pedológico original, foi necessário realizar uma generalização taxonômica das unidades do solo, caracterizando a microbacia composta de Cambissolo (C), Gleissolo (GH) e Litólico (R).

Com base no relatório técnico do 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” pode ser definida a rocha predominante em cada unidade geológica, sendo assim possível confeccionar o mapa litológico, vide figura 29 (SBROGLIA, 2015).

Figura 29 - Litologia da microbacia do Ribeirão Baú.

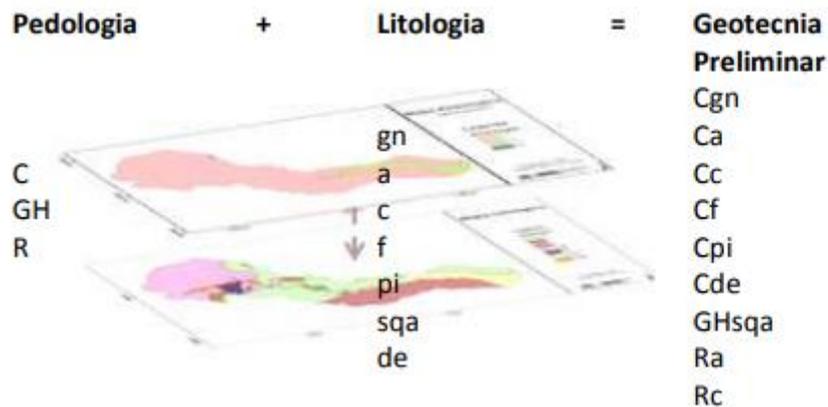
Geologia	→	Litologia predominante
Complexo Luiz Alves		Gnaiss - gn; Piroxenito - pi
Grupo Itajaí		Arenito - a; Conglomerado - c; Folhelho - f
Sedimentos		Sedimentos quaternários: aluviais - sq; coluviais ou depósito de encosta - de
Quaternários		

Fonte: Sbroglia (2015).

Segundo Sbroglia (2015), foram identificadas 9 unidades geotécnicas preliminares conforme figura 30.

- Cgn - Cambissolo substrato gnaiss – Representa a unidade de maior área na microbacia. São caracterizadas por sua composição de rocha gnaiss e por suas zonas de falhas;
- Cpi - Cambissolo substrato piroxenito – Pouca representatividade na microbacia. Composta pela rocha piroxenito, apresentando em sua maior parte relevo forte ondulado;
- Ca - Cambissolo com substrato de arenito – Unidade geotécnica de segunda maior área. Constituída pela rocha arenito arcoseano, sendo seu relevo predominante forte ondulado;
- Cc - Cambissolo substrato conglomerado – Possui uma área levemente superior a unidade Cpi, com sua composição baseada pela rocha conglomerado e relevo forte ondulado;
- Cf - Cambissolo substrato folhelho – Terceira maior área da microbacia. Composta pela rocha folhelho e caracterizada por relevo forte ondulado;
- Cde - Cambissolo substrato depósito de encosta – Esta unidade representa uma área inferior comparada à unidade Cpi, constituída por sedimentos inconsolidados e relevo ondulado;
- GHsq - Gleissolo substrato sedimentos quaternários aluviais – Esta unidade compreende uma região de cotas mais baixas que as demais, sendo a quarta de maior área. Sua composição é basicamente areia, cascalheira e sedimentos silico-argilosos inconsolidados, possuindo em sua maior parte relevo plano;
- Ra e Rc - Litólico substrato arenito e conglomerado – Unidades de menor área da microbacia, porém caracterizadas por grandes declividades.

Figura 30 - Unidades geotécnicas preliminares da microbacia do Ribeirão Baú.



Fonte: Sbroglia (2015).

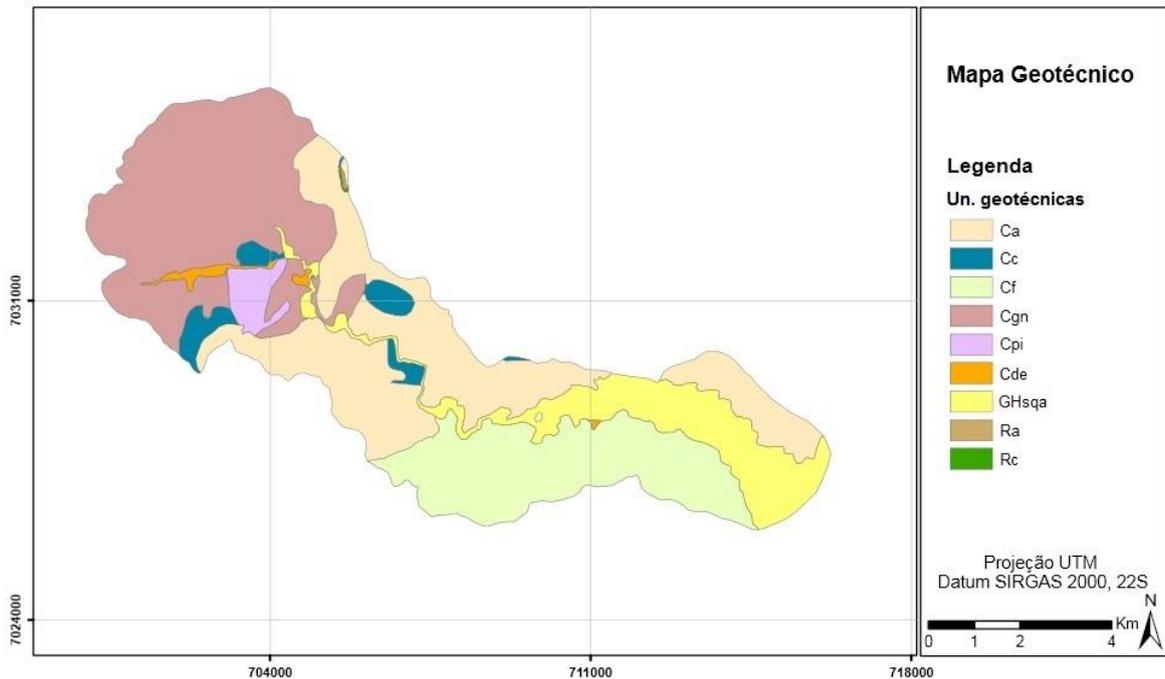
3.2.1 Refinamento do mapa geotécnico preliminar

De posse do mapa geotécnico preliminar e dos mapas topográficos (MDT e declividade), Sbroglia (2015) realizou investigações em campo por meio de tradagens superficiais, com o intuito de melhorar a noção dos limites entre os solos residuais e sedimentares, refinando o mapa geotécnico preliminar, resultando no mapa apresentado na figura 31.

Sbroglia (2015) executou as tradagens em dois perfis de encostas diferentes na microbacia, definidos com base no suposto limite entre os solos residuais e sedimentares e de boa acessibilidade. Com isso foi possível identificar a elevação e o relevo onde ocorre a transição entre os dois tipos de solos, contudo devido a limitação do trado utilizado, não foi possível distinguir os perfis dos solos residuais.

Higashi (2006) acrescenta que para melhorar este refinamento, deve ser realizado um maior número de tradagens, sendo assim possível distinguir os solos originados em locais planos (sedimentares), de relevo suave, ondulado e assim sucessivamente, melhorando o nível de detalhamento a cada tradagem.

Figura 31 - Mapa geotécnico da microbacia do Ribeirão Baú.

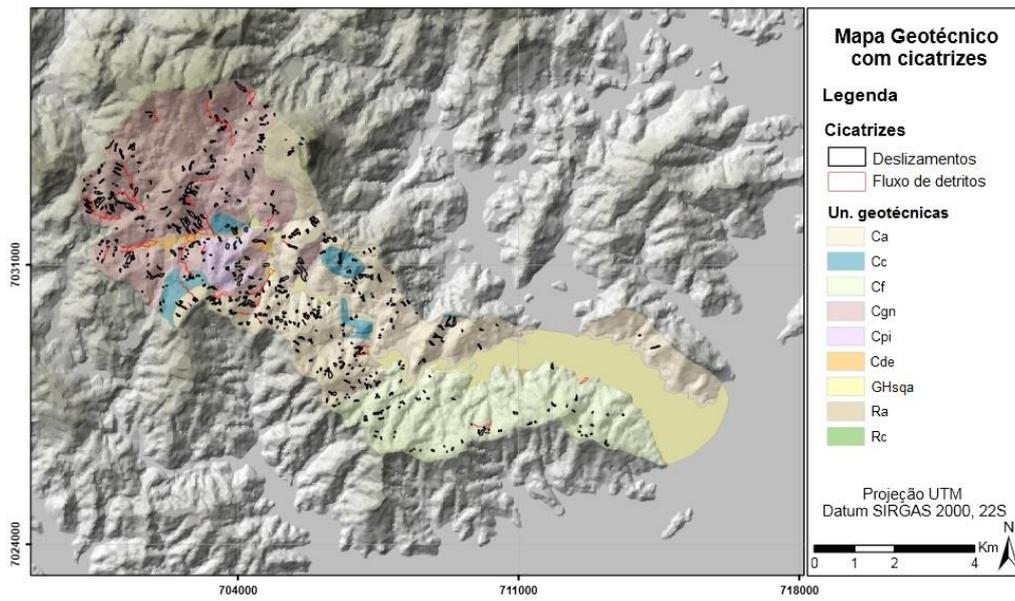


Fonte: Sbroglia (2015).

3.3 CICATRIZES

O 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” mapeou 526 cicatrizes de deslizamentos ocorridas na região, todas localizadas nas unidades Ca (Cambissolo substrato arenito), Cc (Cambissolo substrato conglomerado), Cf (Cambissolo substrato folhelho), Cgn (Cambissolo substrato gnaíse) e Cpi (Cambissolo substrato piroxenito), conforme pode ser visto na figura 32. As unidades Cde (Cambissolo substrato depósito de encosta) e GHsqa (Gleissolo substrato sedimentos quaternários aluviais), apesar de serem atingidas por deslizamentos provenientes de outras unidades, foram classificadas em “não suscetíveis” por Sbroglia (2015) pelo fato de se situarem em áreas de relevo plano, baixa declividade e pela não existência de cicatrizes mapeadas. Existe uma peculiaridade com relação às unidades Ra (Litólico substrato arenito) e Rc (Litólico substrato conglomerado), que mesmo como sendo caracterizadas por relevo íngreme, foram classificadas como “não suscetíveis” devido ao solo jovem ou inexistente, além do fato dos sedimentos provenientes do intemperismo não serem depositados ali, devido a elevada declividade do local.

Figura 32 - Cicatrizes presentes na microbacia do Ribeirão Baú

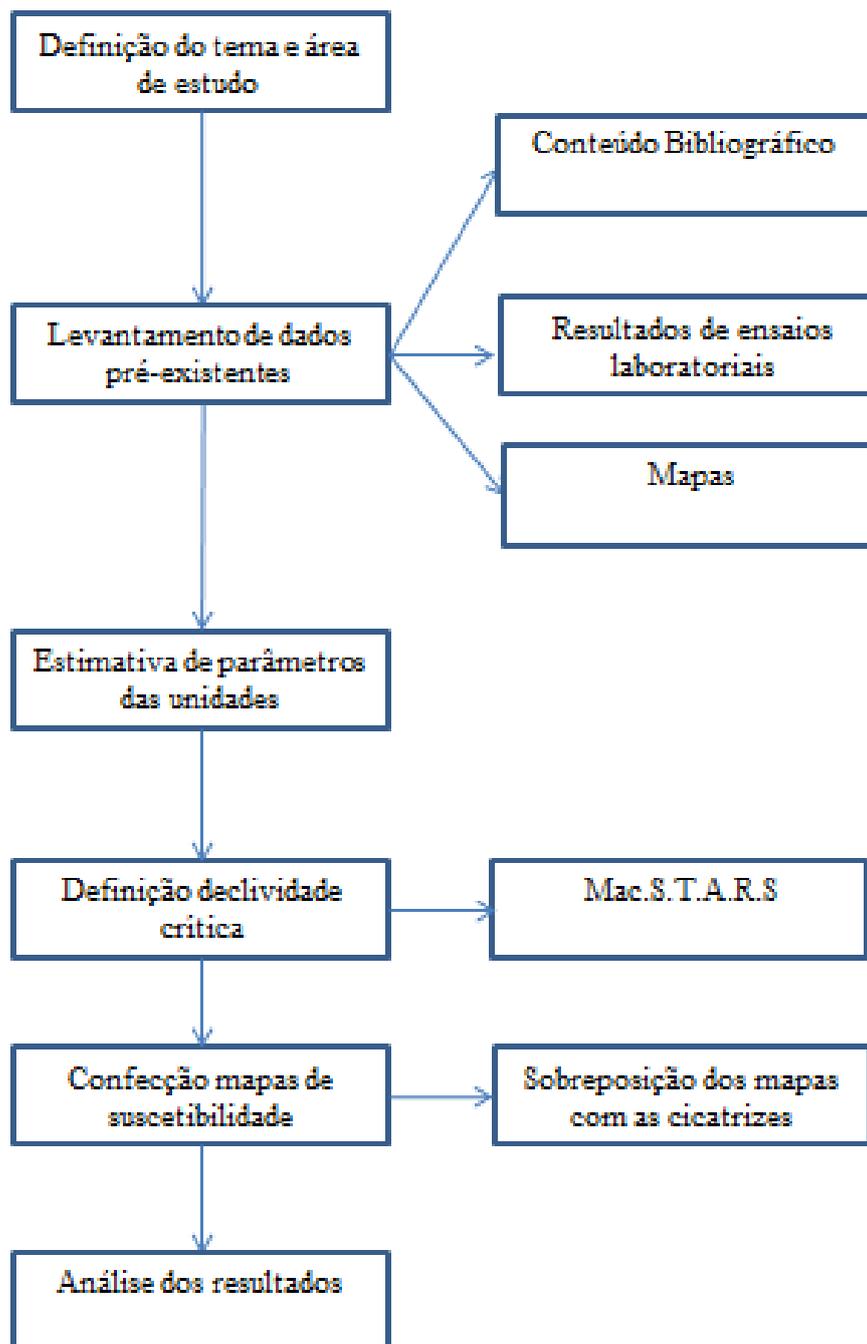


Fonte: Sbroglia (2015).

4. MATERIAIS E MÉTODO

Em suma, a metodologia para a realização desse trabalho foi composta de quatro partes: pesquisa e levantamento dos dados preexistentes; definição da declividade crítica; confecção dos novos mapas de suscetibilidade e validação dos resultados.

Segue abaixo fluxograma das etapas abordadas durante o processo:



Fonte: Autor (2018).

4.1 LEVANTAMENTO DE DADOS PRÉ-EXISTENTES

Para iniciar este trabalho, foi realizado um estudo sobre todas as informações relevantes relacionadas aos deslizamentos, suas causas e consequências para a região afetada. Além disso, foram obtidos vários dados e mapas elaborados e/ou utilizados por Sbroglia (2015), que são de extrema importância para o desenvolvimento desta pesquisa.

Sbroglia (2015) realizou diversos ensaios de caracterização para cada uma das unidades geotécnicas, além de ensaios de cisalhamento direto para as unidades geotécnicas de solos residuais (Ca, Cc, Cf, Cgn e Cpi), as quais possuem todas as cicatrizes mapeadas, afim de obter os parâmetros geotécnicos de resistência ao cisalhamento destas unidades. Esses resultados são apresentados na figura 33.

Figura 33 - Parâmetros das unidades de cambissolo.

Unidade Geotécnica	c [Kpa]	φ [°]	γ_{nat} [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]
Ca	8,42	26,5	17,4	18,4
Cc	5,24	29,2	16,8	17,8
Cf	2,94	25,3	16,8	17,8
Cgn	6,95	31,8	17,3	18,3
Cpi	12,96	15,8	14,9	15,9

Fonte: Sbroglia (2015).

Sbroglia (2015) concluiu que ocorre uma significativa diferença nos valores de declividade limite quando considerado o talude seco ou saturado. Logo, para este trabalho, foram utilizados os parâmetros relativos à situação crítica do talude, ou seja, a condição inundada.

4.2 ANÁLISE DE ESTABILIDADE

Para realizar a análise de estabilidade da microbacia, serão criados perfis hipotéticos utilizando o software Mac.S.T.A.R.S, com inclinações de 3°, 5°, 10°, 15°, 20°, 25° e 30°, posicionando a superfície piezométrica a 1m abaixo da superfície dos perfis. Com relação aos dados de entrada, foram utilizados os parâmetros de

resistência ao cisalhamento do solo (coesão e ângulo de atrito), além do peso específico saturado, simulando assim a pior condição possível de estabilidade.

Foram definidos dois cenários para a criação dos perfis:

Cenário 1: Média simples dos parâmetros das unidades de cambissolo;

Cenário 2: Menores valores dos parâmetros das unidades de cambissolo.

De posse dos resultados, os valores dos fatores de segurança (FS) correspondentes a cada perfil de cada unidade geotécnica foram plotados em um gráfico (Inclinação x FS), possibilitando assim encontrar a equação da linha de tendência logarítmica dos pontos amostrados. Com base nos FS recomendados na NBR 11682/1991 (1,15; 1,3 e 1,5), foram encontradas as suas inclinações correspondentes, visando classificar a região quanto a sua estabilidade.

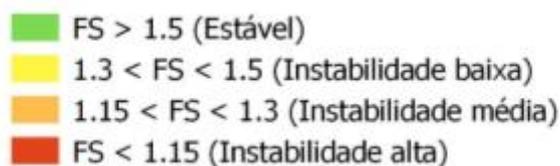
Esse método de mapeamento de suscetibilidade a deslizamentos utilizando o FS já foi aplicado em diversos trabalhos e artigos, obtendo bons resultados, como Sbroglia (2015), Monteiro (2016) e Cruz (2017). Cabe salientar que Sbroglia utilizou somente um FS (1,5), classificando a região em instável e estável conforme esse valor era ultrapassado ou não.

4.3 MAPEAMENTO DE RISCO A DESLIZAMENTOS ROTACIONAIS

Para classificar a microbacia quanto a sua suscetibilidade a deslizamentos, foi utilizado o *software ArcGis* e os resultados provenientes da análise de estabilidade das unidades geotécnicas.

Utilizando a ferramenta *Reclassify*, foram delimitadas as regiões que se situavam entre as faixas de inclinações correspondentes aos FS previamente estabelecidos. Essas regiões foram classificadas conforme mostra a figura 34:

Figura 34 - Classificação de estabilidade das áreas conforme o fator de segurança.



Fonte: Cruz (2017).

O processo foi realizado duas vezes, com as faixas de inclinações provenientes dos dois cenários estipulados, formando assim dois mapas de estabilidade em relação a deslizamentos circulares de toda a microbacia do Ribeirão Baú.

4.4 VALIDAÇÃO DOS CENÁRIOS

O estudo em questão visa compreender se os cenários estabelecidos (média ou mínimo dos parâmetros) representam uma boa estimativa para caracterizar o solo de uma região, tendo em vista que muitas vezes esse processo pode se tornar uma tarefa complicada devido a diversos fatores, como limitação financeira, região de difícil acesso, prazos curtos, etc.

Para isso, foi realizada a sobreposição do mapa das superfícies de rupturas com os mapas de suscetibilidade criados, utilizando a ferramenta *Spatial Analyst to Table* do *software* utilizado para o mapeamento, sendo assim possível classificar as regiões em que se localizam as cicatrizes quanto à sua suscetibilidade.

Após este processo, foi realizado um comparativo entre os resultados obtidos por Sbroglia com os resultados deste trabalho.

5. RESULTADOS E ANÁLISES

Nas unidades a seguir, serão realizados os procedimentos relativos a análise de estabilidade para os dois cenários, mapeamento de suscetibilidade e sobreposição das cicatrizes.

5.1 MÉDIA DAS UNIDADES DE CAMBISSOLO

Para obtenção dos dados de entrada do *software* escolhido para realizar a análise de estabilidade, foi realizado uma média simples dos resultados dos ensaios de cisalhamento direto realizados por Sbroglia (2015), apresentados na figura 33. Os valores encontrados são apresentados na tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros médios das unidades de solo residual da microbacia do Ribeirão Baú.

Intercepto coesivo “c” (kPa)	Ângulo de atrito interno “Φ” (graus)	Peso específico saturado “γ_{sat}” (kN/m³)
7,302	25,72	17,64

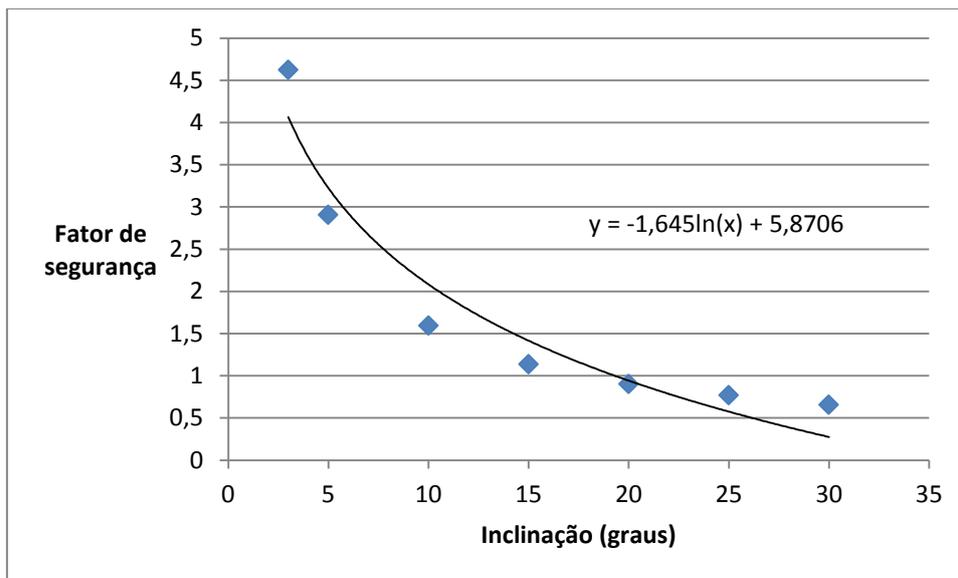
Fonte: Autor (2018).

Os resultados obtidos da análise de estabilidade são apresentados na tabela 2. Os dados foram plotados no gráfico (Fator de segurança x Inclinação), conforme figura 35, e foi calculada a equação da linha de tendência tipo logarítmica para encontrar os valores respectivos aos fatores de segurança 1,15; 1,3 e 1,5. Esses valores de inclinação são apresentados na tabela 3.

Tabela 2 – Inclinações e seus respectivos valores de fator de segurança.

Inclinação (graus)	Fator de segurança
3	4,622
5	2,904
10	1,591
15	1,135
20	0,900
25	0,768
30	0,655

Fonte: Autor (2018).

Figura 35 - Gráfico FS x Inclinação - Parâmetros médios.

Fonte: Autor (2018).

Tabela 3 - Declividades críticas.

Fator de segurança NBR 11682/91	Inclinação (graus)
1,15	17,63
1,3	16,09
1,5	14,25

Fonte: Autor (2018).

Conforme a tabela 3, as áreas que possuem inclinações maiores que $17,63^\circ$ são consideradas de instabilidade alta, enquanto as que possuem inclinações entre $17,6^\circ$ e $16,09^\circ$ são classificadas de instabilidade média. Já as áreas de instabilidade baixa são as que variam de $16,09^\circ$ a $14,25^\circ$ e os locais estáveis possuem declividades de até $14,25^\circ$.

5.2 MÍNIMOS DAS UNIDADES DE CAMBISSOLO

Com relação a este cenário, foram considerados os parâmetros mínimos de resistência ao cisalhamento do solo dentre todas as unidades de cambissolo, conforme figura 33. Os parâmetros são apresentados na tabela 4.

Tabela 4 - Parâmetros mínimos das unidades de solo residual da microbacia do Ribeirão Baú.

Intercepto coesivo “c” (kPa)	Ângulo de atrito interno “Φ” (graus)	Peso específico saturado “γ_{sat}” (kN/m³)
2,94	15,8	15,9

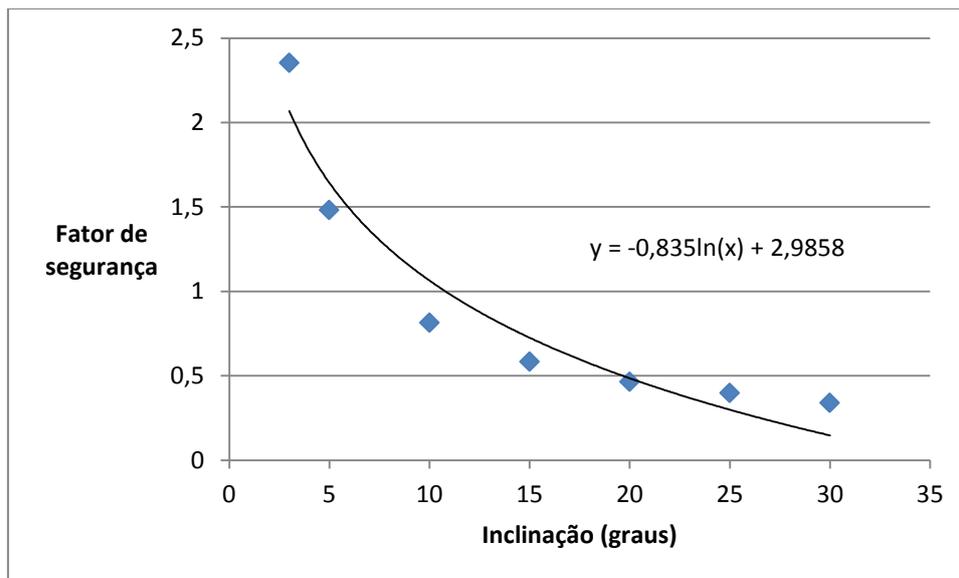
Fonte: Autor (2018).

De posse destes dados, foi realizado a análise de estabilidade através do *software* escolhido, resultando nos valores apresentados na tabela 5, bem como sendo possível desenvolver o gráfico da figura 36 e encontrar as inclinações limites relativas aos fatores de segurança recomendados.

Tabela 5 - Inclinações e seus respectivos valores de fator de segurança.

Inclinação (graus)	Fator de segurança
3	2,352
5	1,481
10	0,814
15	0,583
20	0,464
25	0,397
30	0,339

Fonte: Autor (2018).

Figura 36 - Gráfico FS x Inclinação - Parâmetros mínimos.

Fonte: Autor (2018).

Tabela 6 - Declividades críticas.

Fator de segurança NBR 11682/91	Inclinação (graus)
1,15	9,01
1,3	7,53
1,5	5,93

Fonte: Autor (2018).

Analisando a tabela 6, constata-se que as áreas estáveis são somente aquelas que possuem inclinações de até $5,93^\circ$, enquanto as áreas de alta instabilidade possuem inclinações maiores que $9,01^\circ$. As zonas de baixa e média instabilidade possuem inclinações na faixa de $5,93^\circ$ a $7,53^\circ$ e $7,53^\circ$ até $9,01^\circ$, respectivamente.

A tabela 7 apresenta um quadro resumo geral, com todos os dados e resultados provenientes dos dois cenários.

Tabela 7 - Resumo dos dados.

Cenário	Inclinação (graus)			Intercepto coesivo “c” (kPa)	Ângulo de atrito interno “ Φ ” (graus)	Peso específico saturado “ γ_{sat} ” (kN/m^3)
	FS=1,15	FS=1,3	FS=1,5			
Mínimos	9,01	7,53	5,93	2,94	15,8	15,9
Média	17,63	16,09	14,25	7,302	25,72	17,64

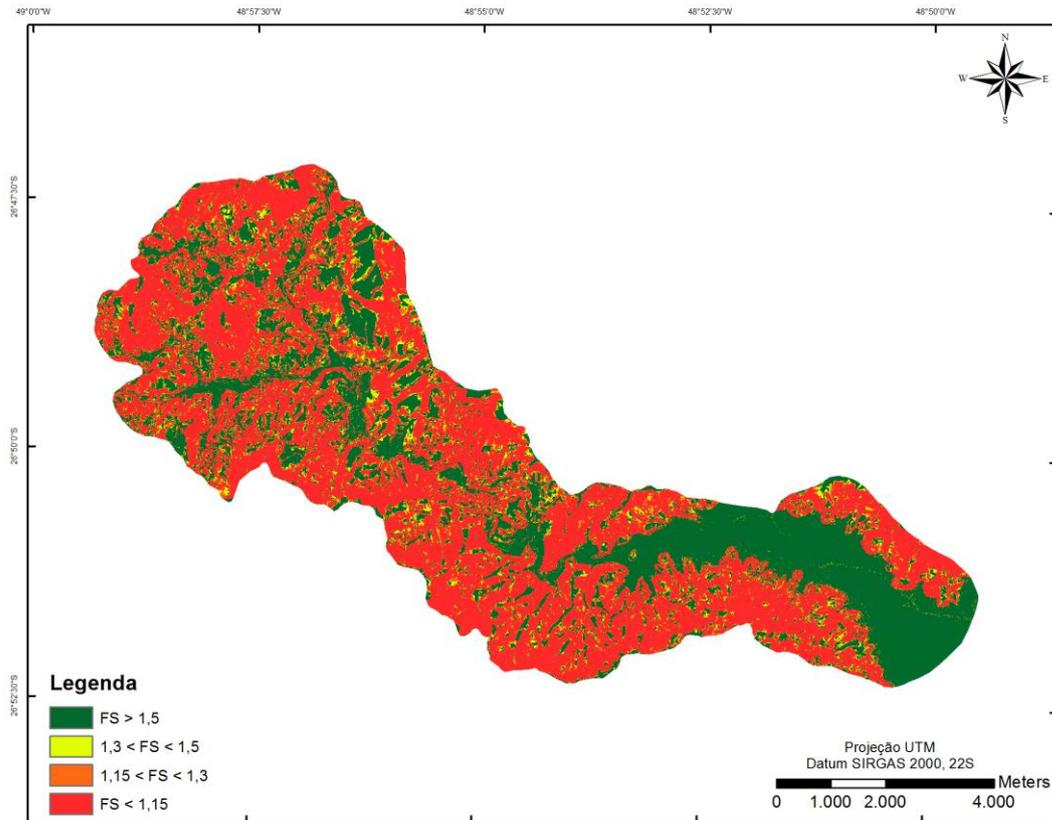
Fonte: Autor (2018).

Observa-se na tabela 7 uma grande discrepância entre as inclinações limites dos dois cenários. Isto decorre da diferença de valores de coesão e ângulo de atrito, os quais influenciam significativamente a estabilidade de um talude.

5.3 MAPEAMENTO DAS ÁREAS SUSCETÍVEIS A DESLIZAMENTOS ROTACIONAIS

A partir dos valores de inclinações limites calculados, foram delimitadas as zonas consideradas estáveis ($FS > 1,5$), de instabilidade baixa ($1,3 < FS < 1,5$), de instabilidade média ($1,15 < FS < 1,3$) e instabilidade alta ($FS < 1,15$). Os mapas de suscetibilidade são apresentados nas figuras 37 e 38, dos quais foram possíveis extrair as áreas relativas a cada classe de estabilidade conforme as tabelas.

Figura 37 - Mapa de suscetibilidade a deslizamentos - Parâmetros médios.



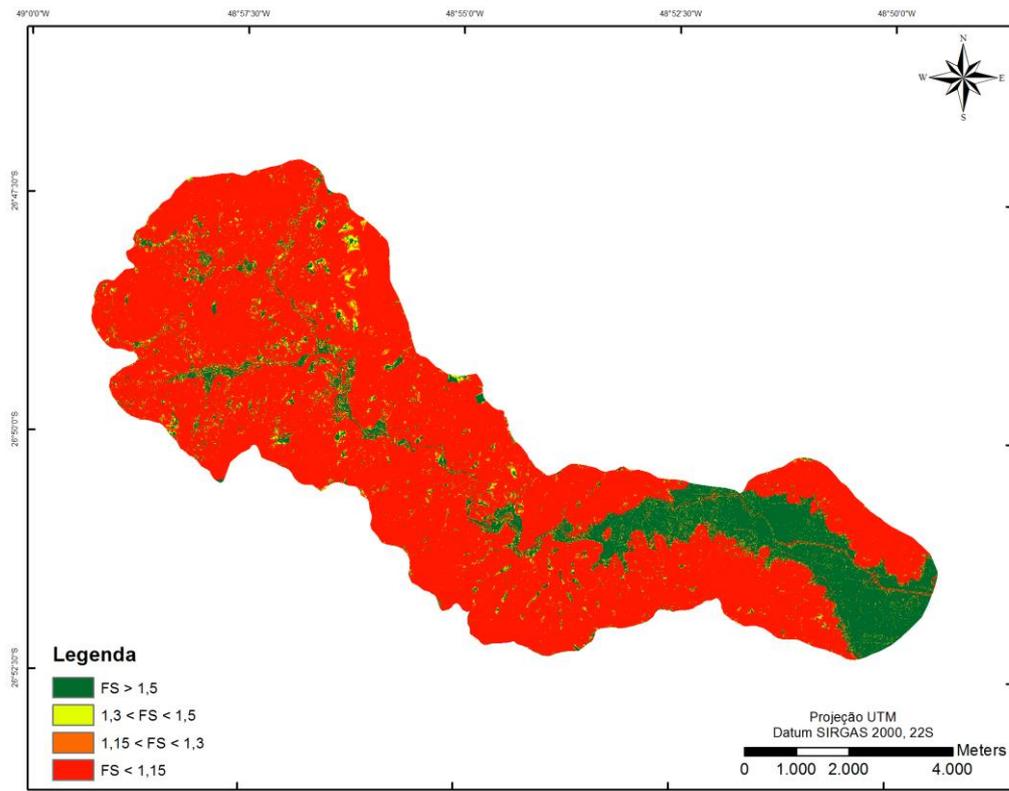
Fonte: Autor (2018).

Tabela 8 - Áreas de estabilidade – Parâmetros médios.

Cenário 1 - Parâmetros médios	Classes de estabilidade	Área (Km ²)	%
Estável	1	20,85	33,27
Instabilidade Baixa	2	3,80	6,06
Instabilidade Média	3	3,52	5,62
Instabilidade Alta	4	34,49	55,05
TOTAL		62,66	100

Fonte: Autor (2018).

Figura 38 - Mapa de suscetibilidade - Parâmetros mínimos.



Fonte: Autor (2018).

Tabela 9 - Áreas de estabilidade – Parâmetros mínimos.

Cenário 1 - Parâmetros médios	Classes de estabilidade	Área (Km²)	%
Estável	1	9,40	15,01
Instabilidade Baixa	2	1,65	2,63
Instabilidade Média	3	1,70	2,71
Instabilidade Alta	4	49,91	79,65
TOTAL		62,66	100

Fonte: Autor (2018).

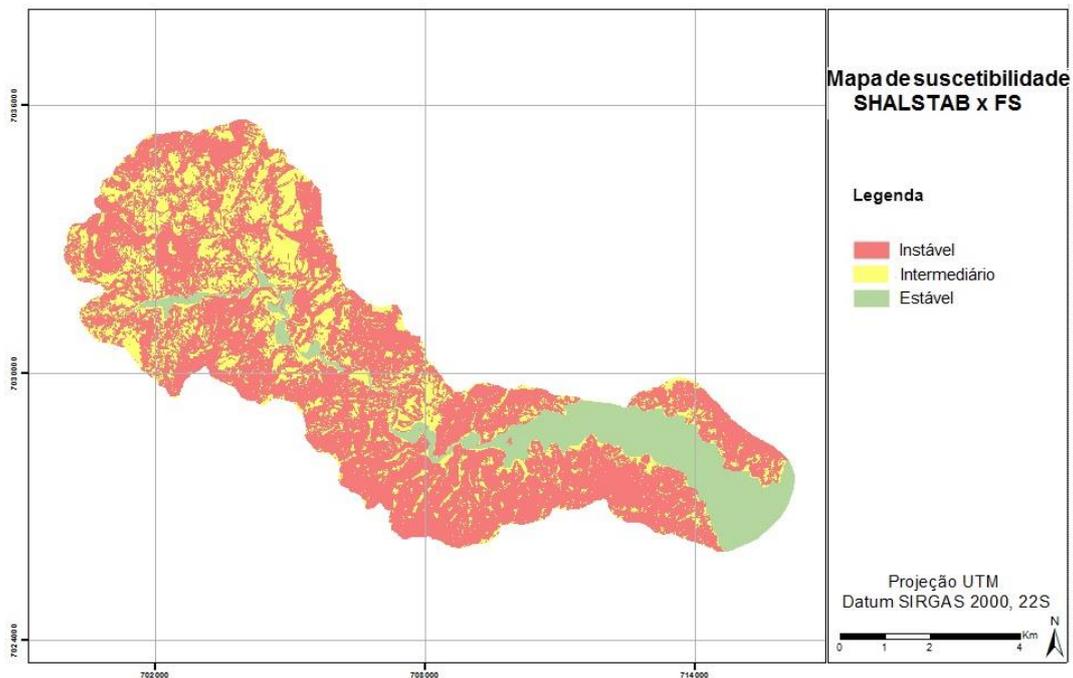
Analisando as figuras 37 e 38, além das tabelas 8 e 9, é notável o grande aumento das áreas de instabilidade alta no cenário dos parâmetros mínimos,

decorrente de menores valores de coesão e ângulo de atrito, simulando uma situação extremamente crítica do solo da região, a qual acarreta em uma diminuição de 18,26% das áreas estáveis e aumento de 24,6% de áreas de instabilidade alta.

5.4 MAPEAMENTO E VALIDAÇÃO DOS CENÁRIOS

Com relação às superfícies de rupturas pretéritas, Sbroglia (2015) concluiu que das 526 cicatrizes mapeadas, 481 (91%) se encontravam em áreas instáveis, enquanto 45 (9%) ocorriam em áreas de medida suscetibilidade. Vale ressaltar que a autora subdividiu as classes de estabilidade em 3 regiões (Estável, Intermediário e Instável), conforme figura 39.

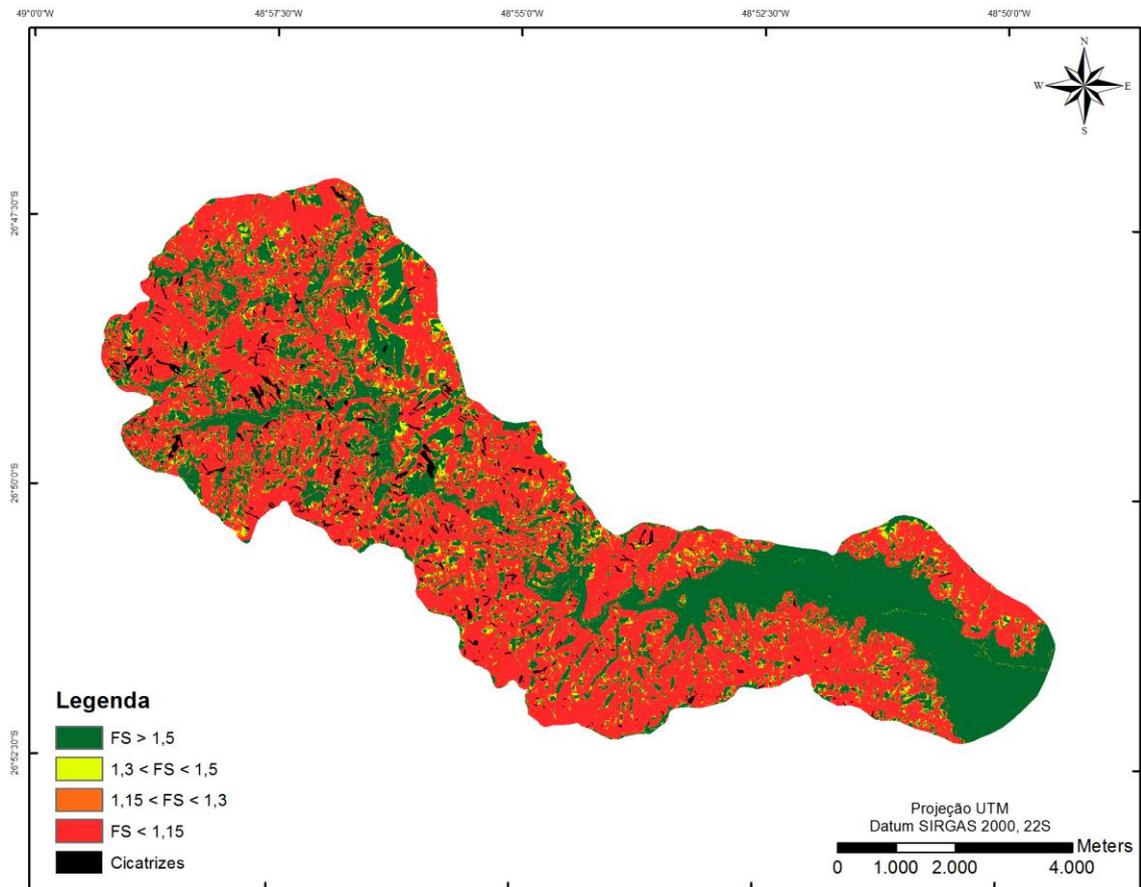
Figura 39 - Mapa de suscetibilidade desenvolvido por Sbroglia.



Fonte: Sbroglia (2015).

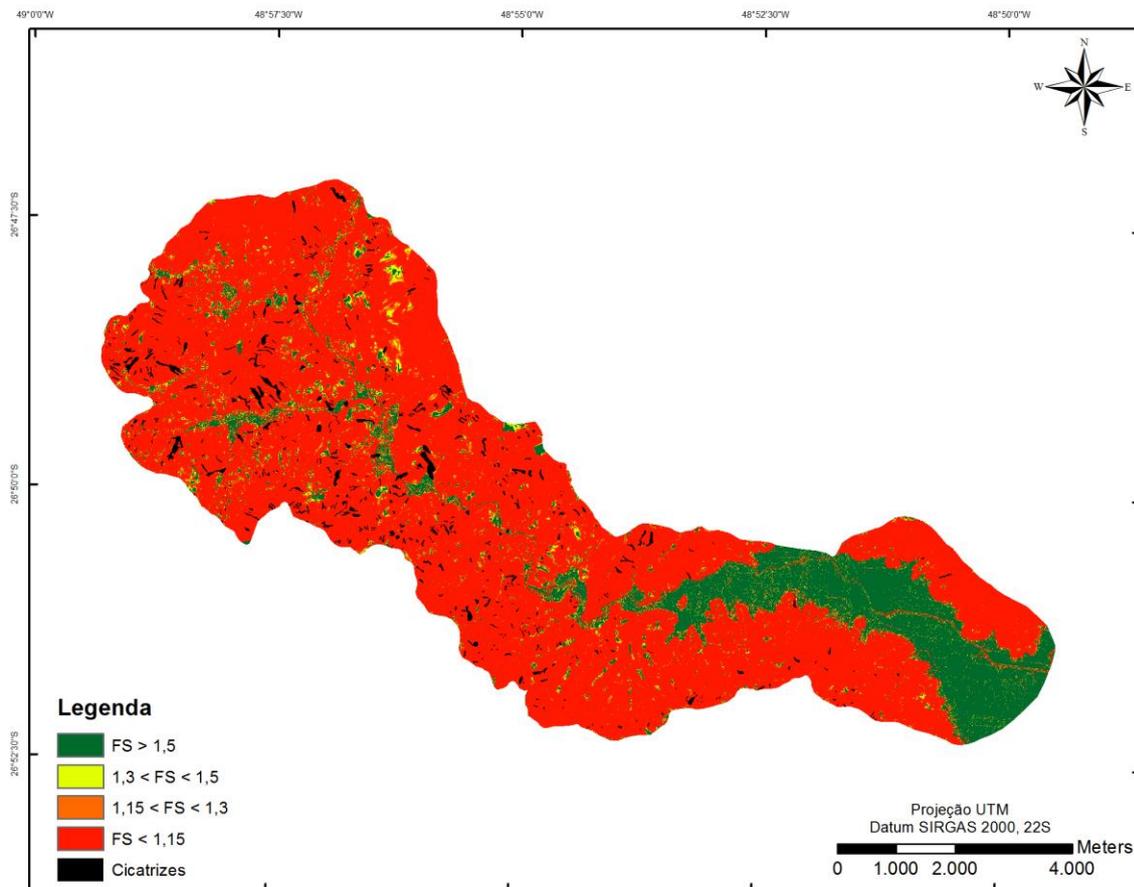
As figuras 40 e 41 representam a sobreposição do mapa de cicatrizes elaborado pelo projeto “Análise e mapeamento das áreas de risco a movimentos de massa e inundações nos municípios de Gaspar, Ilhota e Luiz Alves (Complexo do Morro do Baú), SC” com os mapas de suscetibilidade a deslizamentos desenvolvidos neste trabalho.

Figura 40 - Mapa de suscetibilidade (parâmetros médios) com cicatrizes.



Fonte: Autor (2018).

Figura 41 - Mapa de suscetibilidade (parâmetros mínimos) com cicatrizes.



Fonte: Autor (2018).

Como podemos notar nas figuras 40 e 41, existem cicatrizes localizadas em regiões que contemplam até 4 classes de estabilidade diferentes, não sendo possível assim aferir com exatidão sua real classificação. Contudo o *software* utilizado para o mapeamento possui uma ferramenta que permite obter dados relativos à sobreposição das áreas das cicatrizes com o mapa de suscetibilidade, permitindo assim uma classificação de maior precisão. As tabelas 10 e 11 classificam as cicatrizes a partir da análise desses dados, com base em duas hipóteses:

- 1- Classificação a partir da maior área de classe de estabilidade presente no interior da cicatriz;
- 2- Classificação a partir da média dos valores das classes de estabilidade correspondentes às porcentagens de suas áreas presentes no interior da cicatriz, ou seja, o software computou valores para as classes de estabilidade (1- Estável; 2 Instabilidade baixa; 3- Instabilidade média e 4- Instabilidade

alta) e realizou um cálculo que permitiu diagnosticar um valor aproximado no interior da cicatriz, que depende das áreas de classes de estabilidade presentes na cicatriz e seus respectivos valores. Os valores foram arredondados conforme os critérios usuais (Exemplo: valores maiores que 3,5 foram arredondados para 4 e menores que 3,5 para 3)

Tabela 10 - Número de cicatrizes presentes em cada classe - Hipótese 1.

Cenário	Número de cicatrizes			
	Estável	Instabilidade baixa	Instabilidade media	Instabilidade alta
Parâmetros médios	31	6	0	489
Parâmetros mínimos	2	0	0	524

Fonte: Autor (2018)

Tabela 11 - Número de cicatrizes presentes em cada classe - Hipótese 2.

Cenário	Número de cicatrizes			
	Estável	Instabilidade baixa	Instabilidade media	Instabilidade alta
Parâmetros médios	12	27	84	403
Parâmetros mínimos	0	2	15	509

Fonte: Autor (2018)

Observando as tabelas 42 e 43, percebe-se que os resultados que melhor retratam a realidade são os da tabela 11, tendo em vista que em áreas consideradas estáveis não deveriam existir nenhuma cicatriz mapeada.

Podemos notar também analisando a tabela 11, que ocorre um grande número de cicatrizes presentes em áreas de instabilidade média, e decrescendo conforme o grau de segurança aumenta. Isso reforça a tese de que a hipótese 2 representa uma ferramenta que representa de maneira mais realista a classe de estabilidade em que se encontra a cicatriz.

6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

6.1 CONCLUSÕES

O trabalho em questão conseguiu atingir o objetivo geral, que era mapear as áreas suscetíveis a deslizamentos rotacionais na microbacia do Ribeirão Baú Ilhota SC. Para realizar este mapa, foi de suma importância os resultados dos ensaios laboratoriais realizados por Sbroglia (2015), além da utilização do software de estabilidade de encostas, Mac.S.T.A.R.S e do software de geoprocessamento, ArcGis.

De posse dos resultados dos ensaios de cisalhamento direto, foram criados dois cenários (média e mínimos dos parâmetros) para realização da análise da estabilidade. Essas análises mostraram que tendo como base parâmetros médios, as áreas com inclinações abaixo de $14,63^\circ$ podem ser consideradas estáveis, enquanto as que possuem inclinações acima de $17,63^\circ$ possuem alto risco de deslizamento. Com relação ao cenário dos parâmetros mínimos, os locais que possuem inclinações de até $5,93^\circ$ são considerados estáveis e as regiões com inclinações superiores a $9,01^\circ$ são consideradas áreas de alta instabilidade.

O *Software ArcGis* possibilitou, por meio do cruzamento do resultado das análises e do mapa das declividades do local, delimitar a área estudada em estável, instabilidade baixa, média e alta. No cenário dos parâmetros médios, 33,27% da área total da microbacia foi classificada como estável, enquanto 6,06%, 5,62% e 55,05% foram classificadas de instabilidade baixa, média e alta, respectivamente. Já no cenário dos parâmetros mínimos, apenas 15,01% da área total da microbacia é classificada como estável, 2,63% de instabilidade baixa, 2,71% de instabilidade média e a grande maioria da microbacia, 79,65% possui alta instabilidade.

Com relação às cicatrizes, foi constatado que grande parte destas situam-se em áreas de instabilidade alta, contudo algumas estão localizadas em áreas consideradas estáveis. Logo, conclui-se que as modelagens computacionais representam uma boa ferramenta para tentar reproduzir o real comportamento do solo de uma região, contudo a realização de caracterizações e investigações em campo são de grande relevância para identificar áreas e condições específicas que acarretam em instabilidades de encostas.

6.2 SUGESTÕES

- Estabelecer novos cenários para a criação de mapas de suscetibilidade, como por exemplo, um cenário proveniente da média ponderada dos parâmetros;
- Refinar o mapa geotécnico, através de um maior número de tradagens em campo, para que assim seja possível identificar os limites entre os solos residuais e sedimentares com maior precisão;
- Realizar estudos de vetores de crescimento da mancha urbana;
- Verificar em campo os locais que possuem cicatrizes e classificados como estáveis, visando obter informações sobre os motivos destas ocorrências;
- Realizar um refinamento no gráfico (FS x Inclinação do talude), visando obter valores de inclinações mais precisos.

REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181: Solo: Análise Granulométrica**. Rio de Janeiro, 1984.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11682: Estabilidade de taludes**. Rio de Janeiro, 1991.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502: Rochas e Solos - Terminologia**. Rio de Janeiro, 1995.

ALEXANDER, D. **The study of natural disasters, 1977-1997: some reflections on a changing field of knowledge**. Disasters, v.21, p.284-304, 1997

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502: Rochas e solos**. Rio de Janeiro, 1995.

AUGUSTO FILHO, O. **Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica**, In: Conferência brasileira sobre estabilidade de encostas. Anais... Rio de Janeiro, v.2. p. 721-733, 1994.

BRASIL. MINISTÉRIO DAS CIDADES / INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios** / Celso Santos Carvalho, Eduardo Soares de Macedo e Agostinho Tadashi Ogura, organizadores – Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 2007.

CAMARA NETO, G; BARBOSA, C. C. F.; DAVIS, C.; FONSECA, F. **Conceitos Básicos em Geoprocessamento**. In: Geoprocessamento: teorias e aplicações, São José dos Campos: INPE, 2000.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos solos e suas aplicações: vol. 1 – Fundamentos**. Rio de Janeiro: LTC, 1987.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos solos e suas aplicações: vol. 2 – Mecânica das rochas**. Rio de Janeiro: LTC, 1988.

CHRIST, C.E. **Mapeamento de áreas susceptíveis ao colapso na Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição** – Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil, Florianópolis, 2014.

CRUZ, Rafael Silva de Souza. **Mapeamento das áreas de suscetibilidade a deslizamentos rotacionais na bacia hidrográfica do rio Itacorubi**. Florianópolis, 2017.

DIAS, M. A. F. S. **As chuvas de novembro de 2008 em Santa Catarina: Um estudo de caso visando à melhoria do monitoramento e da previsão de eventos extremos**. São José dos Campos: INPE, 2009. 67p.

FERNANDES, N.F.; AMARAL, C.P. **Movimentos de Massa: Uma abordagem Geológico-Geomorfológica** In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. Geomorfologia e Meio Ambiente. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. 372 p...

FERNANDES, G. **Caracterização geológica - geotécnica e propostas de estabilização da encosta do morro do curral – centro de artes e convenções de ouro preto**. Dissertação de mestrado. Pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2000.

FERNANDES, N.F., AMARAL, C.P. **Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica**. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org) Geomorfologia e Meio Ambiente. Rio de Janeiro: Bertrand, p. 123-194, 2003.

FIORI, A. P. **Fatores que influem na análise de vertentes e no movimento de massa em encostas**. IN: Boletim Paranaense de Geociências. Ed. UFPR (Universidade Federal do Paraná), 1995a, n. 43.

FLACH, Matheus K. **Análise de estabilidade de um talude em solo natural com avaliação dos parâmetros de resistência em diferentes profundidades**, Nova Trento - SC. Florianópolis, 2016.

GERSCOVICH, D.M.S. **Estabilidade de Taludes**. Oficina de Textos. São Paulo, 2012.

GODOI, C.S. **Caracterização geomecânica de um solo residual de gnaiss – Santo Amaro da Imperatriz, Santa Catarina** – Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014, 212p.

GODOY, H.; BERNUCCI, L. B.; NOGAMI, J. S. **Diretrizes para a identificação expedita de solos lateríticos para uso em obras viárias**. In: 30^a Reunião Anual de Pavimentação, Salvador, 1996, Anais... ABPV, v.2, p.557-568.

GUIMARÃES, R. F.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; GOMES, R. A. T.; FERNANDES, N. F. **Movimentos de Massa**. In: FLORENZANO, T. G. (Org.). Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 318p.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C.M. **Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação**. Edgard Blucher, 1984. 194p.

HIGASHI, R. R. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. **Utilização de um SIG no desenvolvimento de um banco de dados geotécnicos do norte do estado do Rio Grande do Sul**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Florianópolis, 2002. 143 p.

HIGASHI, R. R. **Metodologia de Uso e Ocupação dos Solos de Cidades Costeiras Brasileiras através de SIG com Base no Comportamento Geotécnico e Ambiental** – Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

IPT, Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Procedimentos Metodológicos para o Mapeamento de Riscos de Escorregamento em Assentamentos Precários no Município de São Paulo, SP.** Comunicação Técnica, N 171036. São Paulo, 2012.

KOBIYAMA, M.; CHECCHIA, T.; SILVA, R. V.; SCHRÖDER, P. H.; GRANDO, A.; REGINATTO, G. M. P. **Papel da comunidade e da universidade no gerenciamento de desastres naturais.** In: I Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais. Anais... Florianópolis: GEDN/UFSC, p.834-846, 2004.

LANDIM, P.M.B. Introdução aos métodos de estimação espacial para confecção de mapas. Lab. Geomatemática, DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, Texto Didático 03, 2000.

MACCARINI, M. "Testes de laboratórios em solos naturais." 1º Curso Catarinense - **Aplicações de Geossintéticos em Geotecnia e Meio Ambiente.** Florianópolis, 1999.

MAFRA JR, Celso da Silva. **Elaboração do mapa preliminar de unidades geotécnicas do município de Brusque associado a um banco de dados geotécnico em ambiente de SIG.** Florianópolis, 2007, 123 pg.

MICHEL; KOBIYAMA, Masato; GOERL, Roberto Fabris. **Análise Comparativa entre Modelos Shalstab e Sinmap na Identificação de Áreas Suscetíveis a Escorregamentos Translacionais.** X Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos, Foz do Iguaçu-PR, 2012.

MONTGOMERY, D. R.; DIETRICH, W. E. **A physically based model for the topographic control on shallow landsliding.** Water Resources Research, 1994.

OLIVEIRA, Felipe Paulo de. **Mapeamento Geotécnico preliminar e aplicação do modelo SHALSTAB na análise de escorregamentos da bacia de Santo Antônio de Lisboa – Florianópolis/SC.** 2014. 191 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

PINTO, C. S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. 247p.

PINTO, C.S. **Curso básico de mecânica dos solos**. Oficina de Textos. São Paulo, 2006.

Raimundo; H. A. (1998) **Aspéctos Geotécnicos e Pluviométricos Associados a Instabilidade de Encostas em Florianópolis – SC**. Florianópolis, 53p.

REGINATTO, Gisele Marilha Pereira. **Caracterização de Movimentos de Massa na Bacia Hidrográfica do Rio Cunha, Rio dos Cedros –SC**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2013.

RODRIGUEZ, J. N. (2013). **Análise geoestatística multi-pontos**. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, Instituto de Matemática e Estatística, São Paulo.

ROGÉRIO, P.R. **Cálculo de estabilidade de taludes de terra pelo método de Bishop Simplificado**, São Paulo: Edgar Blucher, 1997.

SANTOS, G. T. (1997). **Integração de informações pedológicas, geológicas e geotécnicas aplicadas ao uso do solo urbano em obras de engenharia**. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SBROGLIA, Regiane M. **Mapeamento geotécnico e das áreas suscetíveis a deslizamentos na microbacia do Ribeirão Bau, Ilhota/SC** Dissertação Mestrado em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

SCHEUREN, J-M., POLAIN, O; BELOW, R; GUHA-SAPIR, D; PONSERRE, S. 2008. **Annual Disaster Statistical Review - The Numbers and Trends 2007**.

CRED - Centre for Research on the Epidemiology of Disasters. 2008, Universit  Catholique de Louvain, Brussels, Belgium.

SERRANO JUNIOR; Odone. **O Direito Humano Fundamental   Moradia Digna: Exigibilidade, Universaliza  o e Pol  ticas Públicas para o Desenvolvimento.** Curitiba: Juru   2012.

SEVERO, D. L. **A meteorologia do desastre.** In: FRANK, B.; SEVEGNANI, L. (orgs.). **Desastre no vale do Itaja   água, gente e pol  tica.** Blumenau: Ag  ncia de água do Vale do Itaja   2009. 192p.

SILVA, Eliane Lima e; GOMES, Roberto Arnaldo Trancoso; GUIMAR ÕES, Renato Fontes; JÚNIOR, Osmar Ab  io de Carvalho. **Emprego de modelo de susceptibilidade a escorregamentos rasos para gest  o de riscos de desastres no munic  pio de Vit  ria-ES.** Sociedade & Natureza, Uberl  ndia, v. 25, n. 1, p. 119 - 132, jan./abr. 2013.

SILVEIRA, Leonardo R. **Avalia  o de vulnerabilidades por dois diferentes m  todos e mapeamento das áreas suscet  veis a deslizamentos translacionais rasos.** Disserta  o Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florian  polis, 2017.

SOUZA, C. R. G. et al. **Desastres naturais: conhecer para prevenir.** 1. Ed. S  o Paulo: Instituto Geol  gico, 2009. 196 p.

THIESEN, S.; SANTOS, J. V.; HIGASHI, R. R. **Application of GIS Tools for Geotechnical Mapping - a Case Study in Brazil.** International Conference on Geotechnical Engineering. ICICGEColombo2015, Colombo/Sri Lanka, 2015.

TOMAZZOLI, E. R.; FLORES, J. A. A.; BAUZYS, F. **Movimentos de massa ocorridos no evento de novembro de 2008, no entorno do Morro do Bau, Vale do Itaja   (SC): caracterizaca o geologico-geomorfologica.** In: 5   COBRAE-Conferencia Nacional de Estabilidade de Encostas. Anais... Sao Paulo, 2009.

TOMINAGA, Lídia Keiko, et al. **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico São Paulo, 2009. 196 p.

UNESCO – IAEG. Engineering Geological Maps. **A Guide to Their Preparation**. Paris : The unesc press, 79p. 1976.

VELOSO, A. J. G. Importância do estudo das vertentes. Disponível em: www.uff.br/geographia/ojs/index.php/geographia/article/.../89/87. Acessado em: 01/08/2009