

Rafael Silva de Souza Cruz

**MAPEAMENTO DAS ÁREAS DE SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS
ROTACIONAIS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITACORUBI**

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação
apresentado como exigência para término da
graduação em Engenharia Civil na Universidade
Federal de Santa Catarina

Orientador: Prof. Dr. Rafael Augusto dos Reis
Higashi

Coorientadora: Eng. M. Caroline Ester Christ

Florianópolis

2017

Rafael Silva de Souza Cruz

**MAPEAMENTO DAS ÁREAS DE SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS
ROTACIONAIS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITACORUBI**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado e aprovado em sua forma final pelo Curso em Engenharia Civil, da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 23 de Junho de 2017.

Prof. Lia Caetano, Dr.

Coordenadora do Curso

Banca Examinadora:



Prof.ª Rafael Augusto dos Reis Higashi, Dr.

Orientador

Universidade Federal de Santa Catarina

Eng. Caroline Ester Christ, M.

Coorientadora

Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Orlando Martini de Oliveira, Dr.

Universidade Federal de Santa Catarina

Eng. Rafael Fernandes Teixeira da Silva,

Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado aos meus colegas de classe e aos meus queridos pais.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Rafael Augusto dos Reis Higashi, pelo incentivo, apoio e orientação.

À minha Coorientadora, Caroline Ester Christ, por toda ajuda disponibilidade e atenção.

À minha família, que sempre me apoiaram e incentivaram servindo de exemplo e motivação.

Aos colegas da Diretoria de Cartografia da Secretaria de Estado do Planejamento, Bruna, Carolina, Paulo, Rafael, Lia, Arthur, Gabriela, Karoline e Yasmin, por toda ajuda na realização do mapeamento.

Aos meus amigos e colegas de curso, que sempre me deram apoio, acreditam em mim e me ajudaram nos momentos difíceis.

A todos aqueles que, embora não tenham sido citados, me auxiliaram de alguma forma na realização desse trabalho.

RESUMO

Os desastres naturais, associados a deslizamentos, cada vez mais causam perdas sociais e econômicas no Brasil. O processo de ocupação urbana desordenada especialmente em áreas de encostas contribuiu agravando as consequências desses desastres. Esse estudo possui como objetivo apresentar o mapeamento das áreas de suscetibilidade a deslizamentos rotacionais na Bacia Hidrográfica do Rio Itacorubi, localizada no município de Florianópolis/SC. Com o intuito de elaborar mapas de suscetibilidade a deslizamentos circulares na Bacia Hidrográfica em estudo, foi determinado o ângulo de declividade limite das encostas por intermédio do cálculo do Fator de Segurança (FS). Para essa análise foi coletados dados preexistentes, como o mapeamento geotécnico da região, o mapa de declividades e parâmetros de resistência ao cisalhamento dos solos (coesão e ângulo de atrito) obtidos através do *Borehole Shear Test*. As análises de estabilidade foram realizadas utilizando o método de Bishop com auxílio do *software Macstars*. O mapeamento foi realizado utilizando o *software Arcgis*, gerando o mapa de suscetibilidade a deslizamentos classificado as áreas conforme sua estabilidade.

Palavras-chave: Deslizamentos rotacionais, Desastres naturais, Itacorubi, Estabilidade de encostas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Foto área de ocupações irregulares atingidas por deslizamento em Salvador, BA.	18
Figura 2- Rastejo.	20
Figura 3- Corrida de Massa.	21
Figura 4- A) Escorregamento Translacional ou Planar B) Escorregamento Rotacional ou Circular C) Escorregamento em Cunha ou Estrutural.....	22
Figura 5- Queda de Blocos	22
Figura 6- Proporção de deslizamentos por região no ano de 2011	23
Figura 7- Ângulo de atrito interno	27
Figura 8- Efeito da tensão superficial da água no ângulo de repouso da areia.....	28
Figura 9- Forças atrativas eletroquímicas.....	28
Figura 10- Critério de Mohr Coulomb	29
Figura 11- Método de Fellenius.....	32
Figura 12- Diferença entre Método de Bishop e Fellenius.....	32
Figura 13- Equipamento Borehole Shear Test.....	34
Figura 14- Perfuração do solo.....	35
Figura 15- Manômetro com bomba manual	35
Figura 16- Execução do ensaio BST	36
Figura 17- Sobreposição dos dados Metodologia Davison Dias (1995).....	38
Figura 18- Conceito das unidades geotécnicas	39
Figura 19- Dados vetoriais	41
Figura 20- Representação SIG.	42
Figura 21- Localização da bacia hidrográfica do Rio Itacorubi	46
Figura 22- Mapa de unidades espaciais da microbacia do Rio Itacorubi.	47
Figura 23 - Valores de precipitação, média de 87 anos.....	48
Figura 24 - Mapa Geotécnico Ajustado – Bacia Hidrográfica do Rio Itacorubi	49
Figura 25 - Fluxograma do método para o desenvolvimento da pesquisa	51
Figura 26- Declividade do terreno da Bacia do Rio Itacorubi.....	53
Figura 27 - Localização dos ensaios BHST – Bacia hidrográfica do Rio Itacorubi ..	54
Figura 28 - Envoltórias - Tensão Normal x Tensão Cisalhante - Ensaio BHST	56

Figura 29- Interface gráfica dos <i>softwares</i> testados. A) Geoslope B) Slide e C) Macstars	59
Figura 30-Análise de estabilidade na unidade geotécnica “Cgi” utilizando os parâmetros de resistência do solo no estado natural de umidade.	60
Figura 31 - Análise de estabilidade na unidade geotécnica “Cgi” utilizando os parâmetros de resistência do solo no estado inundado.	61
Figura 32 - Classificação das áreas em relação aos fatores de segurança.....	63
Figura 33- Gráfico Inclinação x Fator de Segurança - Cgi	64
Figura 34- Mapeamento das áreas de suscetibilidade a deslizamentos circulares da unidade "Cgi"	66
Figura 35- Gráfico Declividade x Fator de Segurança - "Cgt"	67
Figura 36- Mapeamento das áreas de suscetibilidade a deslizamentos circulares da unidade "Cgt"	69
Figura 37- Declividade x Fator de Segurança - "PVgi"	70
Figura 38- Mapeamento das áreas de suscetibilidade a deslizamentos circulares da unidade "Pvgi"	72
Figura 39- Gráfico Declividade x Fator de Segurança - "Rgi"	73
Figura 40- Mapeamento das áreas de suscetibilidade a deslizamentos circulares da unidade "Rgi"	75
Figura 41- Gráfico Declividade x Fator de Segurança - "Gsq"	76
Figura 42- Declividade crítica unidade geotécnica - "Gsq"	76
Figura 43- Mapeamento das áreas de suscetibilidade a deslizamentos circulares da unidade geotécnica "Gsq"	78
Figura 44- Mapeamento das áreas de suscetibilidade a deslizamento na Bacia Hidrográfica do Rio Itacorubi	81
Figura 45- Sobreposição da mancha urbana e o mapa de suscetibilidade a deslizamentos rotacionais.....	82
Figura 46- Sobreposição da imagem de satélite com o mapa de suscetibilidade a deslizamentos rotacionais.....	83
Figura 47- Análise do Plano Diretor de Florianópolis/SC em relação aos aspectos geotécnicos, na região do maciço do Morro da Cruz.....	84

LISTA DE QUADROS

Quadro 2 – Valores típicos de Fator de Segurança.....	30
Quadro 3- Características dos métodos de análise de estabilidade de taludes	31
Quadro 4 - Principais metodologias de mapeamento geotécnico.	37
Quadro 5- Simplificada de Geologia.....	39
Quadro 6- Classes pedológicas	40
Quadro 7- Definição de classes de estabilidades do SINMAP	44
Quadro 8- Descrição das Unidades Geotécnicas	50
Quadro 9- Dados cartográficos obtidos para o desenvolvimento do trabalho.....	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-Resultado dos ensaios BHST 1	54
Tabela 2- Resultado dos ensaios BHST (continuação)	55
Tabela 3-Parâmetros do solo estado inundado	57
Tabela 4-Parâmetros do solo estado natural de umidade	57
Tabela 5- Comparativo dos Fatores de segurança obtidos através dos softwares para a inclinação 15°	58
Tabela 6- Comparativo dos Fatores de segurança obtidos através dos softwares para a inclinação 35°	59
Tabela 7- Comparativo entre os Fatores de segurança utilizando parâmetros de resistência do solo no estado de umidade natural e no estado inundado.	61
Tabela 8- Fator de segurança x Variação da inclinação do Perfil – “Cgi”	64
Tabela 9- Declividade críticas – “Cgi”	65
Tabela 10- Classificação das áreas da unidade geotécnica “Cgi” em relação as classes de estabilidade	65
Tabela 11-Fator de segurança x Variação da inclinação do Perfil –“Cgt”	67
Tabela 12-Declividade crítica unidade geotécnica - "Cgt"	67
Tabela 13- Classificação das áreas da unidade geotécnica “Cgt” em relação as classes de estabilidade	68
Tabela 14-Fator de segurança x Variação da inclinação do Perfil –“PVgi”	70
Tabela 15-Declividade crítica unidade geotécnica - "PVgi"	70
Tabela 16- Classificação das áreas da unidade geotécnica “PVgi” em relação as classes de estabilidade.....	71
Tabela 17-Fator de segurança x Variação da inclinação do Perfil –“Rgi”	73
Tabela 18- Declividade crítica unidade geotécnica - "Rgi"	73
Tabela 19 - Classificação das áreas da unidade geotécnica “Rgi” em relação as classes de estabilidade.....	74
Tabela 20-Fator de segurança x Variação da inclinação do Perfil –“Gsq”	76
Tabela 21- Classificação das áreas da unidade geotécnica “Gsq” em relação às classes de estabilidade.....	77
Tabela 22- Classificação do relevo em relação à declividade do terreno	79
Tabela 23- Resumo das áreas das classes de estabilidade.....	80
Tabela 24- Resumo das áreas conforme a classe de estabilidade	85

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
BHST – Borehole Shear Test
CAD – Computer Aided Design
CEPED – Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres
Cgi – Cambissolo Substrato Granito Ilha
Cgt – Cambissolo Substrato Granito Itacorubi
FS – Fator de Segurança
Gsq – Gleis Substrato Sedimentos Quaternários
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LABGRID – Laboratório de Gestão de Riscos e Desastres
LAMGEO – Laboratório de Mapeamento Geotécnico
MDT – Modelo Digital do Terreno
PNPDEC – Política Nacional de Proteção e Defesa Civil
PVgi – Podzólico Vermelho-Amarelo Substrato Granito Ilha
PVgt – Podzólico Vermelho-Amarelo Substrato Granito Itacorubi
Rgi – Solos Litólicos Substrato Granito Ilha
Rgt – Solos Litólicos Substrato Granito Itacorubi
SC – Santa Catarina
SIG – Sistema de Informações Geográficas
SIRGAS 2000 – Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas 2000
SHALSTAB – Shallow Landsliding Stability Index Mapping
SMsq – Solos Indiscriminados de Mangue Substrato Sedimentos Quaternários
UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina
UTM – Universal Transverse Mercator

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVO	16
1.1.1	Objetivo Geral	16
1.1.2	Objetivos Específicos.....	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	USO E OCUPAÇÃO DO SOLO URBANO.....	17
2.2	MOVIMENTOS DE MASSA	19
2.2.1	Escoamentos.....	19
2.2.1.1	Rastejo	19
2.2.1.2	Corridas de Massa	20
2.2.1.3	Deslizamentos	21
2.2.1.4	Queda de Blocos	22
2.3	MOVIMENTOS DE MASSA NO BRASIL	23
2.4	AGENTES E CAUSAS DE MOVIMENTOS DE MASSA	24
2.5	INFLUÊNCIA DA ÁGUA NA ESTABILIDADE DE TALUDES	25
2.6	ESTABILIDADE DE TALUDES	25
2.7	PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA DOS SOLOS	26
2.7.1	Ângulo de Atrito Interno	26
2.7.2	Coesão.....	27
2.8	CRITÉRIOS DE RUPTURA DE MOHR-COULOMB.....	29
2.9	ANÁLISE DE ESTABILIDADE	29
2.10	MEDIDAS PREVENTIVAS.....	33
2.11	CISALHAMENTO DE CAMPO – BOREHOLE SHEAR TEST	33
2.11.1	Procedimento	34
2.12	MAPEAMENTO GEOTÉCNICO	36
2.12.1	Metodologia Davison Dias (1995).....	37

2.13	SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS – SIG.....	40
2.13.1	Dados em SIG	41
2.14	MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS.....	42
2.14.1	SINMAP	43
2.14.2	SHALSTAB.....	44
3	LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	46
3.1	CLIMA E COBERTURA DO SOLO	47
3.2	GEOMORFOLOGIA E RELEVO.....	48
3.3	UNIDADES GEOTÉCNICAS	49
5	MATERIAIS E MÉTODO	51
5.1	LEVANTAMENTO DE DADOS PREEXISTENTES.....	52
5.1.1	Mapas	52
5.1.2	Caracterização dos solos	53
5.2	ANÁLISE E MAPEAMENTO DAS ÁREAS DE SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS CIRCULARES	58
5.2.1	Escolha do Software para a Análise de Estabilidade na Bacia do Rio Itacorubi	58
5.2.2	Comparativo dos F.S utilizando parâmetros de resistência solo no estado natural de umidade e o estado inundado obtido através BHST	60
5.2.3	Análise da Estabilidade.....	62
5.2.4	Mapeamento das Áreas de Suscetibilidade a Deslizamentos Circulares.....	62
6	RESULTADOS E ANÁLISES	64
6.1	UNIDADE GEOTÉCNICA “Cgi”	64
6.2	UNIDADE GEOTÉCNICA “Cgt”	67
6.3	UNIDADE GEOTÉCNICA – “PVgi”	70
6.4	UNIDADE GEOTÉCNICA - “Rgi”	73
6.5	UNIDADE GEOTÉCNICA- “Gsq”	76
6.6	ANÁLISE GERAL	79
7	CONCLUSÕES E SUGESTÕES	85

7.1	CONCLUSÕES	85
7.2	SUGESTÕES.....	87
	REFERÊNCIAS	88

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas tem se constatado um aumento das ocorrências de desastres naturais, estando eles presentes cada vez mais no cotidiano das pessoas. Existem diversas hipóteses sobre o aumento na frequência dos registros de desastres naturais, porém é fato que nos últimos 50 anos houve uma grande expansão das áreas ocupadas deixando a sociedade mais exposta e vulnerável aos efeitos devastadores que eles causam.

No Brasil embora estejamos livres de fenômenos como terremotos, furacões e vulcões, o aumento na frequência de desastres naturais segue a mesma tendência mundial. Entre 1900 a 2003 foram registrados 261 ocorrências, sendo que 95% destas ocorreram a partir da década de 50 (EM-DAT, 2005).

Entre os tipos de desastres naturais mais frequentes estão às inundações, com 61,8% dos registros, seguido pelos escorregamentos (Emerson et al, 2006). Tanto as inundações quanto os escorregamentos são desastres naturais associados a instabilidades atmosféricas, isso aponta a uma necessidade na coleta e análise de dados conjuntamente com o mapeamento das áreas sujeitas a esses desastres, facilitando a tomada de decisão pelos órgãos gestores.

Em consequência da importância que a análise e coleta de dados representam algumas medidas vêm sendo tomadas, como a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil-PNPDEC, que torna obrigatório a adequação dos planos diretores às cartas geotécnicas, incluindo o mapeamento de áreas de risco, outra medida também feita foi à criação do “Atlas de Desastres Naturais de Santa Catarina” valorizando os registros dos desastres ocorridos no estado.

O mapeamento geotécnico em conjunto com mapas topográficos são elementos de grande importância na caracterização das áreas de risco e estimativa de suscetibilidade da ocorrência de deslizamentos. Dentre as diversas metodologias de mapeamento geotécnico a metodologia Davison Dias (1995) se apresenta adequada a solos do sul do Brasil.

Esse trabalho tem como objetivo realizar um mapeamento das áreas suscetíveis a deslizamentos de encostas na bacia hidrográfica do Rio Itacorubi. Pretende-se desenvolver esta pesquisa com intuito de contribuir no ordenamento de um plano diretor mais seguro em relação a processos geológicos, e que também sirva como ferramenta na adequação da infraestrutura urbana visando à redução dos impactos causados pelos deslizamentos de terra no município de Florianópolis/SC.

1.1 OBJETIVO

1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolvimento de mapas de suscetibilidade a deslizamentos de encostas na Bacia Hidrográfica do Rio Itacorubi – Florianópolis/SC.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Avaliar os parâmetros de resistência do solo na Bacia hidrográfica do Rio Itacorubi obtidos por meio do *Borehole Shear Test*;
- Comparar softwares de cálculo de estabilidade a deslizamentos rotacionais.
- Comparar o fator de segurança no estado inundado e estado natural.
- Analisar a estabilidade de taludes infinitos com diferentes ângulos de inclinação, considerando os parâmetros de resistência ao cisalhamento do solo da Bacia hidrográfica do Rio Itacorubi que influenciam o fator de segurança de um talude qualquer;
- Determinar o ângulo de atrito de cada unidade geotécnica, de acordo com o fator de segurança;
- Mapeamento da bacia hidrográfica do Rio Itacorubi classificando as regiões conforme a sua suscetibilidade ou não a deslizamentos rotacionais.
- Sobreposição dos mapas de suscetibilidade a deslizamentos confrontando com o mapa da mancha urbana.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO URBANO

O uso e ocupação do solo contemplam as funções, as intensidades e os tipos de edificações presentes. (DEL RIO, 1990). Existem diversos trabalhos e abordagens sobre o assunto, cada região e época apresentam particularidades. As relações humanas com relação ao meio físico estão em constante mutação e afetam diretamente o uso e ocupação do solo. A visão urbanística mais recente utiliza o princípio de compatibilização de usos, mistura de atividades levando em conta os aspectos geoambientais e legais.

Apesar de atualmente existir um direcionamento de políticas públicas voltadas a consideração de fatores geoambientais, durante um longo período as cartas e leis que regiam o zoneamento não davam a atenção devida ao tema, além desse fato bairros e comunidades durante o processo de desenvolvimento urbano brasileiro surgiram às margens das grandes cidades.

De acordo com Serrano Junior (2012), durante o processo de crescimento das cidades brasileiras predominaram ordenamentos jurídicos urbanísticos que desconsideravam, ao estabelecer as normas de uso e ocupação do solo, as classes sociais desfavorecidas, que não possuíam condições financeiras de adquirir um imóvel no centro e nos bairros ao seu redor. Como reflexo desses processos a população mais carente sem alternativas foi obrigada a buscar locais em sua maioria distantes da cidade regular.

Segundo Andrade (2006), o plano diretor de Florianópolis de 1988 permitia construção em qualquer setor de encostas com declividades inferiores a 30%, apesar da preocupação em relação à declividade das encostas o plano diretor da época não levava em conta as características das unidades geotécnicas presentes nas encostas. Raimundo (1998) fez um levantamento dos registros referentes a escorregamentos em Florianópolis encontrados de 1960 a 1996, encontrando 236 casos relatados, a maioria desses escorregamentos estava ligada ao contato entre granito/diabásio em áreas bastante povoadas dos morros, mostrando que a criação de limites de ocupação baseados apenas na declividade não era suficiente.

Segundo Higashi (2006) a desconsideração de fatores geotécnicos e ambientais, como resistência do solo de fundação, comportamento dos solos no estado compactado para a aplicação em vias públicas, à estabilidade de taludes pela ocupação de áreas íngremes, a caracterização da suscetibilidade dos solos a processos erosivos entre outras, tendo em vista a

consequente aceleração da expansão urbana, tem apresentado problemas de considerável gravidade para as cidades, como podemos observar na Figura 1.

Figura 1- Foto área de ocupações irregulares atingidas por deslizamento em Salvador, BA.



Fonte: Secom/ Governo do estado da Bahia (2015)

Em 10 de julho de 2001 foi criada a lei nº 10.257 que rege o Estatuto das Cidades, ela foi idealizada com o intuito de reduzir as desigualdades e corrigir as disparidades existentes por conta da não organização do crescimento urbano até então, estabelecendo diretrizes gerais da política urbana. O plano diretor anteriormente a Lei federal 10.257 não apresentava caráter jurídico, ou seja, não estava normatizado, pois não era exigido.

A partir da criação da Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC criada a partir da sanção do projeto de lei PLV 4/2012, tornou obrigatório que municípios sujeitos a processos geológicos potencialmente danosos, a adequação dos planos diretores às cartas geotécnicas, incluindo o mapeamento de áreas de risco (VOLTOLINI, 2012 apud NAMBA e ROSNIECK, 2013).

2.2 MOVIMENTOS DE MASSA

Geólogos, engenheiros e outros profissionais da área geotécnica possuem divergência em relação às definições e classificações dos movimentos de massa. A diversidade de definições reflete a complexidade da natureza desse fenômeno que está associado a diversos agentes e causas. Segundo Gerscovich (2012), movimentos de massa podem ser entendidos como qualquer deslocamento de solo e geralmente são associados a problemas de instabilidade de encostas. Guidicini e Nieble (1984) definem movimentos de massa pelo movimento de materiais de origem terrosa, rochosa ou uma combinação das duas, independentemente das causas, velocidades formas e demais características. Embora exista bastante pesquisa nessa área não há uniformidades referentes às nomenclaturas e classificações. Muitos autores propuseram classificações de movimentos de massa baseados em aplicações locais, baseados apenas na velocidade das movimentações e baseados em termos mecânicos. Devido a esse fato buscou-se contemplar o sistema de classificação de Magalhães Freire (1965), este autor procura unificar os critérios contidos nas obras de diversos especialistas.

2.2.1 Escoamentos

De acordo com Freire (1965) os escoamentos correspondem a uma deformação, ou movimento contínuo com ou sem superfície definida de movimentação; estão classificados em dois tipos: Corrida (escoamento fluido-viscoso) e rastejo.

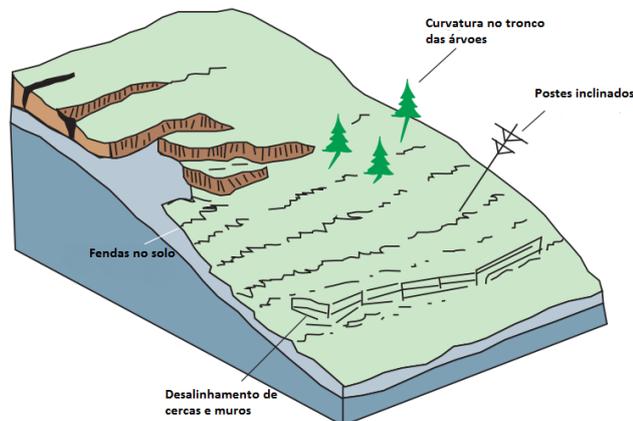
2.2.1.1 Rastejo

Apresentado por Freire (1965) como uma das duas formas de escoamento o rastejo possui como característica principal movimentos lentos e contínuos de material de encostas com limites de difícil definição, podendo envolver grandes massas de solo, não havendo diferenciação entre material estacionário e material em movimento. De acordo com Guidicini e Nieble (1984) o rastejo se diferencia dos escorregamentos não só pela baixa velocidade no movimento, trata-se de uma diferença no mecanismo de deformação. Se, nos escorregamentos, o mecanismo de deformação do terreno é o de um sólido que tenha atingido

a tensão cedência ao cisalhamento, o mecanismo de deformação nos rastejos se assemelha ao de um líquido muito viscoso.

São comuns em locais com solos residuais, em clima tropical úmido, onde o intemperismo é intenso, acarretando num aumento lento de espessura da camada de solo e consequente fluência devido à ação da gravidade (QUEIROZ, 2009). As consequências do rastejo podem ser observados em curvatura de árvores, postes inclinados e pequenos terraços ao longo das encostas como é possível visualizar na Figura 2.

Figura 2- Rastejo.



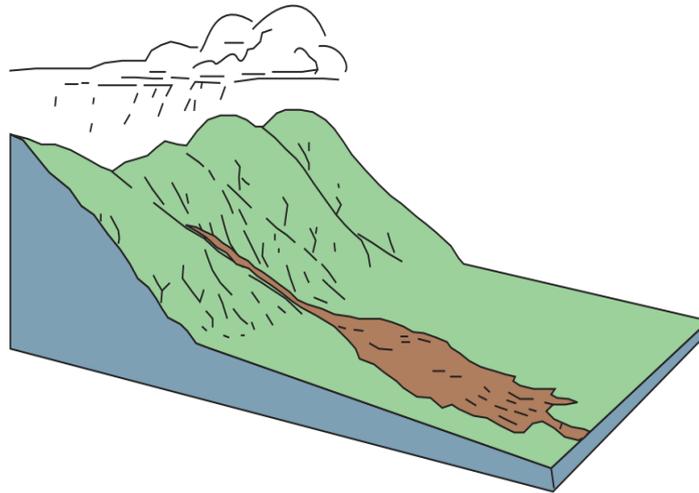
Fonte: The Landslide Handbook (2008) adaptado pelo autor.

2.2.1.2 Corridas de Massa

As corridas são movimentos rápidos de escoamento, geralmente associados a chuvas intensas saturando o maciço, causando o aumento do poro pressão e diminuição do atrito. O Processo de fluidificação pode ser originado por saturação de solos predominantemente arenosos, esforços dinâmicos ou amolgamento de argilas muito sensíveis, na Figura 3 é mostrado o processo de corrida em uma encosta. Este tipo de movimento alcança distâncias significativas e velocidades superiores a 10 km/h (GERSCOVICH, 2012).

Além de chuvas intensas e prolongadas, rebaixamento rápido do nível do lençol freático, erosões por curso de água na base do talude, cargas excessivas, e vibrações de origem antrópica são apontados como mecanismos desencadeadores. Existem casos onde podem ocorrer movimentos de massa múltiplos, um misto de processos simultâneos ou separados por curto espaço de tempo, ou até mesmo um movimento podendo ser a origem do desencadeamento de outro movimento (GUIDICINI e NIEBLE, 1983).

Figura 3- Corrida de Massa.



Fonte: The Landslide Handbook (2008).

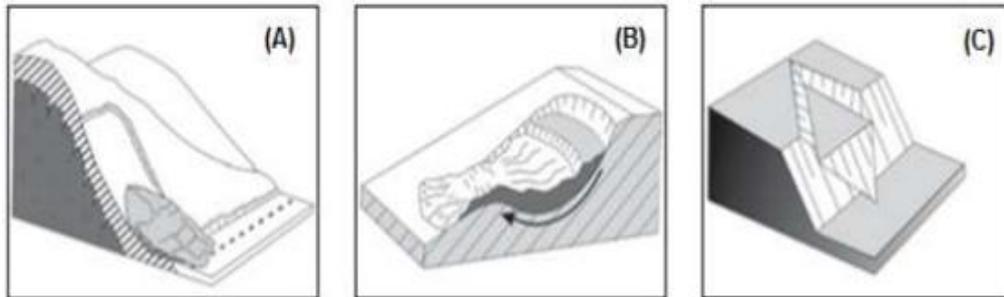
2.2.1.3 Deslizamentos

Deslizamentos são movimentos de massa rápidos que apresentam uma superfície de ruptura bem definida, ocorrem quando tensões cisalhantes mobilizadas na massa de solo atingem a resistência ao cisalhamento do material, com as superfícies de ruptura apresentando-se como planar, circular, em cunha ou mistas, segundo suas condições geomorfológicas (GERSCOVICH, 2012).

De acordo com Caputo (1987), os deslizamentos rotacionais geralmente estão associados a solos homogêneos, desagregados ou pouco consolidados, o deslocamento ocorre ao longo de uma superfície curva de ruptura com a cabeça do material descendo verticalmente e o trecho superior girando em relação ao eixo do talude no sentido horário. Estes movimentos estão comumente associados à existência de camadas espessas e homogêneas de solo, tendo como mecanismos deflagradores a execução de cortes na base do talude para implantação de estradas e construção de edifícios, além da erosão fluvial no sopé da vertente (FERNANDES e AMARAL, 1996).

Deslizamentos translacionais costumam ocorrer ao longo de descontinuidades geológicas, falhas, estratificações ou o ponto de contato entre o solo e a rocha. Formam uma superfície de ruptura planar associada às diferentes origens das camadas de solo e rochas que representam descontinuidades mecânicas derivadas de processos geológicos, geomorfológicos ou pedológicos. (GUIDICINI e NIEBLE, 1984).

Figura 4- A) Escorregamento Translacional ou Planar B) Escorregamento Rotacional ou Circular C) Escorregamento em Cunha ou Estrutural.

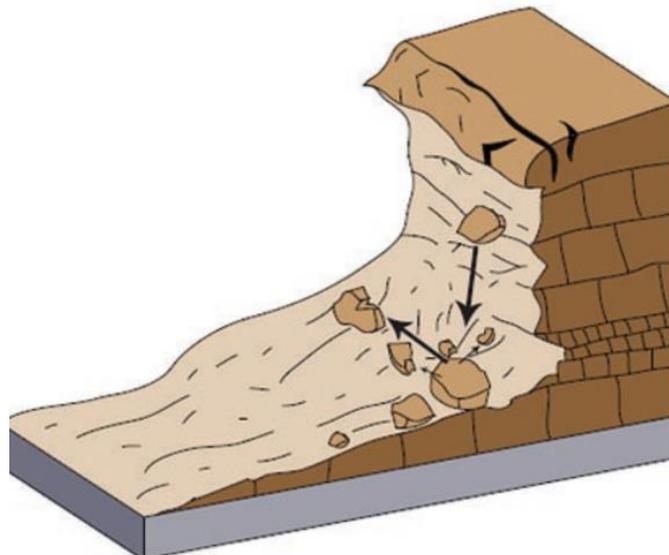


Fonte: BRASIL (2007).

2.2.1.4 Queda de Blocos

As quedas de blocos são movimentos de massa envolvendo blocos rochosos em deslocamentos verticais com alta velocidade. Estes blocos formam-se a partir da ação do intemperismo e pressões hidrostáticas nas fraturas, perda de confinamento lateral, vibrações, entre outros (GERSCOVICH, 2012). Cabe salientar que diferentes termos são utilizados para explicar o processo de queda de blocos como tombamento, basculamento e desmoronamentos esse último tem sua origem associada a trabalhos subterrâneos de mineração.

Figura 5- Queda de Blocos

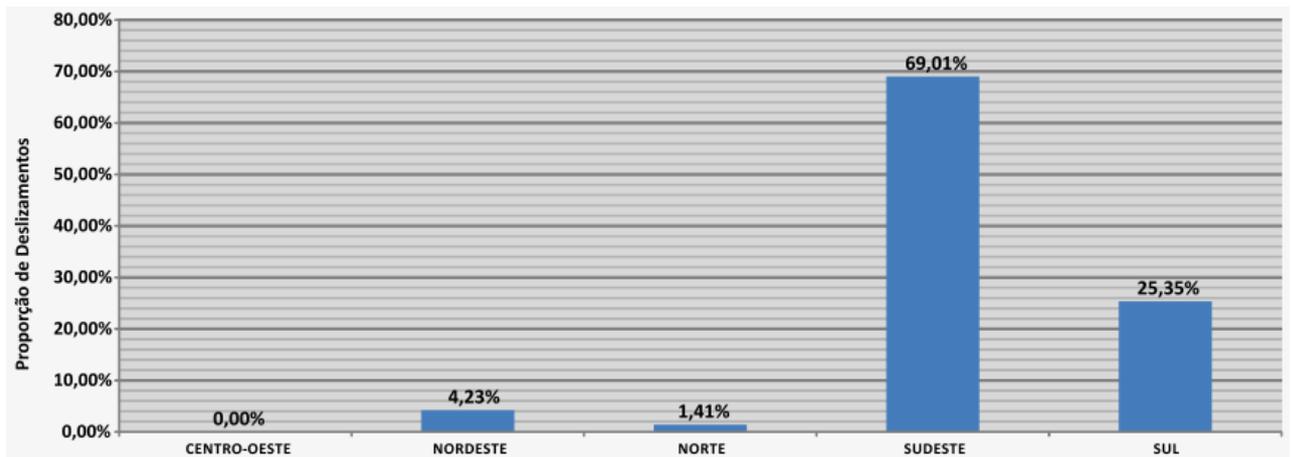


Fonte: The Landslide Handbook (2008).

2.3 MOVIMENTOS DE MASSA NO BRASIL

Os movimentos de massa são fenômenos naturais responsáveis pela dinâmica da evolução das encostas ocorrem com certa frequência em regiões montanhosas no meio tropical úmido brasileiro. De acordo com Guidicini e Nieble (1984), a frequência com que tais movimentos de massa ocorrem é, de longe, superior à que os órgãos de imprensa registraram. É natural que assim seja, pois os escorregamentos só ganham importância na medida em que de alguma forma afetam os pontos de ocupação humana. Na Figura 6, apresentam-se os registros de deslizamentos de terra no Brasil durante o ano de 2011, um dos anos com o maior número de registros de deslizamentos de terra catalogados.

Figura 6- Proporção de deslizamentos por região no ano de 2011



Fonte: MINC, 2011.

Como se pode observar existe um maior número de registros de incidência de movimentos de massa nas encostas em regiões nas proximidades do litoral brasileiro associado à extensa escarpa da Serra do mar situada no Sul e Sudeste do país.

O Brasil, por sua grande extensão e diversidade de condições climáticas, está sujeito aos desastres naturais, principalmente aqueles associados às porções suscetíveis do seu relevo. Além da frequência elevada desses desastres de origem natural, ocorrem no país, também, um grande número de eventos induzidos pela ação antrópica. As metrópoles brasileiras convivem com acentuada incidência de deslizamentos por cortes para implantação de moradias e de estradas, desmatamentos, atividades de pedreiras, etc. (Fernandes e Amaral, 2000 apud Pinto et al. 2012).

Eventos extremos mais recentes, que provocaram grandes prejuízos destacam-se:

- Ocorridos nos municípios de Ilhota e Luiz Alves, Blumenau, Itajaí, no Estado de Santa Catarina, no mês de novembro de 2008;
- Em dezembro de 2009, no município de Angra do Reis, resultando em 63 mortes.
- Na região serrana do Rio de Janeiro no mês de janeiro de 2011, o mais catastrófico que se tem registro, episódio que atingiu as cidades de Petrópolis, Teresópolis, Nova Friburgo, Sumidouro e São José do Vale do Rio Preto.

2.4 AGENTES E CAUSAS DE MOVIMENTOS DE MASSA

De acordo com Guidicini e Nieble (1984) a análise de mecanismos de ruptura de um talude é realizada levando em conta os agentes e causas dos movimentos de massa. Um mesmo agente, ou uma mesma causa, pode ser responsável por diferentes formas de movimentos coletivos de solo e rocha.

Agente predisponente representam as características relacionadas ao talude, ligados a sua origem e condição natural (complexo geológico, morfológico, vegetação original, gravidade, calor solar) não atuando a ação do homem. Trata-se como agentes efetivos o conjunto de elementos diretamente responsáveis pelo desencadeamento do movimento de massa como pluviosidade, erosão pela água ou vento, congelamento, degelo, variação de temperatura, dissolução química, ação de fontes e mananciais, oscilação de nível dos lagos e marés e do lençol freático, ação humana e de animais.

Os agentes deflagradores, por sua vez podem ser separadas dependendo de sua posição com relação ao talude (Terzaghi, apud, Guidicini e Nieble, 1984). Classificam-se as causas entre internas e externas, sendo as internas as que levam ao colapso sem que haja mudanças nas condições geométricas do talude e que resultam de uma diminuição interna da resistência do material (aumento da pressão hidrostática, diminuição de coesão e ângulo de atrito interno). As causas externas provocam um aumento das tensões de cisalhamento, sem que haja diminuição da resistência do material (aumento do declive do talude por processos naturais ou artificiais, deposição de material na porção superior do talude, abalos sísmicos e vibrações).

2.5 INFLUÊNCIA DA ÁGUA NA ESTABILIDADE DE TALUDES

Os principais mecanismos de atuação da água como agente no desencadeamento da desestabilização de uma determinada massa de material de acordo com ABGE (1998) é:

- Elevação do nível piezométrico em regiões com camadas de solo espessa mantendo uma homogeneidade nestas condições aumenta a pressão neutra reduz a tensão normal efetiva e a resistência ao cisalhamento, podendo levar os taludes à ruptura;
- Elevação da coluna d'água em descontinuidade: Quando o maciço rochoso é pouco fraturado, a distribuição de pressões da água se fará aleatoriamente ao longo das descontinuidades. Essas elevações reduzem as tensões normais efetivas podendo gerar esforços laterais cisalhantes, contribuindo, em ambos os casos, para a deflagração de escorregamentos nas encostas e nos taludes.
- Diminuição da coesão aparente: A presença de água intersticial em solos, mesmo em materiais perfeitamente não coesivos, como as areias finas e limpas, pode conferir por efeito de pressão capilar, características de materiais coesivos. Como a coesão de tais solos desaparece completamente após a imersão ou após a secagem, este processo pode levar os taludes à ruptura.

2.6 ESTABILIDADE DE TALUDES

Talude compreende qualquer superfície inclinada que limita um maciço de terra, de rocha ou de ambos. Podemos definir talude como uma superfície de solo exposta que forma um ângulo com a superfície horizontal. Se a superfície do solo não for horizontal, uma componente da gravidade tenderá a mover o solo para baixo, se a componente da gravidade for grande o suficiente, pode ocorrer a ruptura do talude – ou seja, a massa de solo pode deslizar.

Uma das atribuições dos engenheiros civis é a verificação da segurança de taludes. Essa verificação envolve a determinação da tensão de cisalhamento desenvolvida ao longo da superfície de ruptura mais provável e a comparação dela com a resistência do solo ao cisalhamento. A superfície de ruptura mais provável é a superfície crítica que tem o fator de segurança mínimo. Compreende-se da sua definição que na estabilidade dos taludes

interferem condicionantes relativos à natureza dos materiais constituintes e dos agentes causadores.

Fiori (2001), diz que estes condicionantes tornam seu estudo bastante complexo, abrindo horizontes aos especialistas em geologia aplicada, mecânica dos solos e mecânica das rochas. Salienta ainda sua importância, devido aos numerosos acidentes ocorridos e sua alta frequência, em todas as épocas e em todas as partes do mundo, inclusive com perdas de vidas humanas e grandes prejuízos materiais.

2.7 PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA DOS SOLOS

Os parâmetros de resistência dos solos são primordiais em qualquer obra de engenharia. O estudo de parâmetros de resistência ao cisalhamento como ângulo de atrito interno, coesão são imprescindíveis fornecendo os dados necessários para projetos geotécnicos, como por exemplo, a estabilidade de taludes, empuxos de terra sobre paredes de contenção, túneis.

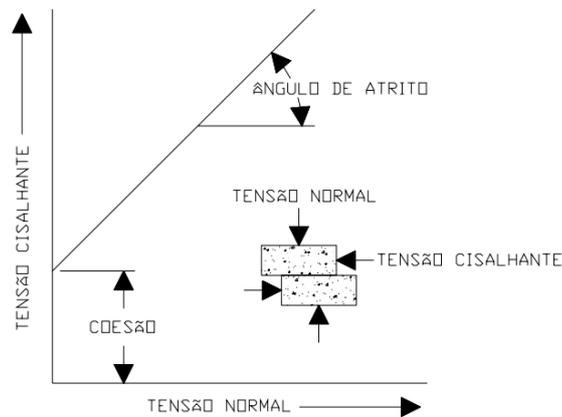
A resistência ao cisalhamento é a máxima tensão de cisalhamento que um solo consegue suportar antes que ocorra a sua ruptura. Como explicado por DAS (2013), essa resistência pode ser considerada como a resistência interna por área unitária que essa massa pode oferecer para resistir a rupturas e a deslizamentos ao longo de qualquer plano em seu interior.

2.7.1 Ângulo de Atrito Interno

De acordo com Taylor (1966) o ângulo de atrito está relacionado às propriedades dos materiais que estão em contato sendo independentes da força atuante. Pinto (2006) descreve que o fenômeno de atrito nos solos diferencia-se do fenômeno de atrito entre dois corpos porque o deslocamento envolve um grande número de grãos não existindo uma superfície nítida de contato, podendo os grãos de o solo deslizar entre si ou rolar uns sobre os outros, acomodando-se em vazios que encontrem no percurso.

O ângulo formado com a resultante das forças (tangencial e normal) é o chamado ângulo de atrito interno, sendo esse ângulo com o qual a força poderá chegar sem haver deslizamento como podemos ver na figura 7.

Figura 7- Angulo de atrito interno



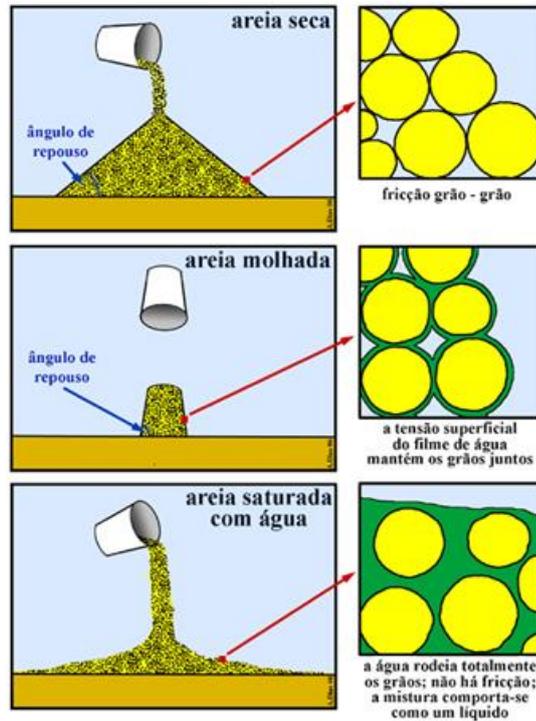
Fonte: Adaptado de Guidicini e Nieble, 1984.

2.7.2 Coesão

A coesão de solos pode ser descrita como atrações de caráter químico ou pela ação da capilaridade da água entre as partículas do solo, essas atrações provocam resistência ao cisalhamento independente da tensão normal atuante. A literatura diferencia a coesão conforme a origem das forças atrativas entre as partículas de solo. A coesão aparente é resultante da pressão capilar da água contida nos solos que age como se fosse uma pressão externa. Solos arenosos possuem a chamada coesão aparente, podemos analisar na Figura 8, que ao se formar uma película de água a tensão superficial criada mantém os grãos unidos com ângulos de repouso superiores a areia seca.

Segundo Machado (1997) a coesão aparente é uma parcela da resistência ao cisalhamento de solos úmidos, não saturados, que não tem sua origem na cimentação e nem nas forças intrínsecas de atração. Esse tipo de coesão deve-se ao efeito de capilaridade na água intersticial. Sendo que a pressão neutra negativa atrai as partículas gerando novamente um fenômeno de atrito entre as mesmas. Saturando-se totalmente o solo, ou secando-o por inteiro, esta parcela desaparece.

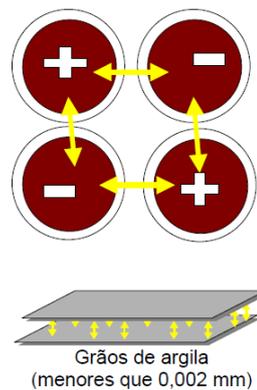
Figura 8- Efeito da tensão superficial da água no ângulo de repouso da areia



Fonte: Dias (2000)

A coesão real ligada principalmente a solos argilosos onde às forças eletroquímicas de atração das partículas de argila, como na Figura 9, ou decorrentes de agentes cimentantes como carbonatos, sílica, óxidos de ferro, dentre outras substâncias, responde muitas vezes por altos valores de coesão.

Figura 9- Forças atrativas eletroquímicas



Fonte: Clube do concreto (2015)

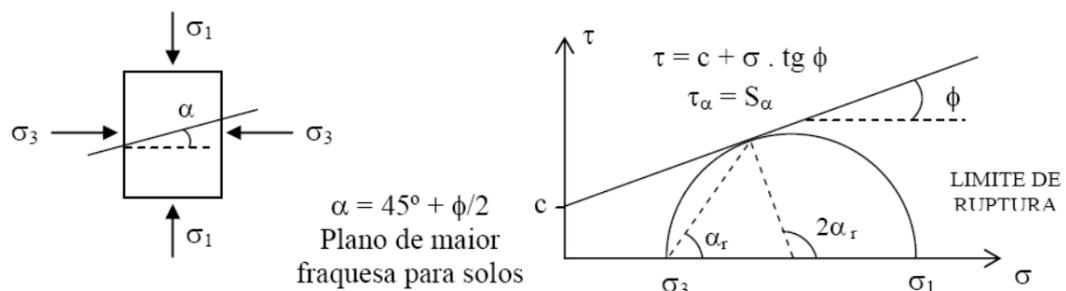
2.8 CRITÉRIOS DE RUPTURA DE MOHR-COULOMB

A teoria de Mohr para ruptura em materiais afirma que um material se rompe por causa da combinação da tensão normal e de cisalhamento e não da máxima tensão normal ou da tensão de cisalhamento isoladas. A envoltória de ruptura definida pela função Mohr é uma linha curva, e não haverá ruptura enquanto o círculo do estado de tensões não ultrapassar o interior da curva criada a partir das envoltórias dos círculos do estado de tensão na ruptura, observados experimentalmente. Para o critério de Coulomb, não haverá ruptura até que se ultrapasse a expressão $c + \sigma \cdot \tan \phi$, onde (c) coesão, (ϕ) ângulo de atrito interno e a (σ) tensão normal são os parâmetros do solo.

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \quad (1)$$

A equação apresentada é chamada de critério de ruptura de Mohr-Coulomb, consistindo na junção dos dois métodos e usada como base teórica para ensaios de cisalhamento direto. Na Figura 10, a envoltória é definida pela equação (1) sendo o círculo de tensões correspondente à ruptura.

Figura 10- Critério de Mohr Coulomb



Fonte: Caputo (1988) adaptado pelo Autor

2.9 ANÁLISE DE ESTABILIDADE

Os geólogos e engenheiros sempre buscaram uma estimativa de estabilidade com a finalidade corretiva, preventiva ou de pesquisa dos movimentos de massa. A Coleta de dados relativos a um talude em trabalhos de campo, análise de imagens, estudos geológicos, entre outros estudos traz indícios da ocorrência ou possibilidade futura de um movimento de massa.

De acordo com Guidicini e Nieble (1985) o número de parâmetros envolvidos nas análises de estabilidade e a interação entre os mesmos levam-se a considerar que uma avaliação precisa de estabilidade não é viável, devido a esse fato as análises de estabilidade são calculadas a fornecerem um numero relativo que sirva de base para uma melhor compreensão do comportamento e da sensibilidade em relação a mudanças de certos parâmetros (inclinação, saturação, estado de tensões, coesão).

As análises de estabilidade estão divididas em três tipos de modelos:

- Estudos em modelos físicos – Fenomenológicos e de projetos
- Modelos matemáticos – Elementos finitos e relaxação dinâmica
- Equilíbrio- limite – Gráfico e analítico

Dentre esses modelos o método do equilíbrio-limite é o mais utilizado atualmente, devido ao fato de um talude possuir um grande número de variáveis e hipóteses envolvidas, e a análise do equilíbrio-limite é menos complexa que o conhecimento das variáveis do talude.

A análise de equilíbrio-limite considera que os esforços resistentes sejam iguais ou maiores que aos solicitados para que o talude se mantenha em equilíbrio. O fator de segurança (FS) é definido como a relação entre a resultante das forças solicitantes e resistentes ao escorregamento, o equilíbrio limite corresponderia a um fator de segurança unitário. Existe muita discussão entre especialistas sobre a confiabilidade de um talude com fator de segurança unitário, devido às muitas incertezas sobre os dados de entrada e características particulares de um talude que não poderiam ser previstos quantitativamente.

Conforme a NBR 11682/1991 que normatiza a questão da estabilidade de taludes classificando o nível de segurança conforme o valor do fator de segurança de acordo com o Quadro 1.

Quadro 1 – Valores típicos de Fator de Segurança

Grau de segurança necessário ao local	Métodos baseados no equilíbrio-limite	Tensão-deformação
	Padrão: fator de segurança mínimo*	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	

* Podem ser adotados fatores diferentes, desde que justificados.

Dentre os diversos métodos de equilíbrio-limite existentes, será destacado nesse trabalho o método de Bishop devido ao fato de ser o escolhido para a análise de estabilidade da Bacia do Rio Itacurubi, porém no Quadro 2 podem ser visualizados outros métodos e suas características e aplicações.

Quadro 2- Características dos métodos de análise de estabilidade de taludes

Método	Circular	Não Circular	Equilíbrio de Momentos	Equilíbrio de Forças	Forças entre Camadas
Talude Infinito		x		x	Paralelo ao talude
Método das Cunhas		x		x	Define Inclinação
Fellenius	x	(x)	x		Resultante paralelo à base de cada fatia
Bishop	x		x		Horizontal
Janbu Simplificado	(x)	(x)		x	Horizontal
Lowe e Karafiath	x	(x)		x	Define Inclinação
Spencer	x	x	x	x	Inclinação constante
Morgenstein e Price	x	x	x	x	$X/E = f(x)$
Janbu Rigoroso	x	x	x	x	Define linha de empuxo
Fredlund e Krahn	x	x	x	x	$X/E = f(x)$

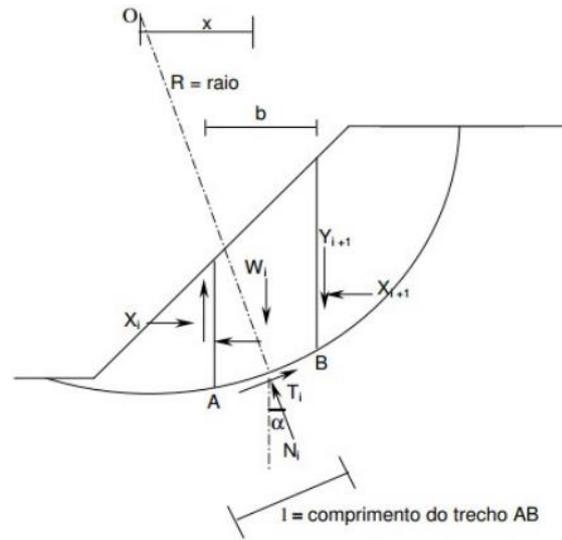
Nota 1: E e X são respectivamente as forças horizontais e verticais entre fatias.

Nota 2: (x) significa que o método pode ser adaptado para tal condição.

Fonte: Strauss (1998) adaptado pelo autor

Anteriormente ao método de Bishop, Fellenius desenvolveu um método chamado de método Sueco ou das fatias. Baseado na análise estática do volume de material situado acima de uma superfície potencial de escorregamento de seção circular, sendo esse volume dividido em fatias verticais. Fellenius admitiu que as forças laterais atuantes entre as fatias eram iguais em ambos os lados de uma mesma fatia, Figura 11. Essa hipótese é exata apenas no caso de superfícies planas e materiais de ângulo de atrito constante.

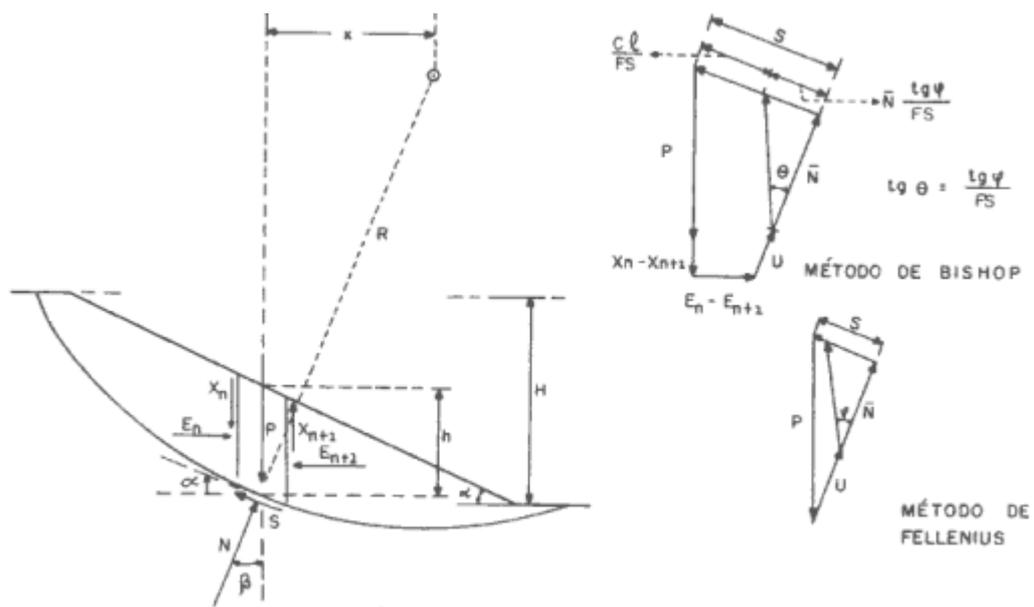
Figura 11- Método de Fellenius



Fonte: Guidicini e Niebel (1985) adaptado pelo autor.

Bishop, em 1952, levou em consideração a atuação mais real entre fatias acrescentando o cisalhamento na lateral entre elas. Segundo Rogério (1977), o método de Fellenius levava a uma superestimação do fator de segurança (FS) da ordem de 15% em relação ao Bishop, fornecendo assim, um valor mais conservador. Na Figura 12 é apresentado um comparativo entre os dois métodos.

Figura 12- Diferença entre Método de Bishop e Fellenius.



Fonte: Guidicini e Niebel (1985).

$$F_s = \frac{1}{\sum P_n \text{sen}\alpha} \sum \frac{(P_n + V_{n-1} - V_{n+1} - U \cos\alpha) \text{tg}\phi + c \cos\alpha}{\cos\alpha + \frac{\text{sen}\alpha}{F_s} \text{tg}\phi} \quad (3)$$

O método de Bishop simplificado foi uma adaptação ao método original onde foi igualada a zero a diferença entre as forças de cisalhamento vertical da equação (3), pois, segundo Bishop (1955), o erro resultante dessa simplificação é da ordem de apenas 1%.

2.10 MEDIDAS PREVENTIVAS

Medidas preventivas em relação aos efeitos dos movimentos de massa podem ser classificadas, segundo Souza et al. (2009), como estruturais e não estruturais. As medidas classificadas como não estruturais seriam, medidas ligadas a gestão do uso e ocupação do solo poderíamos citar como exemplo legislação ambiental e proteção das encostas, planos preventivos da defesa civil, planos diretores que levam em consideração o mapeamento das áreas suscetíveis a movimentos de massa. Medidas estruturais são intervenções físicas em taludes com o intuito de restabelecer o equilíbrio quebrado devido a causas e agentes instabilizadores. Como exemplo de medida estrutural alguns métodos e estruturas:

- Mudança da geometria do talude
- Drenagem da água subterrânea
- Reforço do maciço
- Controle de desmonte
- Obras de contenção estrutural (murros de arrimo, gabiões, cortinas e etc.).

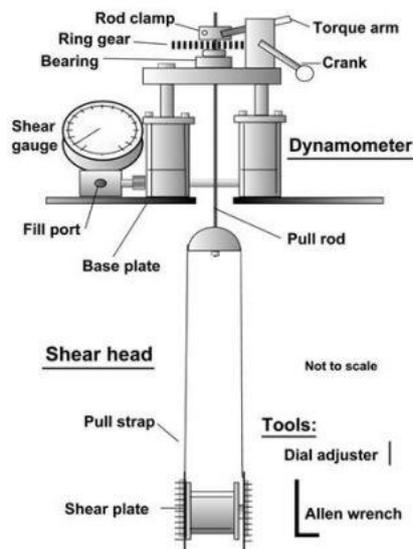
2.11 CISALHAMENTO DE CAMPO – BOREHOLE SHEAR TEST

Uma forma de executar o ensaio de cisalhamento direto em campo é por meio do equipamento *Borehole Shear Test*. Ele se apresenta como uma alternativa com menor tempo de execução para obter coesão e ângulo de atrito do solo analisado. O equipamento BHST foi criado na *Iowa State University* pelos pesquisadores Handy e Fox (1967) com o intuito de estimar os parâmetros de resistência do solo drenado de modo simples rápido e diretamente no campo.

No Brasil, o uso deste equipamento ainda é pouquíssimo conhecido e foi verificada por pesquisas publicadas pelo laboratório de mapeamento geotécnico (LAMGEO) em parceria com o Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres (CEPED) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). A UFSC obteve o primeiro BHST brasileiro e iniciou pesquisas com a utilização deste equipamento em 2014.

O Aparelho contém uma sonda cisalhante, uma bomba de ar e uma base para suporte apresentado na Figura 13.

Figura 13- Equipamento Borehole Shear Test



Fonte: *Handy Geotechnical Instruments, Inc. (2002)*

2.11.1 Procedimento

Conforme Handy Geotechnical Instruments (2013), o ensaio começa com a perfuração do solo com um trado helicoidal de 65 mm e um de 82 mm de diâmetro, o primeiro para verificação do solo e o segundo para auxiliar a execução do ensaio. O furo feito pelo trado para a profundidade que se quer examinar, permitindo analisar vários tipos de solo. A melhor perfuração normalmente é vertical, mas pode ser inclinada ou horizontal para fins especiais. A superfície do solo em torno da abertura deve ser plana e perpendicular ao eixo do equipamento *BHST* de forma a suportar a placa base.

Figura 14- Perfuração do solo



Fonte: LABGRID, 2015

Após a execução do furo, insere-se a sonda cisalhante até a profundidade definida para o ensaio, e com o auxílio de um manômetro com uma bomba manual aplica-se a tensão normal efetiva desejada.

Figura 15- Manômetro com bomba manual



Fonte: LABGRID, 2015

A sonda se expande e comprime o solo para que haja uma etapa de consolidação do material, espera-se 15 minutos para que a consolidação inicial termine. Após o tempo de consolidação, a manivela deve ser girada a uma velocidade de duas revoluções por segundo, no sentido horário. O manômetro registra um aumento gradual de pressão. A pressão da tensão de cisalhamento máxima indica ruptura por cisalhamento. Quando a leitura do manômetro se mantiver constante e não diminuir, continua-se rodando mais, por cerca de 25 voltas para assegurar que não houve falha.

Figura 16- Execução do ensaio BST



Fonte: LABGRID, 2015

2.12 MAPEAMENTO GEOTÉCNICO

De acordo com Higashi (2006), o mapeamento geotécnico é um importante instrumento da engenharia, no gerenciamento de grandes áreas, em especial no planejamento do uso e ocupação do solo. Representa a expressão prática do conhecimento geomecânico do solo aplicado à gestão de problemas impostos pelo seu uso. Entretanto, dentre os problemas encontrados em sua aplicação cita-se muitas vezes a pequena quantidade de dados geotécnicos e as pequenas escalas dos mapas bases (pedológico e geológico).

Zuquette (1992) afirma que o mapeamento geotécnico deve retratar o meio físico de forma a permitir a diferentes usuários obterem informações básicas para orientação e escolha das áreas mais adequadas para aos seus empreendimentos assim como os critérios a serem utilizados nas investigações que se fizerem para uso.

Devido a cada região possuir suas particularidades buscando diferentes aplicações criaram se diversas metodologias para execução de um mapeamento geotécnico, como pode ser visto no Quadro 3. Essas técnicas para investigação têm como objetivo o estabelecimento de unidades territoriais homogêneas.

Quadro 3 - Principais metodologias de mapeamento geotécnico.

METODOLOGIA	ESCALA	FINALIDADE	UTILIZAÇÃO
IAEG (Internacional)	<1:100.000	Específica	Planejamento urbano e regional
	>1:10.000	Multifuncionalidade	
Francesa	Regional	Específica Regional	Planejamento urbano e regional
	Local <1:10.000 >1:2.000		
PUCE (Austrália)	Qualquer <1:2.500.000 >1:2.500	Específica Regional	Planejamento urbano e regional
Britânica (inglesa)	<1:10.000 >1:2.500	Específica Multifuncionalidade	Planejamento urbano e regional
Russa	<1:100.000.000 <1:500.000	Específica Regional	Planejamento urbano e regional
Hinojosa e Leon	<1:1.000.000 <1:500.000	Específica	Planejamento e projeto estradas
ZERMOS	>1:50.000	Específica	Movimento de massas (planejamento)
Espanhola	<1:200.000 >1:2.000	Específica Regional	Planejamento regional e territorial
USA (Kiefer)	Regional e local	Específica Regional	Planejamento urbano e regional
Canadá	Regional e local	Específica Multifuncionalidade	Planejamento urbano e regional

Fonte: Kopezinski (2000).

Destaca-se, neste estudo a metodologia Davison Dias (1995), desenvolvida para solos tropicais, a qual foi utilizada por Santos (1997) na elaboração do mapa geotécnico de toda a ilha de Santa Catarina. Davison Dias (1995) desenvolveu a metodologia determinada de mapeamento geotécnico de grandes áreas, adequada para estimativa de unidades geotécnicas e os seus respectivos comportamentos geomecânicos.

2.12.1 Metodologia Davison Dias (1995)

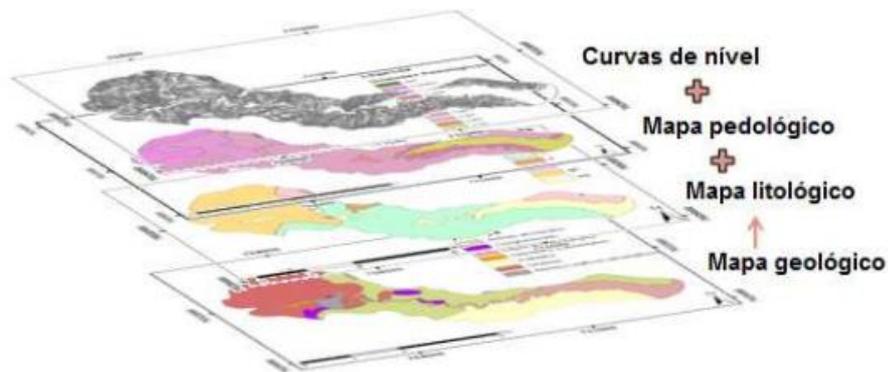
A principal característica da metodologia Davison Dias (1995) é a caracterização de maneira mais eficaz a grande variedade de solos encontrados no Brasil, solos tropicais e subtropicais. Ele surge devido à necessidade de uma melhor representação das unidades

geotécnicas de solos brasileiros, as metodologias mais tradicionais utilizadas no mundo, elaboradas por países do hemisfério norte, não eram aplicáveis ao nosso cenário.

A metodologia Davison Dias (1995) é desenvolvida em um Sistema de Informações Geográficas (SIG), de uma forma geral a metodologia sugere o cruzamento do mapa litológico com o pedológico juntamente com a análise da topografia, hidrografia e zoneamento de uso do solo para a definição preliminar dos polígonos que representam unidades geotécnicas presentes, conforme a Figura 17.

O mapa geológico remete às características do horizonte de alteração da rocha e o pedológico remete aos horizontes superficiais em seu perfil típico. O cruzamento dos mapas pedológicos, geológico e características de feições de relevo origina o mapa geotécnico, o qual possui nomenclatura semelhante ao mapa pedológico. (HIGASHI, 2006).

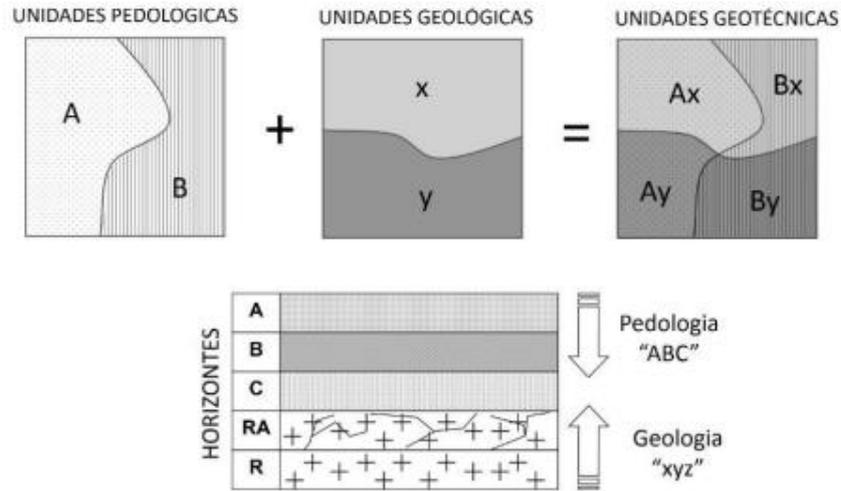
Figura 17- Sobreposição dos dados Metodologia Davison Dias (1995)



Fonte: Sbroglia, 2015

As unidades geotécnicas possuem nomenclatura na forma “ABCxyz”, as letras maiúsculas classificam o horizonte superficial (pedológico), e as minúsculas caracterizam a geologia que é representada pela rocha predominante a cada domínio mapeado. Na Figura 18 um modelo esquemático do cruzamento dos mapas litológico e pedológico formando as unidades geotécnicas.

Figura 18- Conceito das unidades geotécnicas



Fonte: HIGASHI (2006).

O Quadro 4, apresenta a simbologia quanto à classificação geológica; e o Quadro 5 apresenta a simbologia das classes pedológicas. Ambas as simbologias são propostas por Davison Dias.

Quadro 4- Simplificada de Geologia.

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: (DIAS, 2001 *apud* HIGASHI, 2006).

Quadro 5- Classes pedológicas

Sigla	Classificação	Sigla	Classificação
A	Aluviais	P	Podzóis Indiscriminados
AQ	Areia Quartzosa	PB	Podzólico Bruno-Acidentado
B	Brunizém	PE	Podzólico 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	Podzólico Vermelho-Amarelo
LA	Latossolo Amarelo	R	Litólico
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 Podzólica
LR	Latossolo Roxo	V	Vertissolo
LV	Latossolo Vermelho-Amarelo		

Fonte: (DIAS, 2001 *apud* HIGASHI, 2006).

2.13 SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS – SIG

Os sistemas de informações Geográficas surgiram a mais de quatro décadas, sendo uma ferramenta de muita utilidade devido à facilidade e praticidade de manipulação e combinação de dados espaciais. Com o desenvolvimento da informática, tornou-se possível armazenar e representar informações geográficas em meios digitais, o que deu a origem ao processo de geoprocessamento. Essas ferramentas permitem realizar análises complexas ao integrar dados de várias fontes e criar bancos de dados georeferenciados, sendo útil para áreas como mobilidade, logística, uso e ocupação do solo, saúde entre outros. Loch (2006) define os sistemas de informações geográficas da seguinte maneira:

O SIG é uma ferramenta que oferece a possibilidade de integrar os dados de diferentes fontes e tipos, assim como sua manipulação. As operações de análise espacial e a possibilidade de visualização dos dados em qualquer tempo, durante todo o processo, fizeram do SIG um poderoso aliado tanto para as análises espaciais como para tomada de decisões (LOCH, 2006).

De acordo com Câmara (1993), as principais funções de um SIG são:

- integrar informações espaciais de dados cartográficos, censitários, e de cadastramento, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno, numa única base de dados;
- cruzar informações por meio de algoritmo de manipulação para gerar mapeamentos derivados;

- consultar, recuperar, visualizar e permitir saídas gráficas para o conteúdo da base de dados geocodificados.

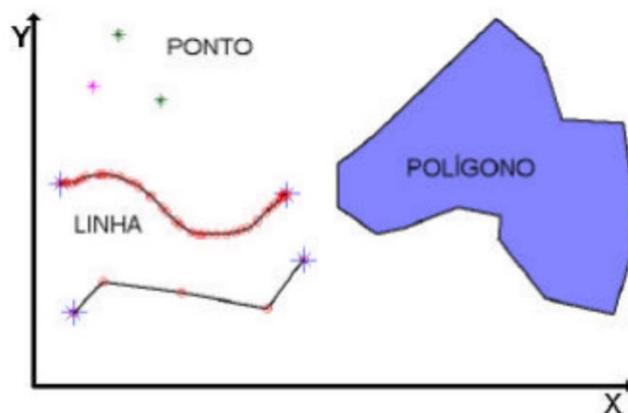
Diante dessas características a utilização do SIG no campo do Mapeamento Geotécnico se torna uma ferramenta muito útil geradora de subsídios para atuar na identificação dos fatores e processos envolvidos, buscando representar de forma gráfica a caracterização do ambiente físico e do comportamento geomecânico dos solos e, assim, a distribuição espacial dos movimentos de massa.

Neste contexto, pesquisas sobre estabilidade de encostas e a ocorrência de movimentos de massa a partir de mapas geológico-geotécnicos em diferentes escalas foram citados por Guimarães (2000): Barroso e Barroso (1996), Mendonça et al. (1996) e Alves (1999); e por Higashi (2006): Bastos et al. (1998), Amaral e Lara (1998), Gomes (1998), Calijuri et al. (2001) e Saito et al. (2005) e ainda Amaral Junior (2007).

2.13.1 Dados em SIG

A estrutura de dados em ambiente SIG é feita seguindo dois padrões, dados vetoriais ou matriciais (*raster*). Os formatos vetoriais são aqueles nos quais há coordenadas nas suas extremidades, como o ponto, reta e polígono, representados na Figura 19. Apresentam precisão nos dados e podem ser utilizados em outros ambientes como CAD (*Computer aided Design*). Segundo CHRIST (2014), “na maioria dos SIG’s não é possível produzir um arquivo vetorial composto por mais de uma forma geométrica, porém, pode-se compor um mapa sobrepondo diversos *layers* com variadas informações”.

Figura 19- Dados vetoriais



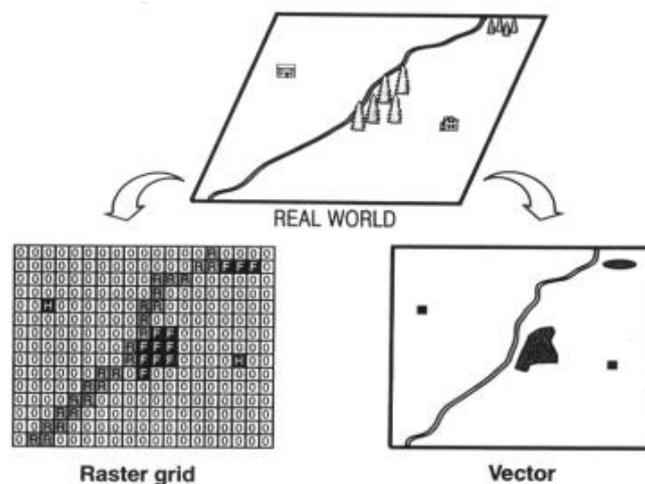
Fonte: Câmara et al., 2000.

Os dados matriciais possuem a representação feita com base em uma matriz $P(m,n)$, onde cada célula (*pixel*) possui um valor (atributo) correspondente ou seja uma única localização para um determinado atributo. As imagens de satélite ou aerofotogramétricas são exemplos de dados matriciais, e o tamanho do pixel é o principal fator que influencia na definição da imagem.

As representações vetoriais e matriciais podem ser observadas na Figura 20, nota-se que o sistema vetorial é mais indicado quando se quer uma maior precisão nas representações.

Segundo Câmara e Monteiro (2005), as operações de álgebra de mapas são mais facilmente realizadas no formato matricial, sendo que para um mesmo grau de precisão, o espaço de armazenamento requerido por uma representação matricial é maior.

Figura 20- Representação SIG.



Fonte: Davis B. E. e Davis B., GIS: A Visual Approach, World Press, 2001.

2.14 MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS

Com o avanço tecnológico na área de geoprocessamento, o modelamento vem ganhando importância, permitindo o surgimento de novos métodos de análise e previsão de áreas suscetíveis a deslizamentos. Neste contexto, a modelagem matemática se destaca por ser capaz de prever a distribuição espacial e temporal dos deslizamentos dentro de uma determinada área (RAMOS et al., 2002).

Neste contexto, para a previsão de deslizamentos translacionais, destacam-se modelos que utilizam equações de análise de estabilidade com base na teoria do talude

infinito em conjunto com modelos hidrológicos, como o modelo estocástico SINMAP (*Stability Index Mapping*) e o modelo determinístico SHALSTAB (*Shallow Landsliding Stability Model*), desenvolvidos por Pack et al. (1998) e Montgomery e Dietrich (1994), respectivamente.

Esses dois modelos matemáticos utilizam como dados de entrada o modelo digital do terreno (MDT), a partir do qual são obtidos as variáveis topográficas, e parâmetros hidrológicos e geotécnicos. Entretanto, a diferença entre eles está relacionada na forma de quantificar a instabilidade.

2.14.1 SINMAP

O SINMAP é um modelo para mapeamento de áreas que remete a um índice de estabilidade de encostas (SI), capaz de detectar áreas susceptíveis a deslizamentos translacionais rasos. O SINMAP faz a classificação da estabilidade com base na variação espacial da declividade e do índice geomorfológico, e de outros parâmetros ligados às características climáticas e pedológicas (MICHEL et al., 2012).

O conjunto de parâmetros ligados ao solo e à precipitação possui uma série de incertezas associadas relacionadas tanto aos métodos de determinação quanto a vulnerabilidade espacial e necessidade de regionalização dos valores dos parâmetros. Dessa maneira, o índice de estabilidade (SI) é definido como a probabilidade de uma região ser estável, assumindo distribuições uniformes de parâmetros sobre esses intervalos de incerteza (MICHEL et al., 2012).

Em geral os resultados obtidos situam-se entre 0 e 1, no entanto o SI assumirá valores superiores a 1 quando se adotar parâmetros no sentido de favorecer a desestabilização e ainda assim resultar em estabilidade, como mostrado no Quadro 6.

Quadro 6- Definição de classes de estabilidades do SINMAP

Índice de Estabilidade	Classe	Classes de Estabilidade	Intervalo dos Parâmetros	Possível influência de fatores não modelados
$SI > 1.5$	1	Estável	Instabilidade não prevista	São necessários fatores desestabilizantes significativos para gerar instabilidade
$1.5 > SI > 1.25$	2	Estabilidade moderada	Instabilidade não prevista	São necessários fatores desestabilizantes moderados para gerar instabilidade
$1.25 > SI > 1.0$	3	Estabilidade baixa	Instabilidade não prevista	São necessários fatores desestabilizantes mínimos para gerar instabilidade
$1.0 > SI > 0.5$	4	Limiar inferior de instabilidade	Combinação pessimista prevê instabilidade	Fatores desestabilizantes não são necessários para gerar instabilidade
$0.5 > SI > 0.0$	5	Limiar superior de instabilidade	Combinação otimista prevê estabilidade	Fatores estabilizantes podem gerar estabilidade
$0.0 > SI$	6	Instável	Estabilidade não prevista	Fatores estabilizadores são necessários para gerar estabilidade

Fonte: Michel et al. (2012)

2.14.2 SHALSTAB

O modelo SHALSTAB consiste na junção de dois modelos, um de estabilidade e o outro hidrológico, que permitem prever a ocorrência de um deslizamento raso em função da quantidade de chuva e características geotécnicas do local.

De acordo com Reginatto (2013), esse método além de considerar parâmetros climáticos e topográficos, bem como propriedades físicas e de resistência do solo permitindo gerar cenários em função de diversos eventos pluviométricos e diferentes parâmetros de resistência dos solos.

Os componentes do modelo consistem em parâmetros topográficos, geotécnicos e hidrológicos. Os parâmetros topográficos são a declividade e área de contribuição, obtidos a partir de Modelos Digitais de Terreno (MDT), os quais para fins deste modelo são determinantes para prever a acumulação de água e a consistência destes dados está intimamente ligada a qualidade e resolução do MDT (FERNANDES et al., 2001).

Os parâmetros do solo, coesão, massa específica, ângulo de atrito e espessura, são obtidos através de ensaios de campos ou estimados se houver estudos desenvolvidos com solos do local, podendo ser especializados e individualizados aos tipos de solos da bacia ou generalizados para toda a área a fim de serem utilizado no modelo de taludes infinitos.

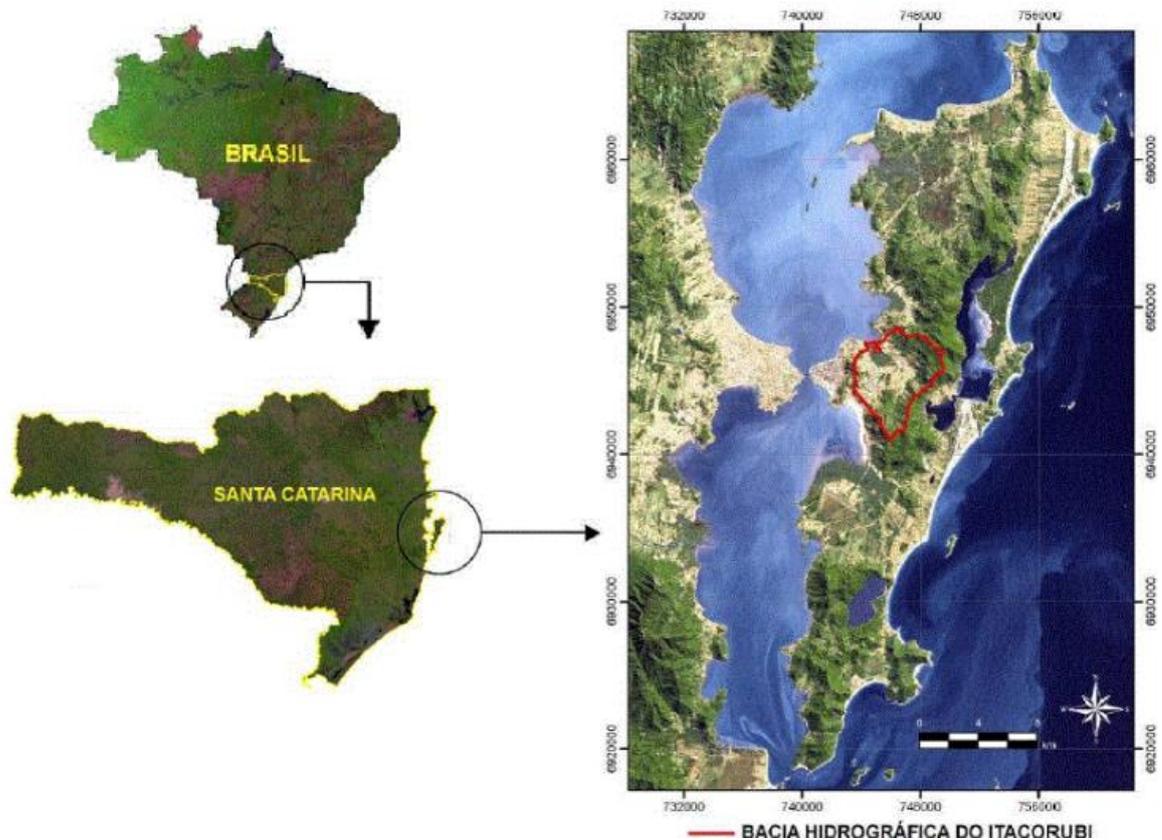
Os fatores hidrológicos, transmissibilidade do solo e a precipitação (recarga uniforme) são variáveis ao longo do tempo e características como, intensidade da precipitação e duração influencia a magnitude dos deslizamentos (GUIMARÃES et al., 2002).

No Brasil, o modelo SHALSTAB foi aplicado em diversas regiões de clima tropical em estudos que apontam resultados satisfatórios. No Rio de Janeiro foi utilizado em áreas do Maciço da Tijuca por Guimarães (2000), Guimarães et al. (2003), Fernandes et al. (2001) e Gomes (2006) e nos municípios de Magé, Petrópolis e Itatiaia por Carvalho Junior et al. (2005), Silva (2006) e Carvalho et al. (2009), respectivamente. Em São Paulo, por Listo e Carvalho Vieira (2012) e na Serra de Cubatão por Vieira et al. (2009). Em Minas Gerais na região do Quadrilátero Ferrífero por Ramos et al. (2002), em Juiz de Fora por Zaindan e Fernandes (2009) e em Ouro Preto por Redivo et al. (2004). Na Bahia, por Ramos (2003) no Subúrbio Ferroviário de Salvador. E, em Santa Catarina por Higashi e Michel (2010) em sub-bacias do Rio Tubarão e na bacia do Rio Cunha em Rio dos Cedros por Michel (2011) e Reginatto (2013).

3 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo abrange a bacia hidrográfica do Itacorubi. Está localizada na região oeste da ilha de Santa Catarina, estado de Santa Catarina, Brasil. Situa-se aproximadamente entre as coordenadas geográficas $27^{\circ}34'07''$ – $27^{\circ}37'57''$ latitude sul e $48^{\circ}28'25''$ – $48^{\circ}33'00''$ de longitude oeste de Greenwich.

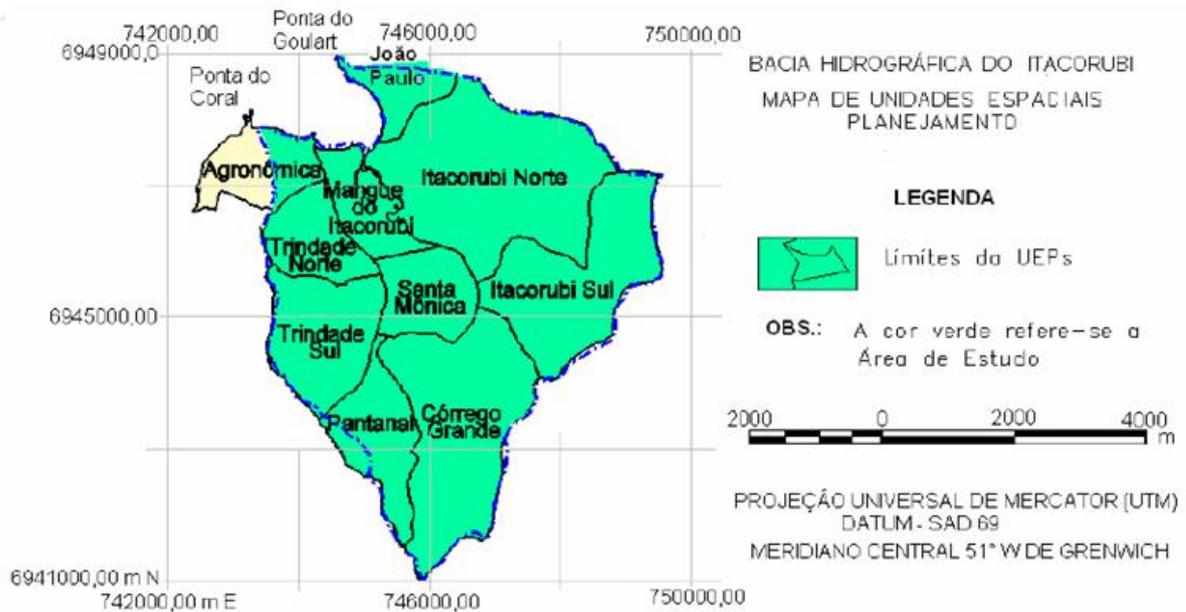
Figura 21- Localização da bacia hidrográfica do Rio Itacorubi



Fonte: Silva (2010).

A Bacia do Itacorubi possui área aproximada de 28,4km². Abrange os bairros Jardim Santa Mônica, Córrego Grande, Trindade, Parque São Jorge, Itacorubi, João Paulo, Pantanal e Carvoeira. É endereço de vários órgãos dos governos federal, estadual e municipal, sede de concessionárias de serviços públicos estabelecimentos comerciais e de serviços. Tornou-se polo de concentração do terceiro setor, com crescimento constante além da expansão da construção civil, destinado a maioria das unidades para habitação multifamiliar.

Figura 22- Mapa de unidades espaciais da microbacia do Rio Itacorubi.



Fonte: Sánchez Dalotto (2003) apud Orth (1999).

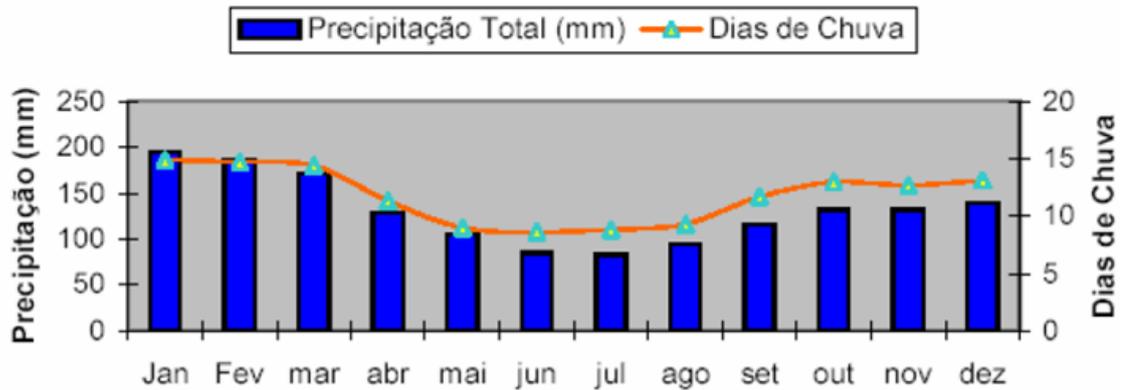
3.1 CLIMA E COBERTURA DO SOLO

A área de estudo caracteriza-se por apresentar amplitudes térmicas anuais moderadas, com um clima agradável pela influência da maritimidade e segundo os critérios de Koeppen, a classificação climática é do tipo Cfa, situada em zona intermediária subtropical, pertencente ao grupo mesotérmico úmido, com chuvas distribuídas uniformemente durante o ano (Dutra, 1998).

A precipitação é bastante significativa, apresentando no período de 87 anos (1917 a 2004), a média mensal de 115,20mm/mês e 1569,1 mm/ano, não existindo estação seca, e no verão geralmente são registrados os maiores índices pluviométricos. A umidade relativa do ar é alta com média mensal em torno de 82% (Dutra, 1998).

A cobertura do solo nas regiões sedimentares mais planas da microbacia apresenta uma importante formação vegetal que é o Manguezal do Itacorubi, localizado na região noroeste tendo como limite o mar da Baía Norte. Segundo Santos (1997) nas regiões de encostas das elevações rochosas localizam-se formações florestais das matas primitivas e aos vários estágios de sucessão da mata secundária.

Figura 23 - Valores de precipitação, média de 87 anos.



Fonte: CLIMERH/EPAGRI/INMET.

3.2 GEOMORFOLOGIA E RELEVO

Segundo Santos (1997) a bacia hidrográfica do Rio Itacorubi era uma paleoenseada, originalmente fazia parte de uma ilha isolada, e que fazia parte de um “arquipélago” de rochas cristalinas, atualmente, representadas pelos morros. Provavelmente, durante o período terciário e em períodos alternados do Quaternário, esse grupo de ilhas foi ligado por formações constituídas por sedimentos marinhos, lacustres, eólicos e fluviais, desenvolvendo-se as restingas, e à medida que se expandiam, aumentavam a extensão das praias e passavam a sofrer retrabalhamento pelo vento originando as dunas. O arquipélago se transformou na tão conhecida Ilha de Santa Catarina, parte insular do Município de Florianópolis.

Os terrenos cristalinos do Pré-Cambriano formam as partes mais elevadas da ilha, com altitude de até 534 metros, no Morro do Ribeirão. A morfologia geralmente apresenta linhas de crista, dada sua disposição frequentemente alongada, e a forte declividade de suas encostas. Os terrenos sedimentares abrangem pequenas áreas de sedimentação; de baixa altitude, alcançando 40 metros nos campos de dissipação de dunas, apresentando morfologia típica. Na planície sedimentar verifica-se a atuação de processos erosivos e deposicionais sob várias condições distintas de ambiente, onde os rios, os mangues, as praias e as lagoas aí existentes, constituem a Unidade Geomorfológica Planícies Costeiras (SANTOS, 1997).

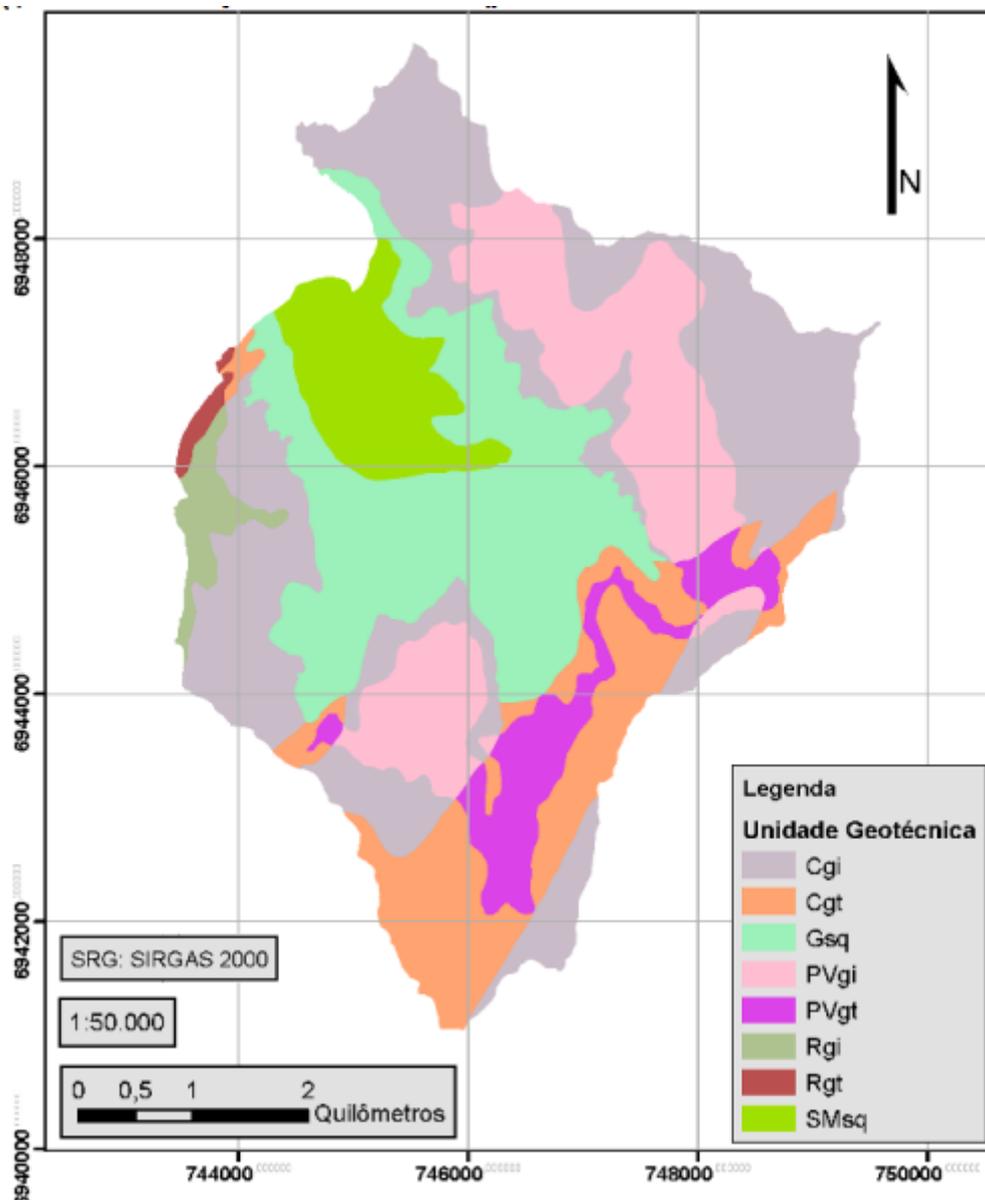
Conforme Tomazzoli e Pellerin (2015), do ponto de vista geológico-geomorfológico, a ilha de Santa Catarina pode ser dividida em dois domínios fundamentais: a) domínio de morros, montanhas e elevações, constituído por migmatitos do Complexo Águas Mornas, pelos granitos Ilha e Itacorubi e por rochas vulcânicas ácidas da Suíte Cambirela, todos cortados por diques do Enxame Florianópolis; b) domínio das planícies costeiras que

interligam essas elevações e são constituídas por depósitos quaternários inconsolidados, de origem variada.

3.3 UNIDADES GEOTÉCNICAS

O mapeamento Geotécnico realizado por Caraméz (2017), apresentado na Figura 24 abaixo, apresenta as unidades geotécnicas que ocorrem na bacia Hidrográfica do Rio Itacorubi. O autor também exibe o Quadro 7, que descreve as unidades geotécnicas estudadas.

Figura 24 - Mapa Geotécnico Ajustado – Bacia Hidrográfica do Rio Itacorubi



Fonte: Caraméz (2017).

Quadro 7- Descrição das Unidades Geotécnicas

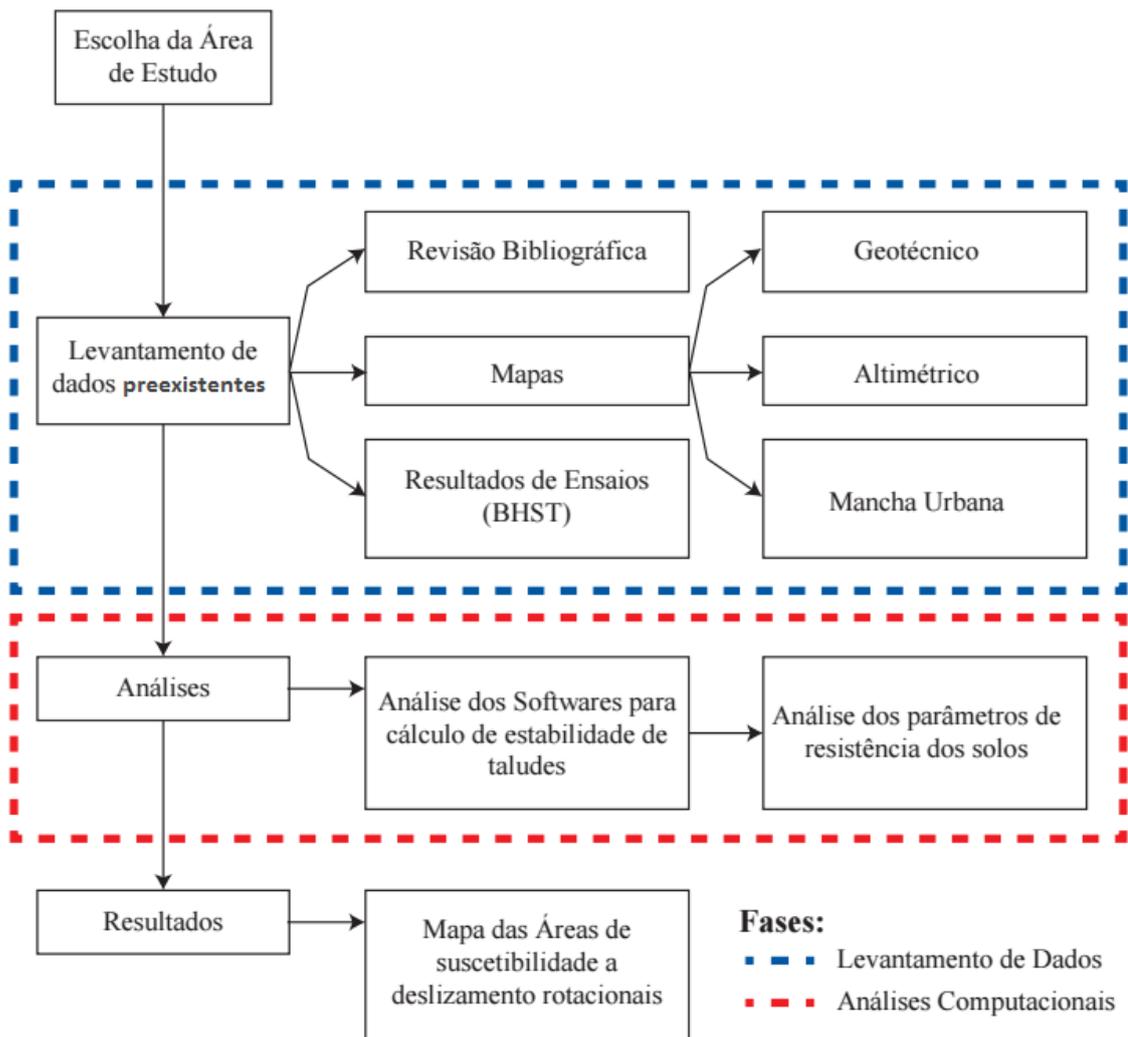
Unidade Geotécnica	Descrição	Área (Km²)	Área ocupada na Bacia (%)	Abrangência de Cotas (m)	Universo Geotécnico	Fases de Relevô
Cgi	Cambissolo substrato granito ilha	9,40	33,11%	5 a 493	Residual	Suave Ondulado a Escarpado
Cgt	Cambissolo substrato granito itacorubi	3,68	12,97%	5 a 425	Residual	Ondulado a Escarpado
Gsq	Glei substrato sedimentos quaternários	6,25	22,02%	0 a 38	Sedimentar	Plano a Ondulado
Pvgi	Podzólico Vermelho-Amarelo substrato granito ilha	4,65	16,38%	7 a 295	Residual	Forte Ondulado a Montanhoso
PVgt	Podzólico Vermelho-Amarelo substrato granito Itacorubi	1,66	5,83%	19 a 259	Residual	Ondulado a Escarpado
Rgi	Solos Litólicos substrato granito ilha	0,56	1,98%	43 a 281	Residual	Forte Ondulado a Escarpado
Rgt	Solos Litólicos substrato granito Itacorubi	0,13	0,48%	44 a 286	Residual	Forte Ondulado a Escarpado
SMSq	Solos Indiscriminados de Mangue substrato sedimentos quaternários	2,06	7,24%	0 a 5	Sedimentar	Plano Suave a Ondulado

Fonte: Caraméz (2017) adaptado pelo autor.

5 MATERIAIS E MÉTODO

Este capítulo descreve o método utilizado para a realização do estudo em questão. O fluxograma ilustrado na Figura 19 apresenta as etapas efetuadas durante o trabalho e que serão abordadas nos próximos tópicos.

Figura 25 - Fluxograma do método para o desenvolvimento da pesquisa



5.1 LEVANTAMENTO DE DADOS PREEXISTENTES

5.1.1 Mapas

Os mapas utilizados na pesquisa foram adaptados por Caraméz (2017), citam-se entre eles: mapa pedológico, mapa geológico, mapeamento geotécnico, altimétrico. O Quadro 8, apresenta a origem, data, escala, ano e sistema de coordenadas dos mapas presentes na pesquisa.

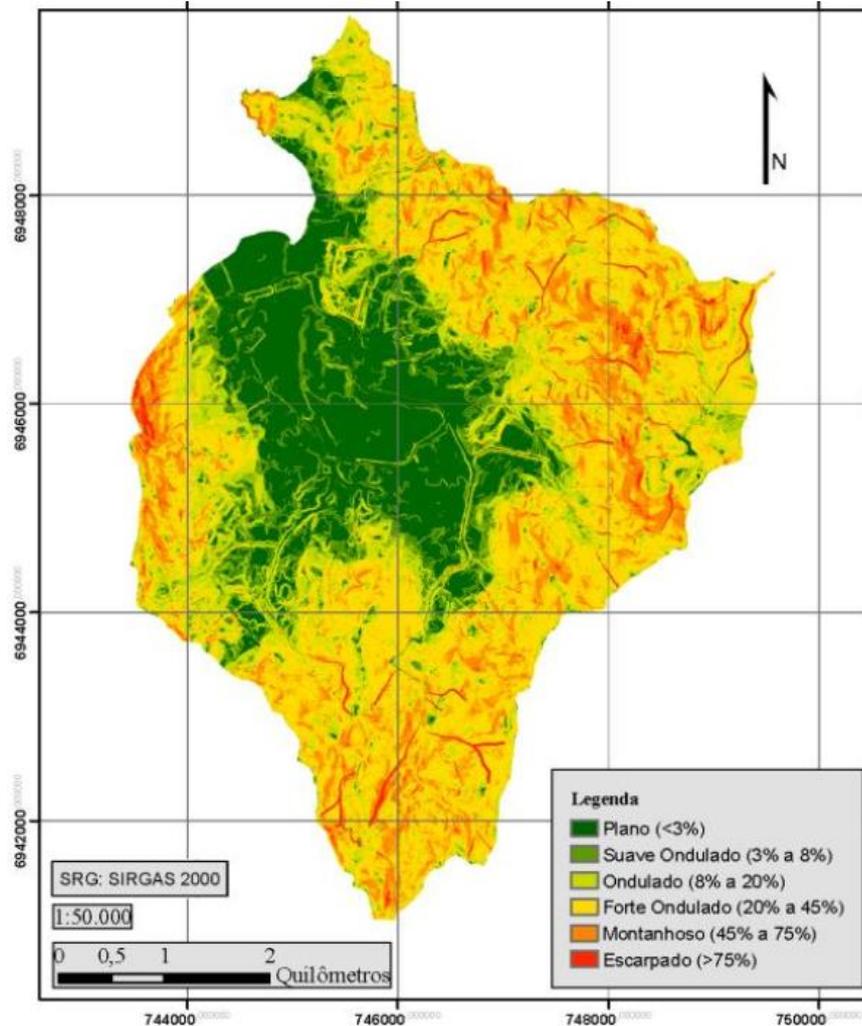
Quadro 8- Dados cartográficos obtidos para o desenvolvimento do trabalho

Mapa/Carta	Escala	Sistema de Referência	Sistema de Coordenada	Ano	Autor
Mapa planialtimétrico	1:10.000	SIRGAS2000	UTM	2010-2012	SDS- Secretaria de Desenvolvimento Econômico e Sustentável
Limite da Bacia	1:10.000	SIRGAS2000	UTM	2010-2012	EPAGRI-CIRAM
Mapa pedológico	1: 50.000	SIRGAS2000	UTM	1998	Prof Dr ^a Glaci Trevisan Santos
Mapa Geológico	1:2.000	SIRGAS2000	UTM	2013	Mapa Geológico da Ilha de Santa Catarina (ISC) (TOMAZZOLI e PELLERIN, 2014)
Mapa Geotécnico	1:50.000	SIRGAS2000	UTM	2017	Caraméz (2017)

Fonte: Autor, 2017.

O mapa geotécnico desenvolvido por Caraméz (2017) apresentado anteriormente na Figura 24, e o mapa de declividades do terreno é apresentados na Figura 25.

Figura 26- Declividade do terreno da Bacia do Rio Itacorubi



Fonte:Caraméz (2017)

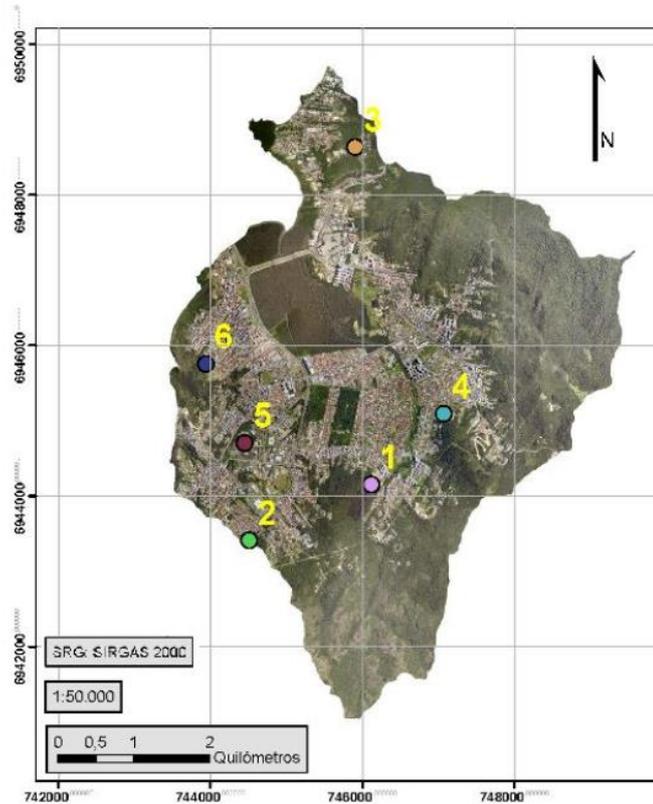
5.1.2 Caracterização dos solos

Os ensaios de campo foram realizados por Caraméz (2017) utilizando o equipamento BHST de propriedade do Laboratório de Mapeamento Geotécnico – LAMGEO/UFSC. Foram executados seis ensaios de cisalhamento de campo, distribuídos na área de estudo. Caraméz (2017) definiu a localização dos ensaios da seguinte forma:

A seleção dos locais onde foram realizados os ensaios de campo visou a melhor distribuição geográfica, abrangência de todas as unidades geotécnicas com solos residuais e terrenos em condições naturais, onde não houvesse intervenções antrópicas que pudessem tornar os resultados não representativos, como áreas aterradas ou edificadas Caraméz (2017).

A Figura 27 exhibe os pontos na Bacia Hidrográfica onde foram realizados os ensaios, os resultados se encontram na Tabela 1.

Figura 27 - Localização dos ensaios BHST – Bacia hidrográfica do Rio Itacorubi



Fonte: Caraméz (2017).

Tabela 1-Resultado dos ensaios BHST 1

	T.C (min)	Prof. (m)	Tensão Normal (kPa)	Tensão Cisalhante Máx. (kPa)	Âng. Atrito interno (°)	Int. Coesivo (kPa)
BHST 1						
Nat.	15	1,0	50	52	34	20
	5		78	76		
	5		115	96		
In.	15	1,2	50	42	31	12
	15		75	58		
	15		100	72		

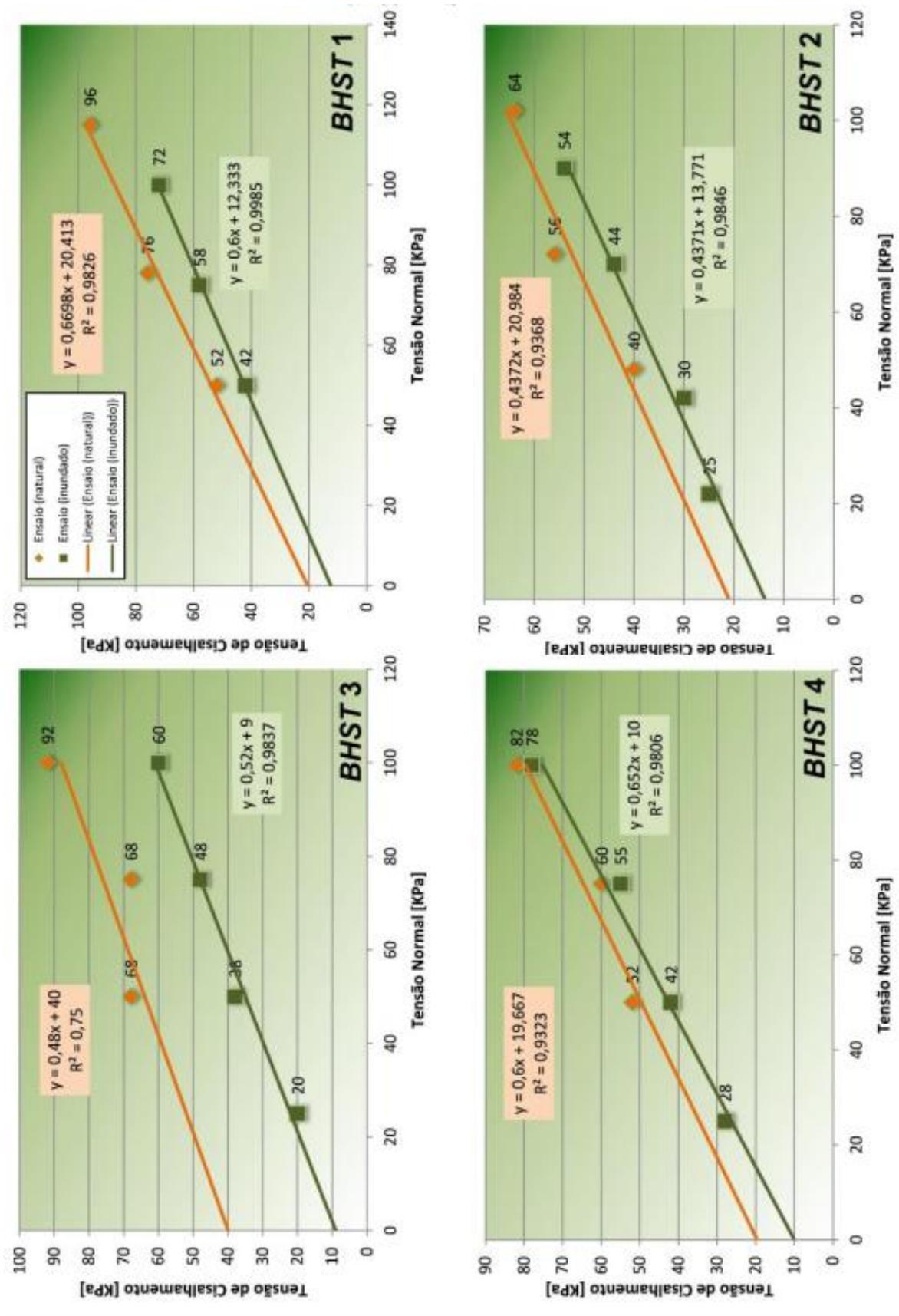
Fonte: Caraméz (2017)

Tabela 2- Resultado dos ensaios BHST (continuação)

T.C (min)	T.C (min)	Prof. (m)	Tensão Normal (Kpa)	Tensão Cisalhante Máx. (kPa)	Âng. Atrito interno (°)	Int. Coesivo (kPa)
BHST 2						
Nat.	15	0,4	48	40	24	21
	5		72	56		
	5		102	64		
In.	15	0,8	22	25	24	14
	5		42	30		
	5		70	44		
	5		90	54		
BHST 3						
Nat.	15	0,8	50	68	26	40
	15		75	68		
	15		100	92		
In.	15	1	25	20	27	9
	15		50	38		
	15		75	48		
	15		100	60		
BHST 4						
Nat.	15	1,0	50	52	31	20
	15		75	60		
	15		100	82		
In.	15	1,2	25	28	33	10
	15		50	42		
	15		75	55		
	15		100	78		

Fonte: Caraméz (2017)

Figura 28 - Envolvórias - Tensão Normal x Tensão Cisalhante - Ensaio BHST



Fonte: Caraméz (2017)

Com os resultados dos ensaios realizados por Caraméz (2017) chegou-se aos seguintes valores dos parâmetros dos solos no estado inundado e estado natural para as unidades geotécnicas presentes na Bacia Hidrográfica do Rio Itacorubi.

Tabela 3-Parâmetros do solo estado inundado

Unid Geot.	Peso específico natural “ γ_n ” (kN/m ³)	Peso específico Sat. “ γ_s ” (kN/m ³)	Ângulo atrito interno “ ϕ ” (°)	Intercepto coesivo “c” (kPa)
Cgi	20	21	27,6	8,5
Cgt	18	19	28,4	11,9
Pvgi	21	22	31	12,3
Rgi	17	18	24,1	8,6
Gsq	20	21	30	8

Fonte: Caraméz (2017) adaptado pelo Autor.

Tabela 4-Parâmetros do solo estado natural de umidade

Unid Geot.	Peso específico natural “ γ_n ” (kN/m ³)	Peso específico Sat. “ γ_s ” (kN/m ³)	Ângulo atrito interno “ ϕ ” (°)	Intercepto coesivo “c” (kPa)
Cgi	20	21	26,6	31,5
Cgt	18	19	27,3	20,3
Pvgi	21	21	33,8	20,4
Rgi	17	17	30,9	16,9
Gsq	20	21	35	29

Fonte: Caraméz (2017) adaptado pelo Autor.

A unidade “PVgi” apresentou os maiores valores de parâmetros de resistência ao cisalhamento. A unidade “Cgi – Cambissolo substrato granito ilha”, predomina na área de estudo como pode ser observado no Quadro 7, e se encontra nas áreas periféricas onde se encontram as maiores declividades. As unidades geotécnicas “PVgt” e “Rgt” não foram ensaiadas, e durante o mapeamento de suscetibilidade a deslizamentos circulares nesses locais se utilizou as mesmas regras que as unidades “PVgi” e “Rgi” respectivamente. Os dados das unidades “Gsq” e “SMSq” ambos solos sedimentares foram obtidos através de correlações paramétricas usando laudos de sondagens SPT (*Standard Penetration Test*), essas unidades geotécnicas se encontram localizadas em região plana e suave da Bacia Hidrográfica onde se encontra o manguezal do Rio Itacorubi. Durante a análise de estabilidade foram consideradas

como estáveis em toda sua porção. Devido a falta de dados, os valores de peso específico saturado foram estimados em 1,0 kPa acima dos valores de peso específico natural, para todas as unidade geotécnicas.

5.2 ANÁLISE E MAPEAMENTO DAS ÁREAS DE SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS CIRCULARES

5.2.1 Escolha do Software para a Análise de Estabilidade na Bacia do Rio Itacorubi

Antes de iniciar o mapeamento foi realizado um estudo comparativo sobre os *softwares* disponíveis para o cálculo dos fatores de segurança a partir da inserção dos parâmetros do solo (Coesão e ângulo de atrito), dos pesos específicos naturais e saturados e da determinação de um perfil qualquer.

Para essa análise foram escolhidos três *softwares* o Geo-slope da empresa Geostudio, Slide da empresa Roscoscience e o Macstars da Maccaferi, todos são *freeware*. Os programas possuem a interface muito semelhante e de fácil entendimento ao usuário.

Para a realização de um comparativo, o fator de segurança foi calculado com superfícies circulares de acordo com o método de Bishop, foram projetados dois perfis com inclinações de 35° e 15° com uma linha piezométrica cinco metros abaixo da superfície, os parâmetros do solo utilizado estão expostos na Tabela 3. Os valores obtidos das análises nos softwares estão apresentados na Tabela 5 e Tabela 6.

Tabela 5- Comparativo dos Fatores de segurança obtidos através dos softwares para a inclinação 15°

Unidades Geotécnicas	Macstars (F.S)	Geoslope (F.S)	Slide (F.S)
Cgi	1,9	1,9	1,9
Cgt	2,0	1,9	2,0
Gsq	2,0	2,1	2,0
Pvgi	2,2	2,3	2,3
Rgi	1,5	1,6	1,6

Fonte: Autor, 2017.

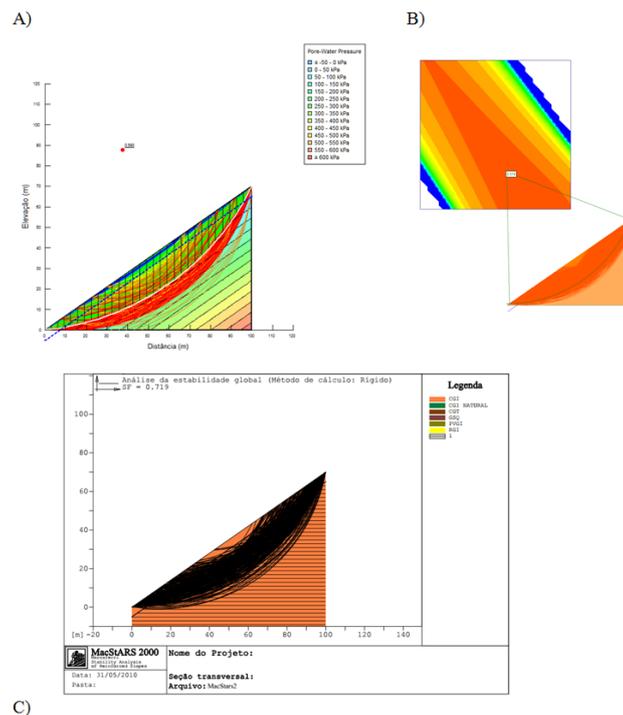
Tabela 6- Comparativo dos Fatores de segurança obtidos através dos softwares para a inclinação 35°

Unidades Geotécnicas	Macstars (F.S)	Geoslope (F.S)	Slide (F.S)
Cgi	0,7	0,6	0,6
Cgt	0,8	0,6	0,6
Gsq	0,8	0,6	0,6
Pvgi	0,8	0,7	0,7
Rgi	0,6	0,5	0,4

Fonte: Autor, 2017.

O *software* Macstars apresenta o maior valor de fator de segurança para o ângulo de 35° e os menores valores para 15°. Os resultados do Geoslope e o Slide foram valores relativamente próximos, apesar dos *softwares* apresentarem diferentes quantidades de fatias e iterações; Geoslope 30 fatias com 100 iterações e o software Slide utilizou para o cálculo 25 fatias com 50 iterações. O *software* Macstars não fornece nos seus relatórios de resultados o número de fatias utilizadas e o número de iterações do programa impossibilitando uma comparação com os outros *softwares*, nesse quesito.

Figura 29- Interface gráfica dos *softwares* testados. A) Geoslope B) Slide e C) Macstars



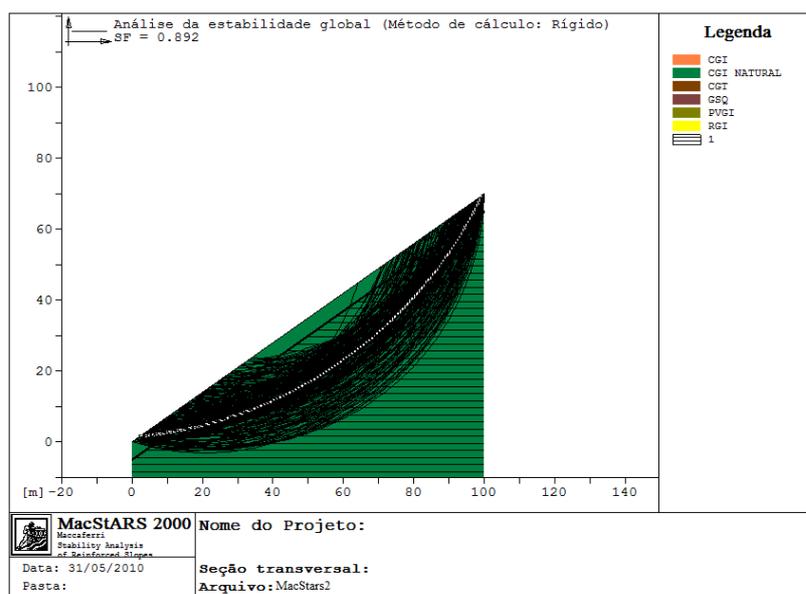
Fonte: Autor, 2017.

O *software* Macstars apesar de não apresentar as mesmas quantidades de informações e ferramentas que os outros dois programas, no meio acadêmico brasileiro possui maior aceitação com maior número de artigos e trabalhos publicados. Autores como Monteiro (2016), Fraga e Jung (2013), Chuquimuni (2005), Sinimbu (2016), Veronez (2014) apresentaram trabalhos com o programa apresentando resultados satisfatórios, mostrando que o Macstars é uma importante ferramenta de auxílio nas análises de estabilidade, sendo o escolhido para a realização desse trabalho.

5.2.2 Comparativo dos F.S utilizando parâmetros de resistência solo no estado natural de umidade e o estado inundado obtido através *BHST*

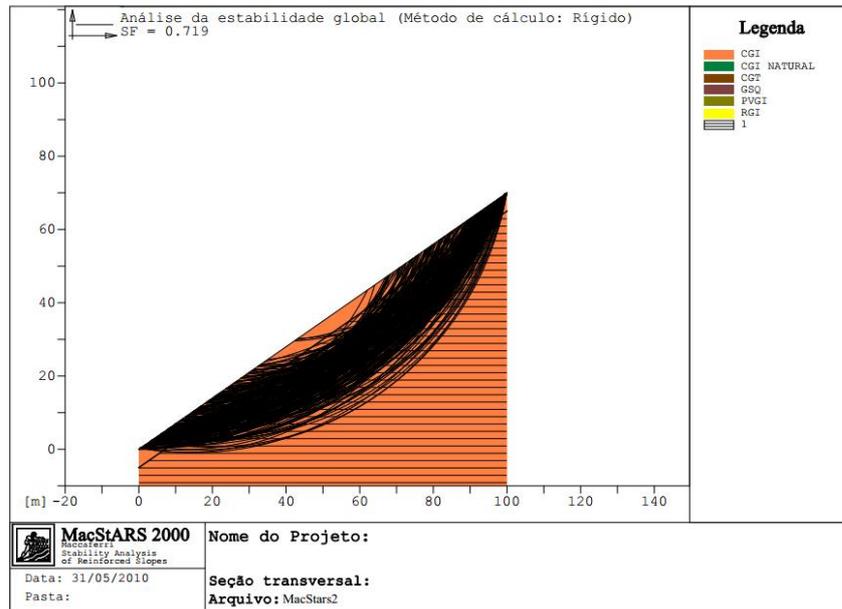
Com intuito de avaliar a influência da água nos parâmetros de resistência do solo foi realizada uma análise de estabilidade utilizando os parâmetros no estado inundado e no estado natural de umidade da unidade geotécnica “Cgi” pelo fato dela ser a mais representativa na bacia hidrográfica do Rio Itacorubi. Para essa análise foram criados no programa Macstars cinco perfis com as inclinações: 15°, 20°, 25°, 30° e 35°. A superfície piezométrica foi posicionada a 5 metros abaixo da superfície dos perfis, apresentados na Figura 29 e Figura 30.

Figura 30-Análise de estabilidade na unidade geotécnica “Cgi” utilizando os parâmetros de resistência do solo no estado natural de umidade.



Fonte: Autor, 2017.

Figura 31 - Análise de estabilidade na unidade geotécnica “Cgi” utilizando os parâmetros de resistência do solo no estado inundado.



Fonte: Autor, 2017.

A Tabela 7, expõe os resultados obtidos do comparativo realizado para a unidade geotécnica “Cgi” no estado natural de umidade e no estado inundado para os cinco perfis anteriormente citados.

Tabela 7- Comparativo entre os Fatores de segurança utilizando parâmetros de resistência do solo no estado de umidade natural e no estado inundado.

Ângulo	Natural (FS)	Inundado (FS)	Var. %
35°	0,9	0,7	19%
30°	1,0	0,9	17%
25°	1,3	1,0	18%
20°	1,6	1,4	15%
15°	2,2	1,9	16%

Fonte: Autor, 2017.

Os resultados das análises obtidas estão de acordo com a literatura fornecendo fatores de segurança no estado de umidade natural em média 17% maiores que no estado inundado. Devido a esse fato nesse trabalho foi utilizado para o mapeamento das áreas suscetíveis a deslizamentos circulares os parâmetros de resistência do solo no estado inundado com o objetivo de cobrir a situação mais crítica.

5.2.3 Análise da Estabilidade

Para cada unidade geotécnica da bacia hidrográfica foram criados cinco perfis com as inclinações: 15°, 20°, 25°, 30° e 35°. A superfície piezométrica foi posicionada a 5 metros abaixo da superfície dos perfis. Como dados de entrada foram utilizados os parâmetros de resistência do solo ao cisalhamento (coesão e ângulo de atrito) e os valores do peso específico natural e saturado da respectiva unidade geotécnica.

Os valores dos fatores de segurança obtidos para cada perfil foram plotados em gráficos (Inclinação do perfil x fator de segurança). Através dos gráficos se obteve as equações da melhor reta, o que possibilitou encontrar os valores das inclinações dos perfis correspondentes aos fatores de segurança apresentados pela norma NBR 11.682/1991 exposta no Quadro 1. Os ângulos obtidos para os fatores de segurança 1,5, 1,3 e 1,15 serviram como base para a classificação de áreas da Bacia Hidrográfica de acordo com seu nível de estabilidade no mapeamento.

O método de mapeamento de suscetibilidade a deslizamentos utilizando o fator de segurança foi aplicado em trabalhos com resultados satisfatórios. Sbroglia (2015) avaliou a microbacia do Ribeirão Baú; Ilhota/SC e comparou ao SHALSTAB obtendo resultados mais conservadores, porém convergentes, Monteiro (2016) aplicou o método na Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição, Florianópolis/SC; O LAMGEO – Laboratório de Mapeamento Geotécnico da Universidade Federal de Santa Catarina tem utilizado o mesmo método em projetos de mapeamento em municípios Catarinenses.

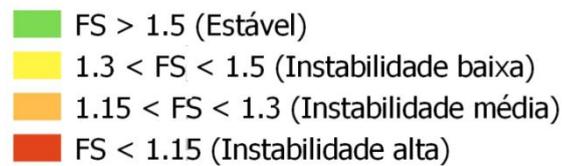
5.2.4 Mapeamento das Áreas de Suscetibilidade a Deslizamentos Circulares

Com os resultados obtidos na análise de estabilidade dos perfis se deu início ao mapeamento das áreas de suscetibilidade a deslizamentos circulares. O mapeamento foi realizado utilizando o *software* ArcGis que é uma plataforma SIG, ferramenta de trabalho para criação de mapas e banco de dados. Através do ArcGis foi realizada a junção do mapeamento geotécnico obtido em Caraméz (2017), com o mapa de declividades da área da bacia hidrográfica.

Metodologia utilizada para a obtenção dos mapas de suscetibilidade a deslizamentos circulares será descrita a seguir:

- Primeiramente foi realizado o cruzamento do mapa da unidade geotécnica “Cgi” com o mapa de declividades da bacia hidrográfica.
- A partir desse cruzamento foi realizada uma classificação das áreas da unidade geotécnica por faixas de inclinação determinadas pelos ângulos encontrados para os fatores de segurança 1,5 1,3 e 1,15 conforme a Figura 32.

Figura 32 - Classificação das áreas em relação aos fatores de segurança



Fonte: Autor, 2017.

- Esse processo foi repetido para as outras unidades geotécnicas e no final é apresentado um mapa de estabilidade em relação a deslizamentos circulares de toda a Bacia Hidrográfica do Rio Itacorubi.
- Ao final desse processo foi realizado um comparativo entre a mancha urbana e as áreas suscetíveis a deslizamentos na Bacia Hidrográfica

6 RESULTADOS E ANÁLISES

A seguir serão apresentados os resultados das análises feitas com os parâmetros de resistência do solo de cada unidade geotécnica da bacia hidrográfica do Rio Itacorubi nos cinco perfis criados.

6.1 UNIDADE GEOTÉCNICA “Cgi”

Para a unidade geotécnica “Cgi- Cambissolo de substrato granito ilha” estão apresentados na Tabela 8 os valores dos fatores de segurança obtidos na análise de estabilidade para os cinco perfis. Os dados foram plotados no gráfico (Inclinação x Fator de segurança) e calculada a equação da linha de tendência do tipo logarítmica com isso encontrar os valores de inclinação para os fatores de segurança 1,15, 1,30 e 1,50. Os resultados dessa análise estão ilustrados na Figura 33, e na Tabela 9 com os ângulos relativos aos fatores de segurança anteriormente citados.

Tabela 8- Fator de segurança x Variação da inclinação do Perfil – “Cgi”

Ângulo	F.S
35	0,72
30	0,871
25	1,068
20	1,390
15	1,871

Fonte: Autor, 2017.

Figura 33- Gráfico Inclinação x Fator de Segurança - Cgi

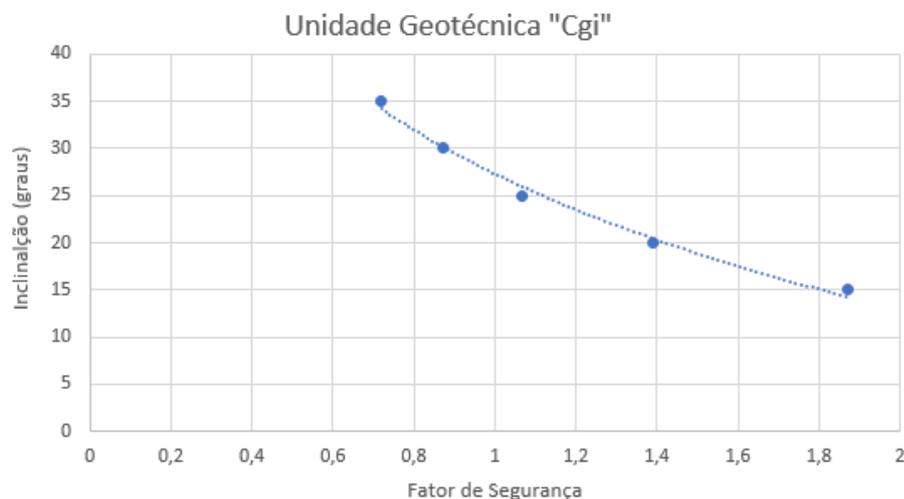


Tabela 9- Declividade críticas – “Cgi”

Declividade críticas por unidade geotécnica	
Fator de segurança NBR 11682/91	Cgi Declividade
1,15	24,37°
1,3	21,83°
1,5	18,86°

Fonte: Autor, 2017.

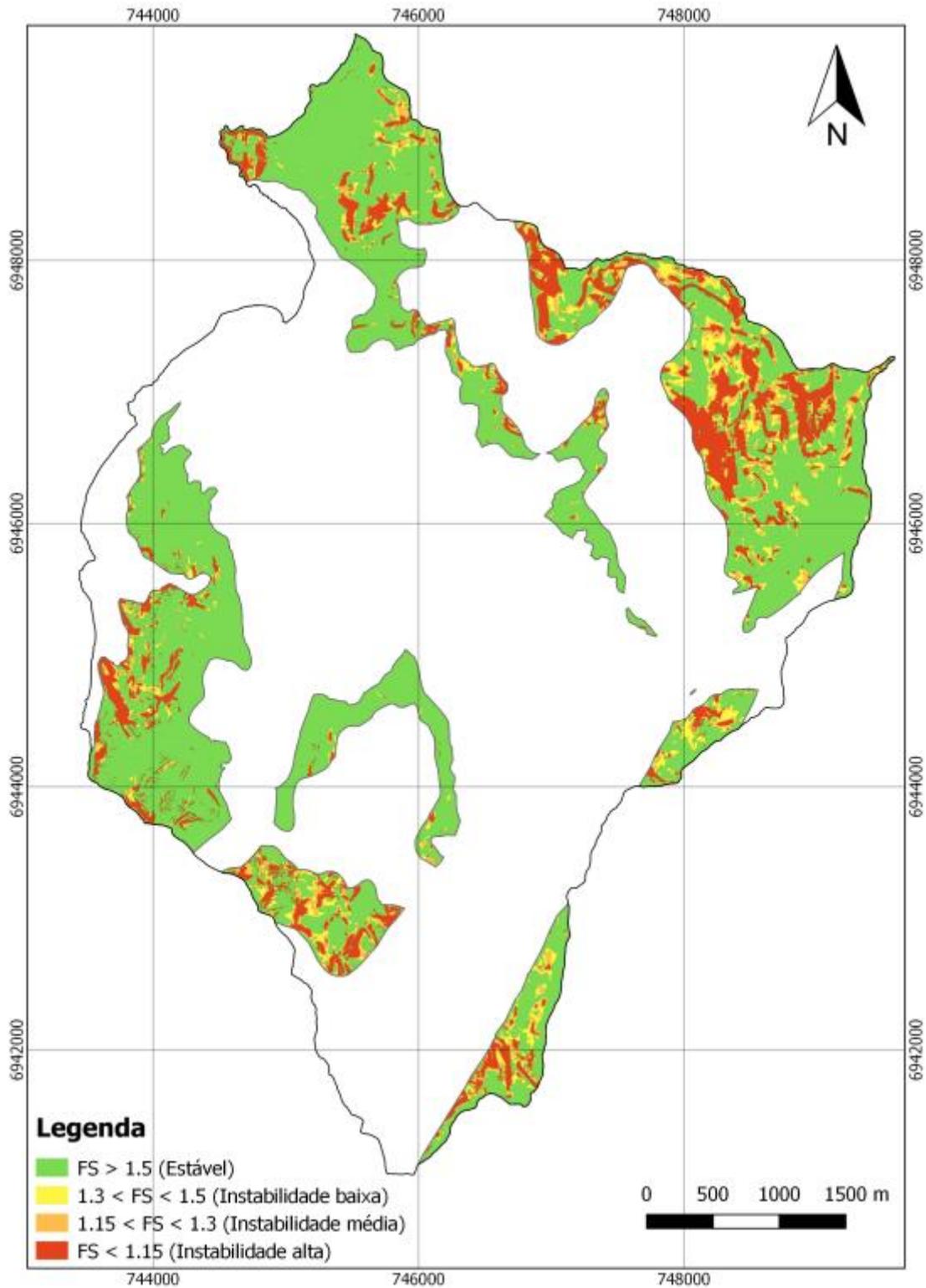
A Figura 34, apresenta o mapeamento das áreas de suscetibilidade a deslizamento da unidade “Cgi”. As áreas que apresentam o maior fator de risco correspondem as de inclinação maior que 24,37° classificadas como de alta instabilidade, já os locais que possuem declividade de 21,83° até 24,37° estão classificados com áreas de médio risco. As zonas de baixo risco possuem inclinações de 18,86° até 21,83° e os locais com até 18,86° de declividade são considerados estáveis. As classes de estabilidade e sua representatividade frente a área da bacia hidrográfica são apresentadas na Tabela 10.

Tabela 10- Classificação das áreas da unidade geotécnica “Cgi” em relação as classes de estabilidade

Cgi	Classes de Estabilidade	Área (Km²)	%	% em Relação à área total da bacia hidrográfica
Estável	1	6,44	68,51%	22,69%
Instabilidade Baixa	2	1,08	11,55%	3,83%
Instabilidade Média	3	0,57	6,06%	2,01%
Instabilidade Alta	4	1,30	13,88%	4,60%
Total		9,39	100,00%	33,11%

Fonte: Autor, 2017.

Figura 34- Mapeamento das áreas de suscetibilidade a deslizamentos circulares da unidade "Cgi"



Fonte: Autor ,2017.

6.2 UNIDADE GEOTÉCNICA “Cgt”

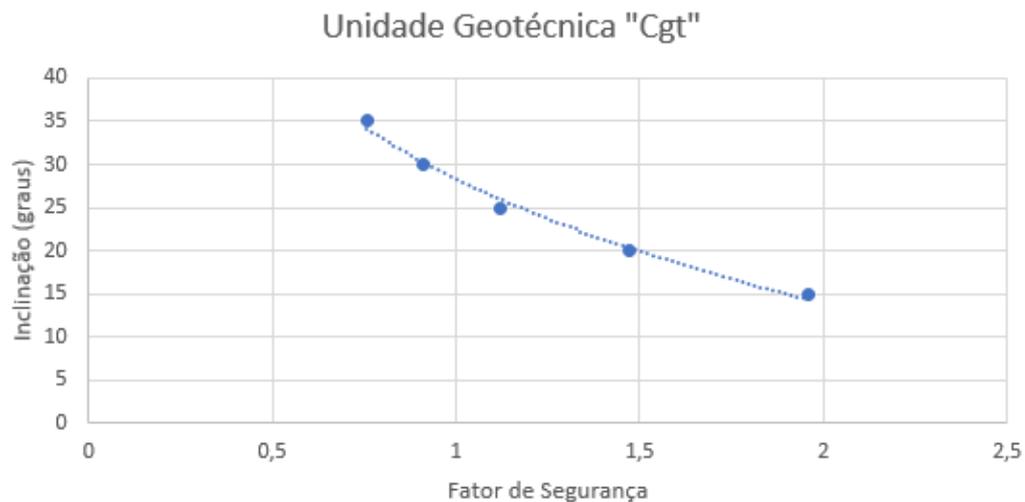
Para a unidade geotécnica “Cgt-Cambissolo substrato granito Itacorubi” a Tabela 11 exibe os valores dos fatores de segurança obtido na análise de estabilidade para os cinco perfis. A partir desses dados foi plotado o gráfico ilustrado na Figura 36, e a Tabela 12 com os valores dos ângulos críticos para os fatores de segurança em questão.

Tabela 11-Fator de segurança x Variação da inclinação do Perfil –“Cgt”

Ângulo	F.S
35	0,758
30	0,911
25	1,12
20	1,47
15	1,96

Fonte: Autor, 2017

Figura 35- Gráfico Declividade x Fator de Segurança - "Cgt"



Fonte: Autor, 2017

Tabela 12-Declividade crítica unidade geotécnica - "Cgt"

Declividade críticas por unidade geotécnica	
Fator de segurança NBR 11682/91	Cgt Declividade
1,15	25,42°
1,3	22,87°
1,5	19,89°

Fonte: Autor, 2017.

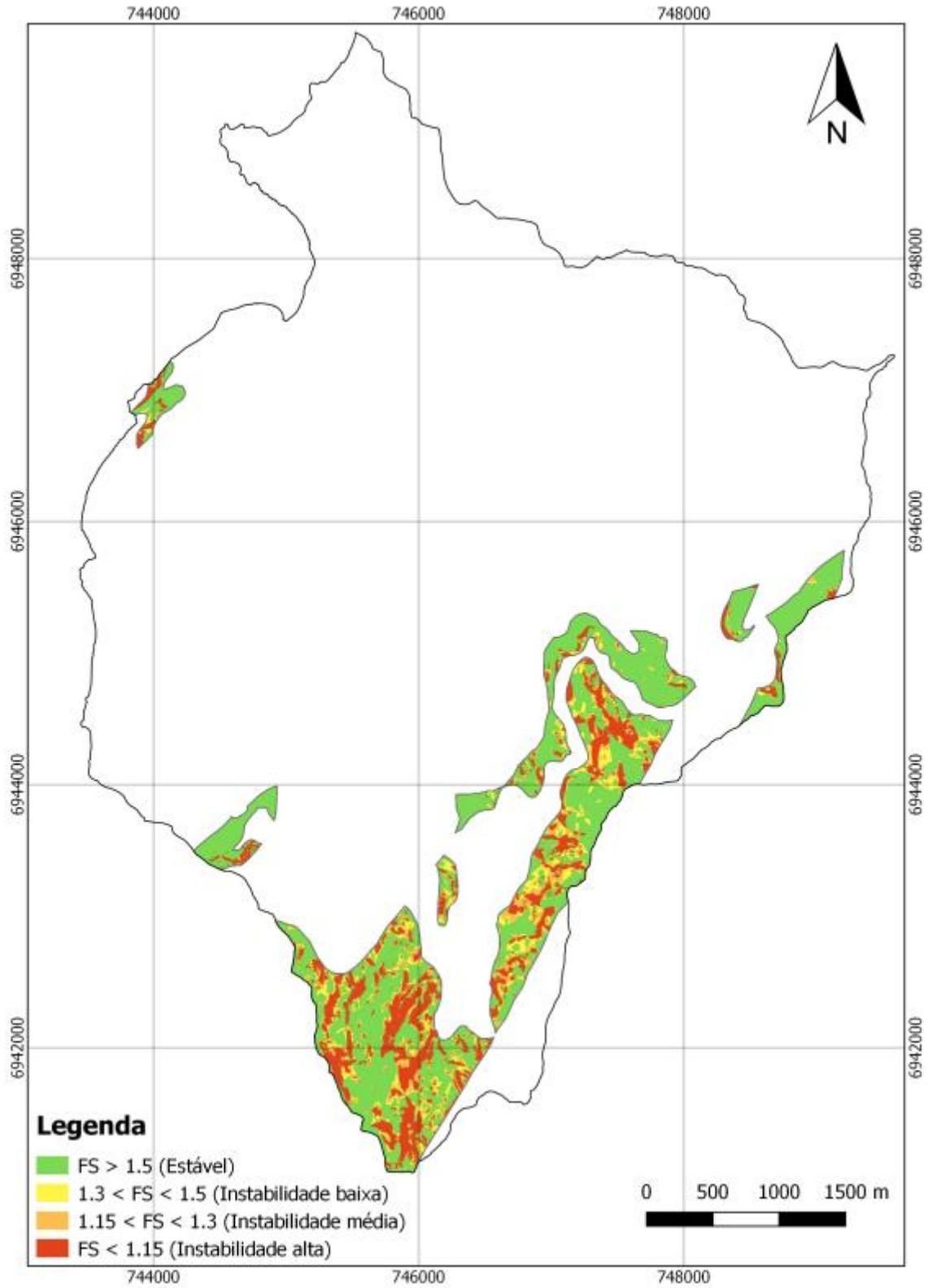
A Figura 36, apresenta o resultado do mapeamento das áreas de suscetibilidade a deslizamento da unidade “Cgt”. As áreas que apresentam o maior fator de risco correspondem às de inclinação maior que $25,42^\circ$, os locais que possuem declividade de $22,87^\circ$ até $25,42^\circ$ estão classificados com áreas de médio risco. As zonas de baixo risco possuem inclinações de $19,89^\circ$ até $22,87^\circ$ e os locais com até $19,89^\circ$ de declividade são considerados estáveis. As classes de estabilidade e sua representatividade frente à área da bacia hidrográfica são apresentadas na Tabela 10.

Tabela 13- Classificação das áreas da unidade geotécnica “Cgt” em relação as classes de estabilidade

Cgt	Classes de Estabilidade	Área (Km²)	%	% em Relação a área total da bacia hidrográfica
Estável	1	2,05	55,56%	7,21%
Instabilidade Baixa	2	0,61	16,57%	2,15%
Instabilidade Média	3	0,34	9,25%	1,20%
Instabilidade Alta	4	0,68	18,62%	2,42%
Total		3,68	100,00%	12,97%

Fonte: Autor, 2017

Figura 36- Mapeamento das áreas de suscetibilidade a deslizamentos circulares da unidade "Cgt"



Fonte: Autor, 2017

6.3 UNIDADE GEOTÉCNICA – “PVgi”

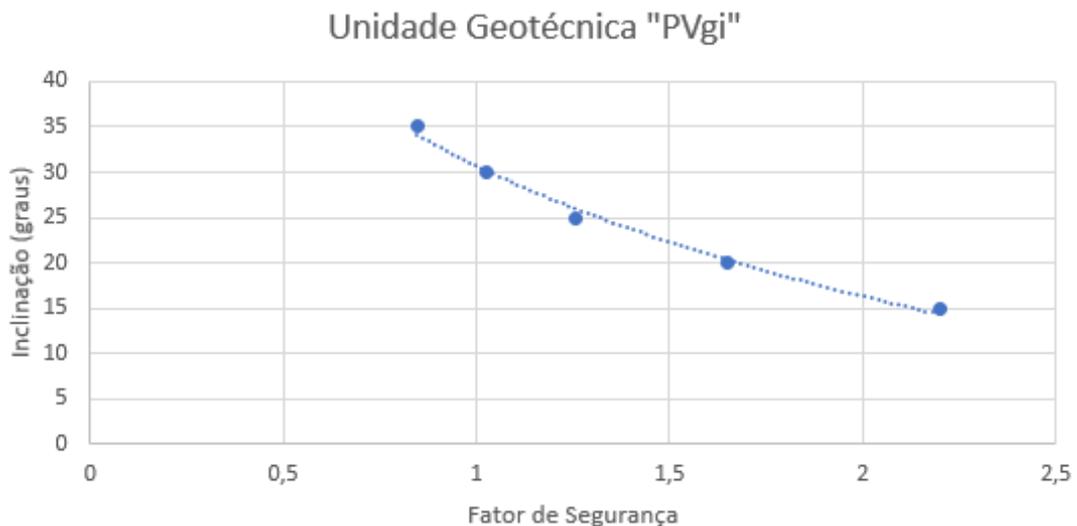
Para a unidade geotécnica “PVgi – Podzólico Vermelho-Amarelo substrato granito ilha” a Figura 37 ilustra o gráfico obtido com os dados da Tabela 14 resultantes das análises de estabilidade para os cinco perfis propostos.

Tabela 14-Fator de segurança x Variação da inclinação do Perfil –“PVgi”

Ângulo	F.S
35	0,846
30	1,024
25	1,258
20	1,65
15	2,2

Fonte: Autor, 2017.

Figura 37- Declividade x Fator de Segurança - "PVgi"



Fonte: Autor, 2017

Tabela 15-Declividade crítica unidade geotécnica - "PVgi"

Declividade críticas por unidade geotécnica	
Fator de segurança NBR 11682/91	PVgi Declividade
1,15	27,80°
1,3	25,26
1,5	22,29

Fonte: Autor, 2017

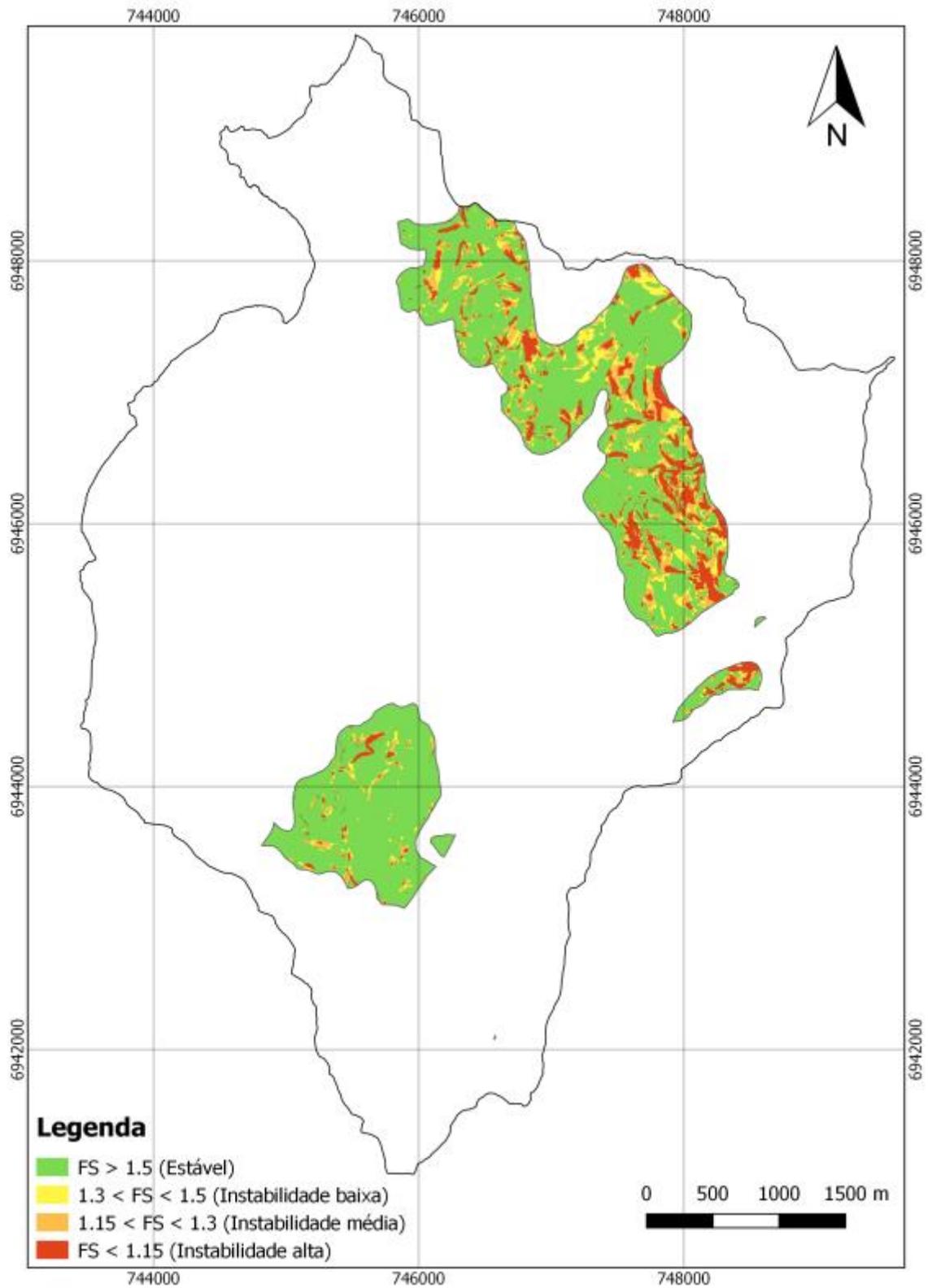
A Figura 38, apresenta o mapeamento das áreas de suscetibilidade a deslizamento da unidade “PVgi”. As áreas que apresentam o maior fator de risco correspondem as de inclinação maior que $27,80^\circ$, já os locais que possuem declividade de $25,26^\circ$ até $27,80^\circ$ estão classificados com áreas de médio risco. As zonas de baixo risco possuem inclinações de $22,29^\circ$ até $25,26^\circ$ e os locais com até $22,29^\circ$ de declividade são considerados estáveis. A Tabela 16 exhibe a distribuição das áreas de acordo com as classes de estabilidade na Bacia Hidrográfica.

Tabela 16- Classificação das áreas da unidade geotécnica “PVgi” em relação as classes de estabilidade

PVgi	Classes de Estabilidade	Área (Km²)	%	% em Relação a área total da bacia hidrográfica
Estável	1	3,21	69,00%	11,30%
Instabilidade Baixa	2	0,59	12,84%	2,10%
Instabilidade Média	3	0,41	8,80%	1,44%
Instabilidade Alta	4	0,43	9,35%	1,53%
Total		4,65	100,00%	16,38%

Fonte: Autor, 2017.

Figura 38- Mapeamento das áreas de suscetibilidade a deslizamentos circulares da unidade "Pvgi"



Fonte: Autor, 2017

6.4 UNIDADE GEOTÉCNICA - "Rgi"

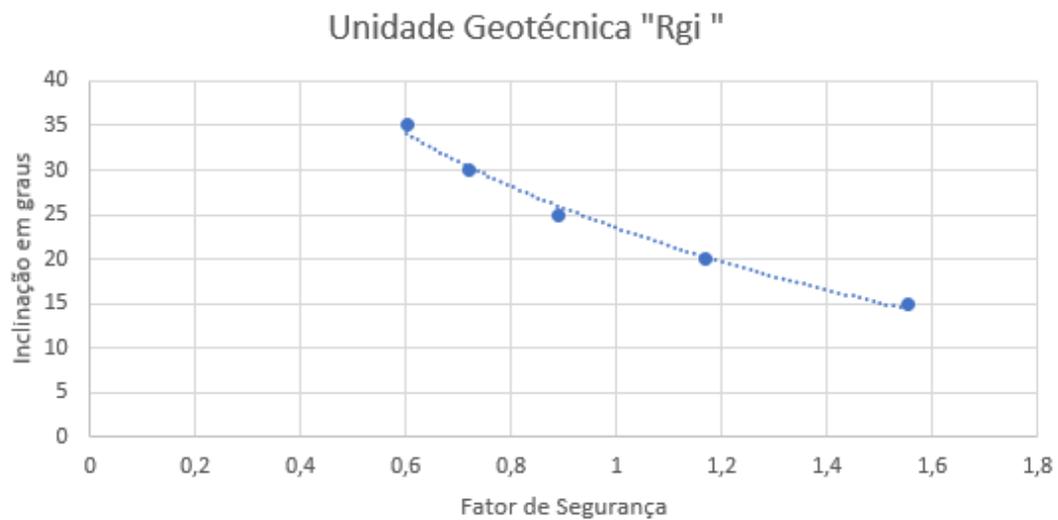
Para a unidade geotécnica "Rgi – Solos litólicos substrato granito ilha" estão apresentados os resultados nas Tabela 17, Tabela 18 e o gráfico ilustrado na Figura 39.

Tabela 17-Fator de segurança x Variação da inclinação do Perfil –"Rgi"

Ângulo	FS
35	0,601
30	0,721
25	0,889
20	1,168
15	1,554

Fonte: Autor, 2017.

Figura 39- Gráfico Declividade x Fator de Segurança - "Rgi"



Fonte: Autor, 2017.

Tabela 18- Declividade crítica unidade geotécnica - "Rgi"

Declividade críticas por unidade geotécnica	
Fator de segurança NBR 11682/91	Rgi Declividade
1,15	20,6°
1,3	18,05°
1,5	15,08°

Fonte: Autor, 2017.

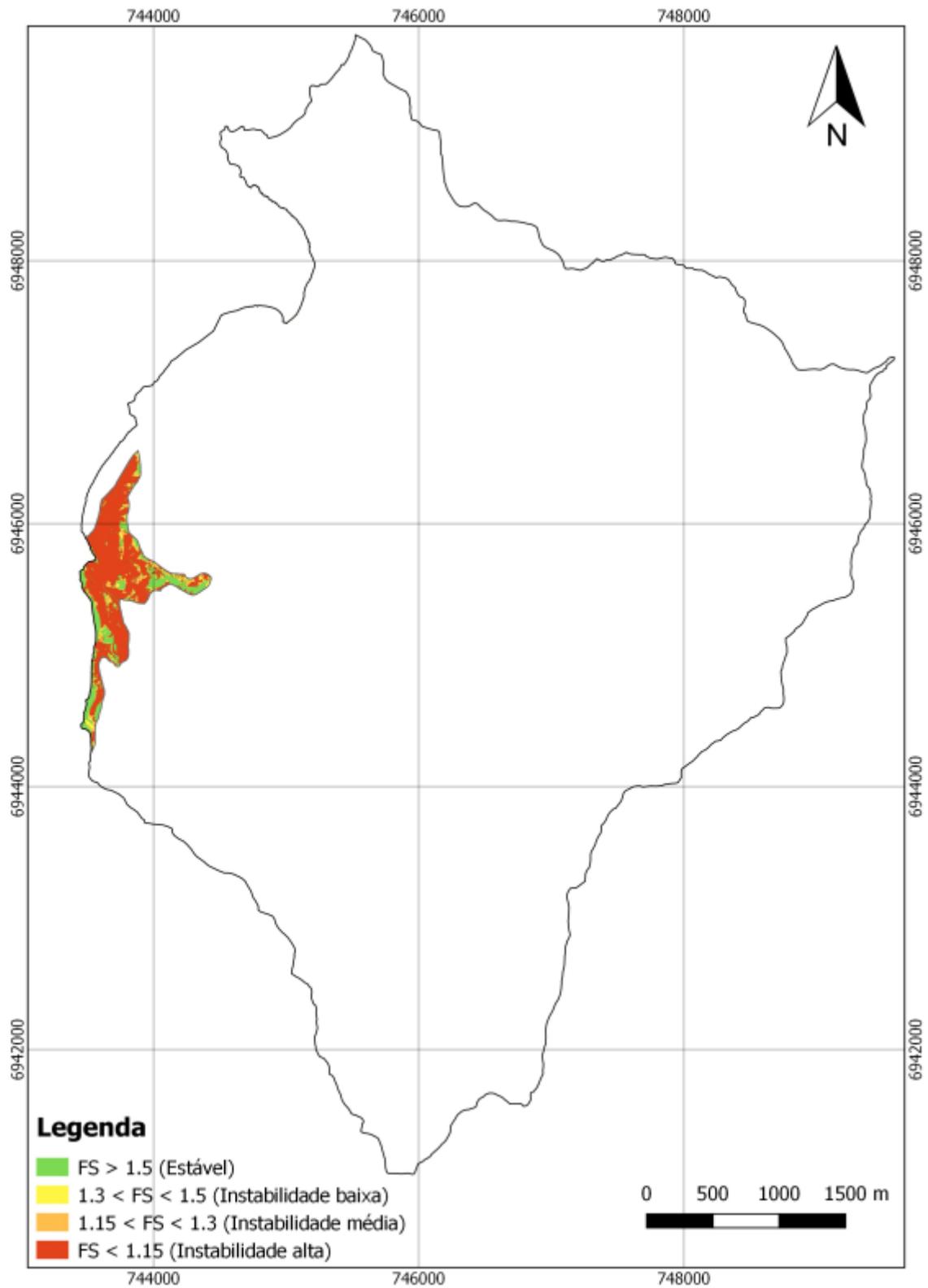
A Figura 40, apresenta o mapeamento das áreas de suscetibilidade a deslizamento da unidade “Rgi”. As áreas que apresentam o maior fator de risco correspondem as de inclinação maior que 20,60°, já os locais que possuem declividade de 18,05° até 20,60° estão classificados com áreas de médio risco. As zonas de baixo risco possuem inclinações de 15,08° até 18,05° e os locais com até 15,08° de declividade são considerados estáveis. As classes de estabilidade e suas áreas são apresentadas na Tabela 19.

Tabela 19 - Classificação das áreas da unidade geotécnica “Rgi” em relação as classes de estabilidade

Rgi	Classes de Estabilidade	Área (Km²)	%	% em Relação a área total da bacia hidrográfica
Estável	1	0,08	15,92%	0,31%
Instabilidade Baixa	2	0,04	8,10%	0,16%
Instabilidade Média	3	0,06	11,40%	0,23%
Instabilidade Alta	4	0,36	64,58%	1,28%
Total		0,56	100,00%	1,98%

Fonte: Autor, 2017.

Figura 40- Mapeamento das áreas de suscetibilidade a deslizamentos circulares da unidade "Rgi"



Fonte: Autor, 2017.

6.5 UNIDADE GEOTÉCNICA- "Gsq"

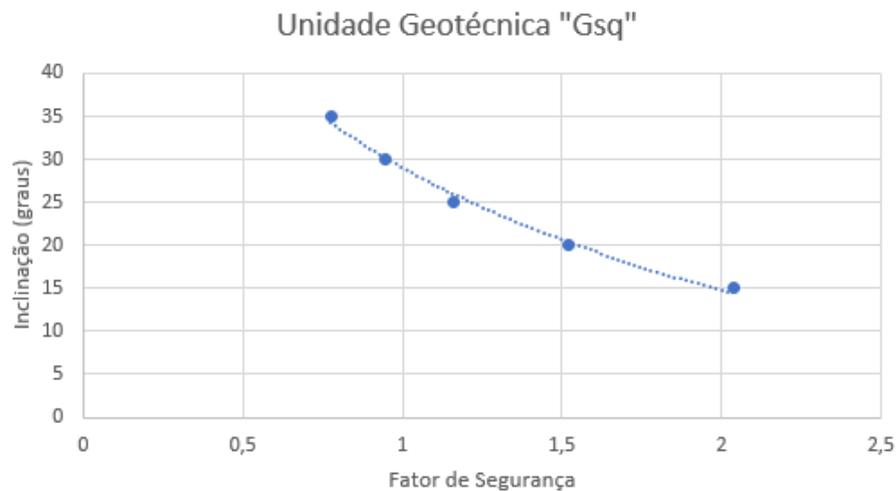
A unidade geotécnica "Gsq – Gleis substrato sedimento quaternários" a única unidade analisada da Bacia Hidrográfica com solos de origem sedimentar. Como já citado anteriormente os parâmetros de resistência ao cisalhamento dessa unidade foram obtidos através de correlações paramétricas utilizando laudos SPT. A Tabela 20 e Figura 41 exibem os resultados obtidos para os cinco perfis.

Tabela 20-Fator de segurança x Variação da inclinação do Perfil –"Gsq"

Ângulo	FS
35	0,775
30	0,948
25	1,163
20	1,521
15	2,038

Fonte: Autor, 2017.

Figura 41- Gráfico Declividade x Fator de Segurança - "Gsq"



Fonte: Autor, 2017.

Figura 42- Declividade crítica unidade geotécnica - "Gsq"

Declividade críticas por unidade geotécnica	
Fator de segurança NBR 11682/91	Gsq Declividade
1,15	26,13°
1,3	23,6°
1,5	20,65°

Fonte: Autor, 2017.

A Figura 43, apresenta o resultado do mapeamento das áreas de suscetibilidade a deslizamento da unidade “Gsq”. As áreas que apresentam o maior fator de risco correspondem as de inclinação maior que $26,13^\circ$, já os locais que possuem declividade de $23,6^\circ$ até $26,13^\circ$ estão classificados com áreas de médio risco. As zonas de baixo risco possuem inclinações de $20,65^\circ$ até $23,6^\circ$ e os locais com até $20,65^\circ$ de declividade são considerados estáveis. As classes de estabilidade e sua representatividade frente à área da bacia hidrográfica são apresentadas na Tabela 21.

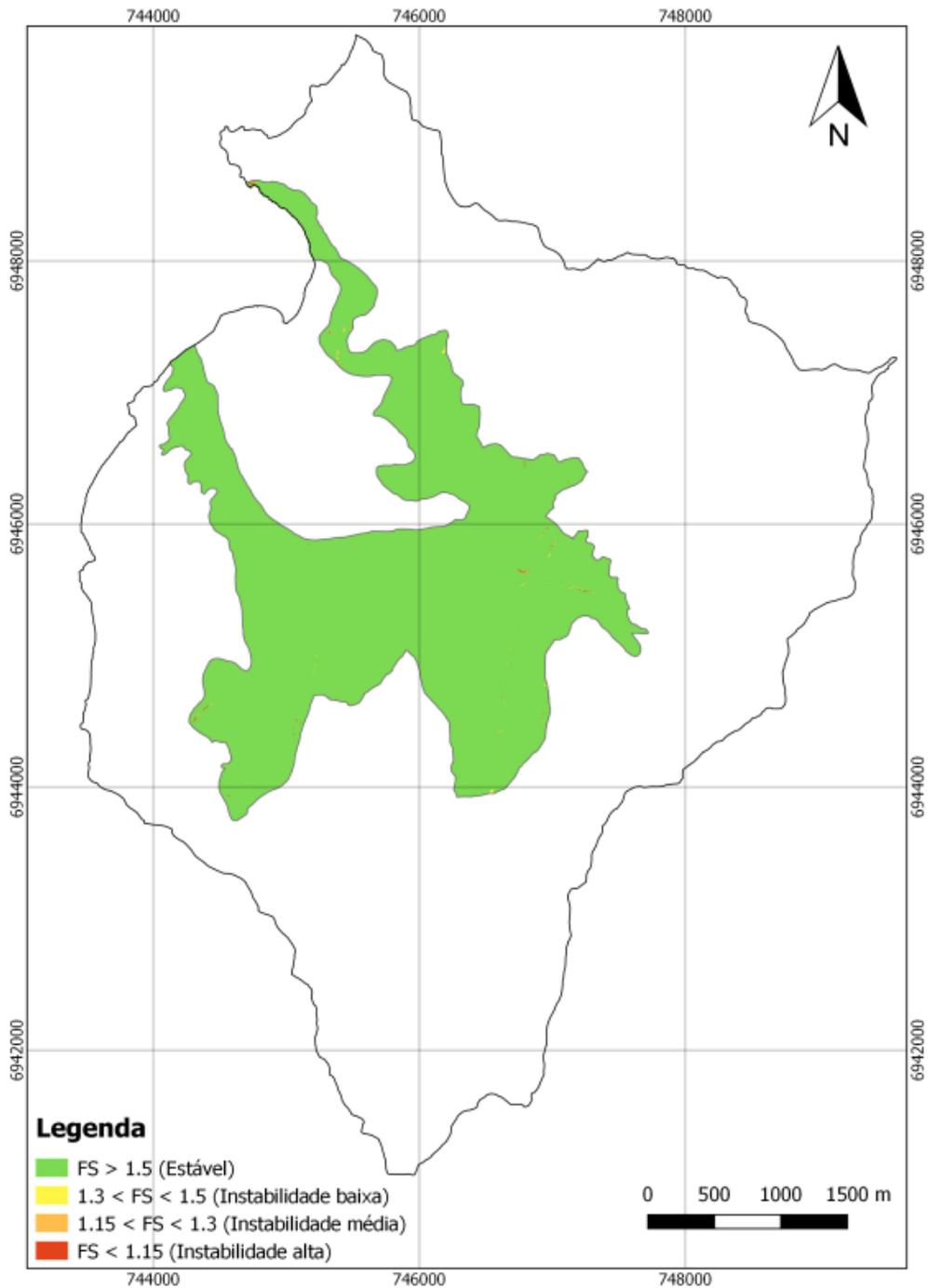
Tabela 21- Classificação das áreas da unidade geotécnica “Gsq” em relação às classes de estabilidade

Gsq	Classes de Estabilidade	Área (Km ²)	%	% em Relação à área total da bacia hidrográfica
Estável	1	6,23	99,71%	21,95%
Instabilidade Baixa	2	0,01	0,18%	0,04%
Instabilidade Média	3	0,003	0,05%	0,01%
Instabilidade Alta	4	0,004	0,06%	0,01%
Total		6,25	100,00%	22,02%

Fonte: Autor, 2017.

Como pode ser visualizado na Figura 43 a unidade geotécnica “Gsq” apresenta pontos localizados de alta instabilidade, a ocorrência desses pontos é atribuída a atividade antrópica responsável pela realização de cortes e aterros.

Figura 43- Mapeamento das áreas de suscetibilidade a deslizamentos circulares da unidade geotécnica "Gsq"



Fonte: Autor, 2017

6.6 ANÁLISE GERAL

Na composição do mapeamento das áreas de suscetibilidade a deslizamentos circulares de toda a bacia hidrográfica do Rio Itacorubi, foi feito a junção dos mapas de cada unidade geotécnica estudada com o mapeamento correspondente aos outros tipos de solos presentes. A unidade geotécnicas “PVgt” devido a falta de dados foram utilizados os mesmo parâmetros de resistência ao cisalhamento que a unidade “PVgi”, o mesmo ocorreu para a unidade “Rgt” onde foram utilizados os parâmetros da unidade “Rgi”, a unidade geotécnica “SMsq” se localiza na região do manguezal do Rio Itacorubi, região plana composta por solo sedimentar e foi considerada no mapeamento como estável em toda sua área.

As áreas de classes instáveis concordam com os relevos do tipo “Forte ondulado”, “Montanhoso” e “Escarpado” coincidindo com as unidades “Cgi”, “Cgt”, “Pvgi”, “PVgt”, “Rgi” e “Rgt”, ou seja todas aquelas compostas por solos residuais, a Tabela 22 apresenta a declividade do terreno para as classificações utilizadas para descrever as regiões da Bacia Hidrográfica.

Tabela 22- Classificação do relevo em relação à declividade do terreno

Declividade (%)	Relevo
0 - 3	Plano
3 - 8	Suave-ondulado
8 - 20	Ondulado
20 - 45	Forte-ondulado
45 - 75	Montanhoso
>75	Forte-montanhoso

Fonte: EMBRAPA, 1990.

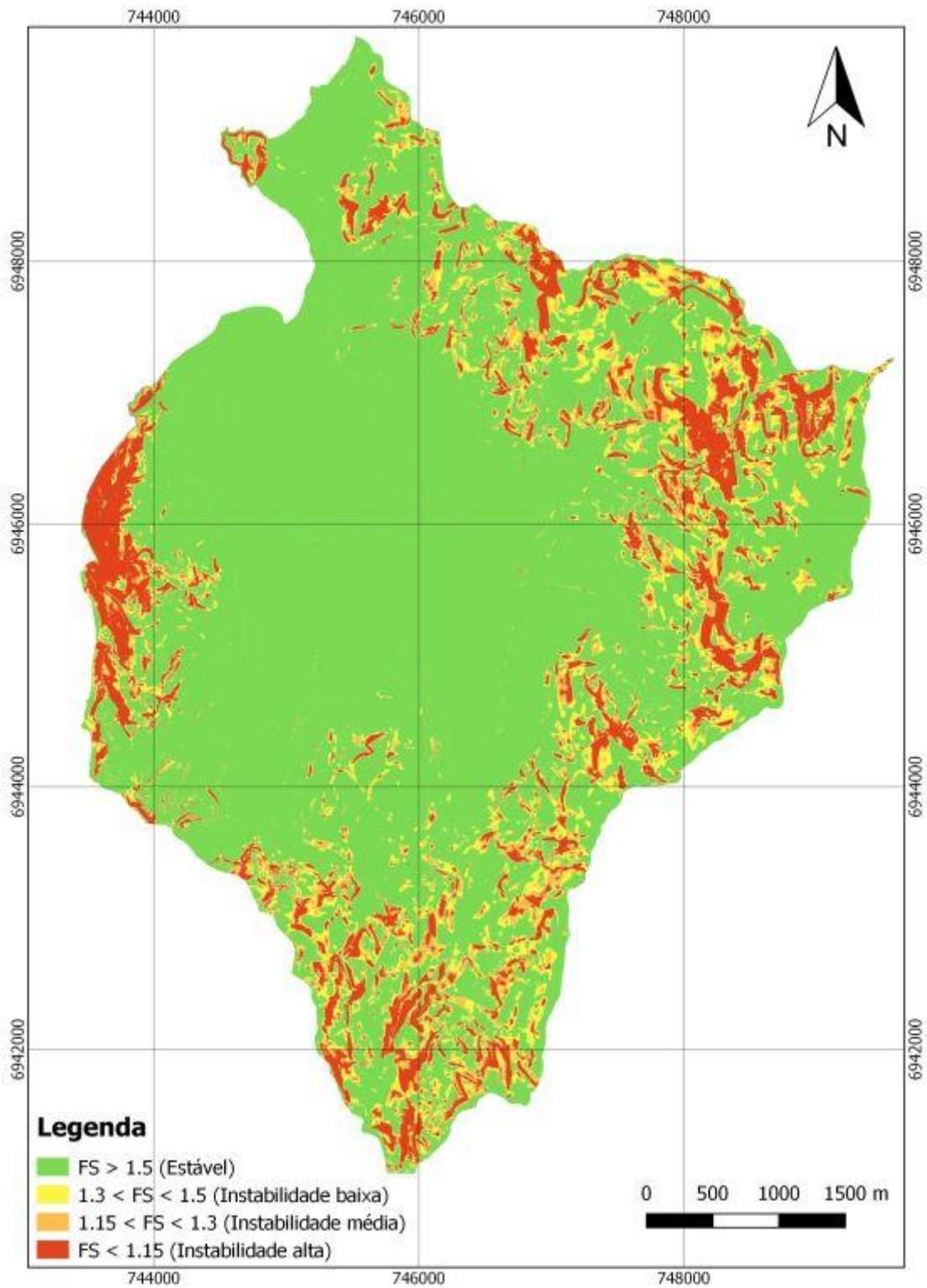
A Figura 44 ilustra o mapeamento da Bacia Hidrográfica do Rio Itacorubi que possui 21,12 Km² do seu território em áreas estáveis, 2,78 Km² do seu território em áreas de baixa instabilidade, 1,64 Km² em áreas de média instabilidade e 1,78 Km² em áreas de alta instabilidade. A unidade “Cgi” é a maior unidade geotécnica da bacia hidrográfica possui 69% de seu território em locais estáveis, a mesma é responsável por 82,43% das áreas de alta instabilidade da bacia hidrográfica. As unidades “Rgi” e “Rgt” que se localizam no maciço do morro da cruz apresentam 65% de seu território em locais de alta instabilidade, porém essas duas regiões juntas representam apenas 2% do território da bacia hidrográfica. A Tabela 23 apresenta um resumo das áreas para as classes de estabilidade.

Tabela 23- Resumo das áreas das classes de estabilidade

Classes de Estabilidade	Área (Km²)	% em Relação à área total da bacia hidrográfica
Alta instabilidade	1,78	6,52%
Média Instabilidade	1,64	6,00%
Baixa Instabilidade	2,78	10,18%
Estável	21,12	77,31%
Total	27,32	100%

Fonte: Autor, 2017.

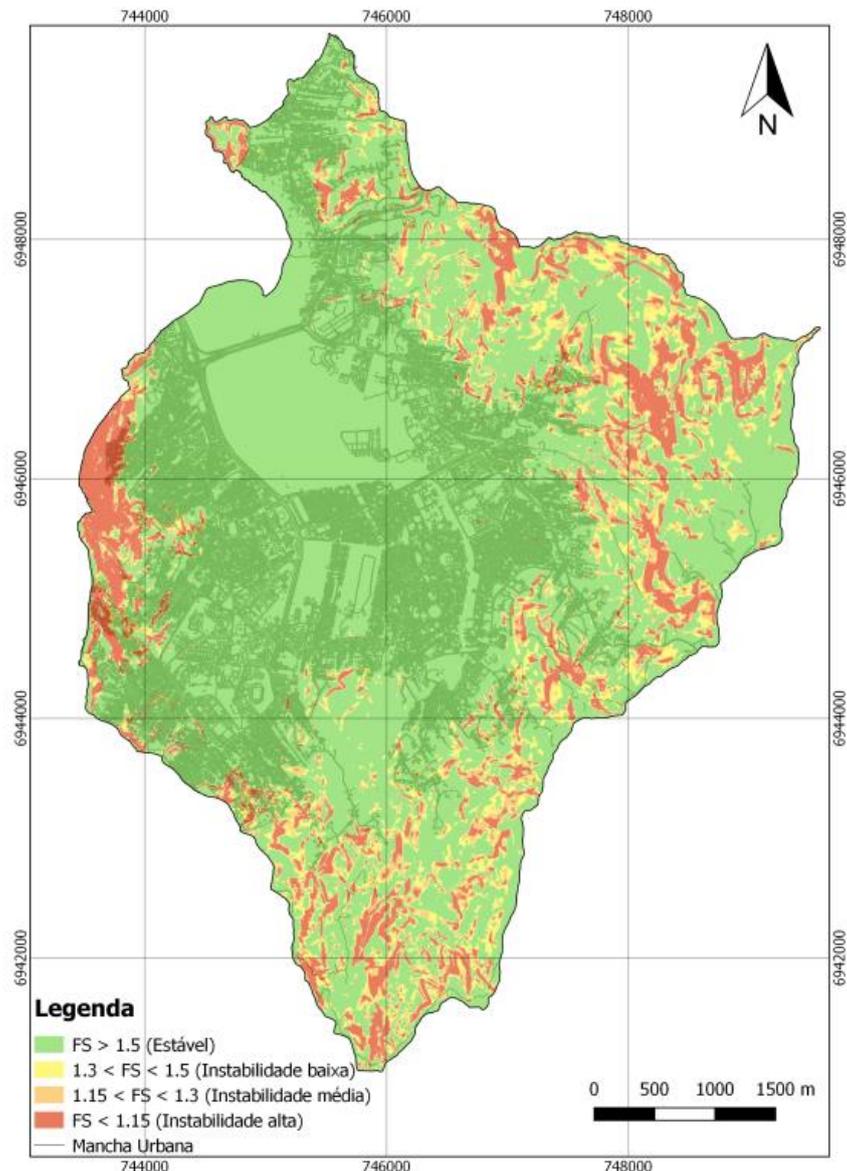
Figura 44- Mapeamento das áreas de suscetibilidade a deslizamento na Bacia Hidrográfica do Rio Itacorubi



Fonte: Autor, 2017.

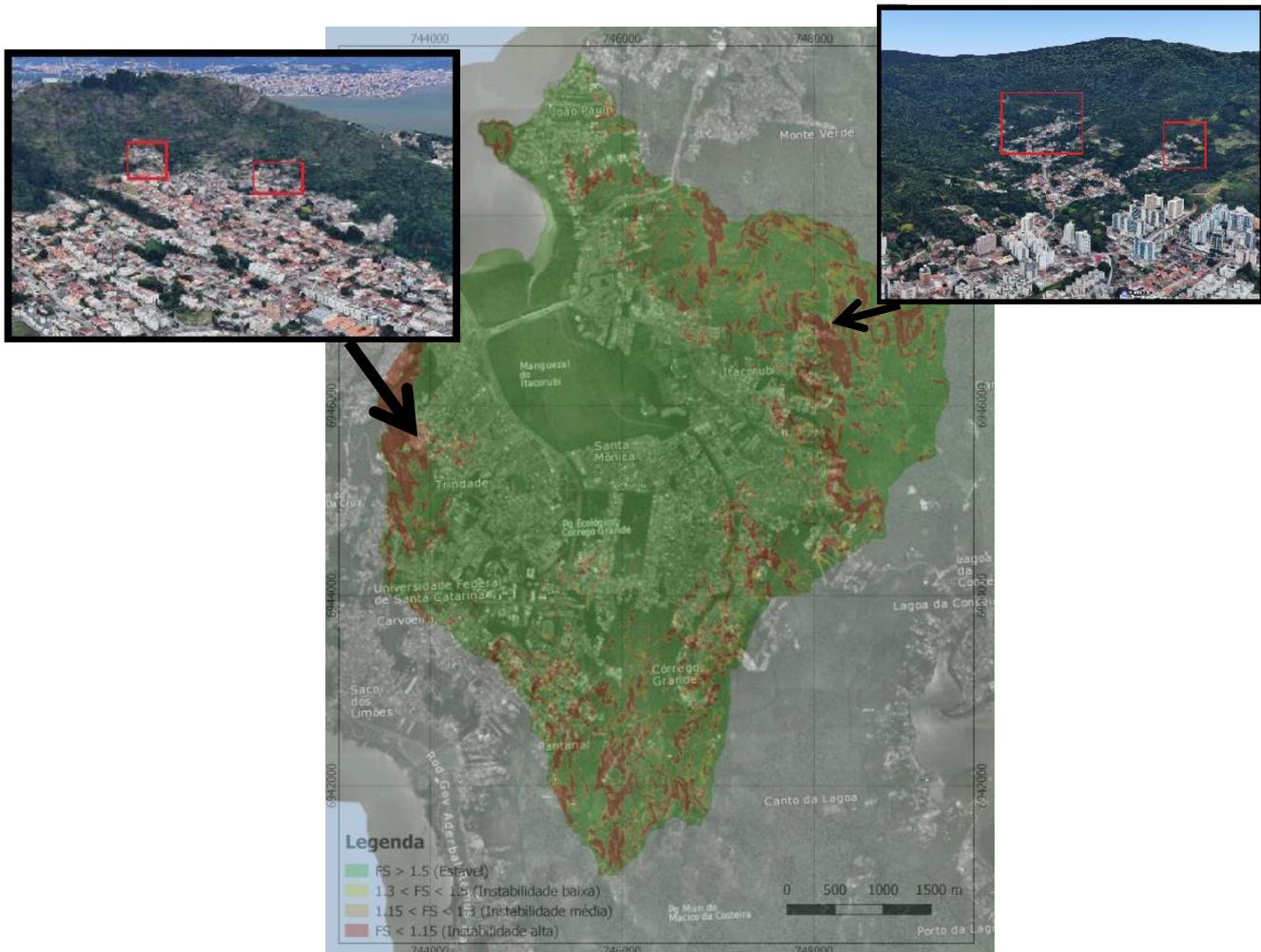
Foi realizada a sobreposição do mapa geral de suscetibilidade a deslizamentos circulares da bacia hidrográfica do Rio Itacorubi com o mapa da mancha urbana e também com a imagem de satélite do local, disponibilizada pelo geoprocessamento corporativo da prefeitura municipal de Florianópolis. A partir destes, é visível que a maior concentração urbana encontra-se nas áreas classificadas como estáveis, porém existem áreas de suscetíveis a deslizamentos ocupadas destacadas nas Figura 45 e Figura 46, principalmente nas regiões oeste no Morro da Cruz, na região leste no bairro Itacorubi na comunidade conhecida como Morro do quilombo, ao sul no Morro da Carvoeira e Córrego Grande.

Figura 45- Sobreposição da mancha urbana e o mapa de suscetibilidade a deslizamentos rotacionais



Fonte: Autor, 2017.

Figura 46- Sobreposição da imagem de satélite com o mapa de suscetibilidade a deslizamentos rotacionais

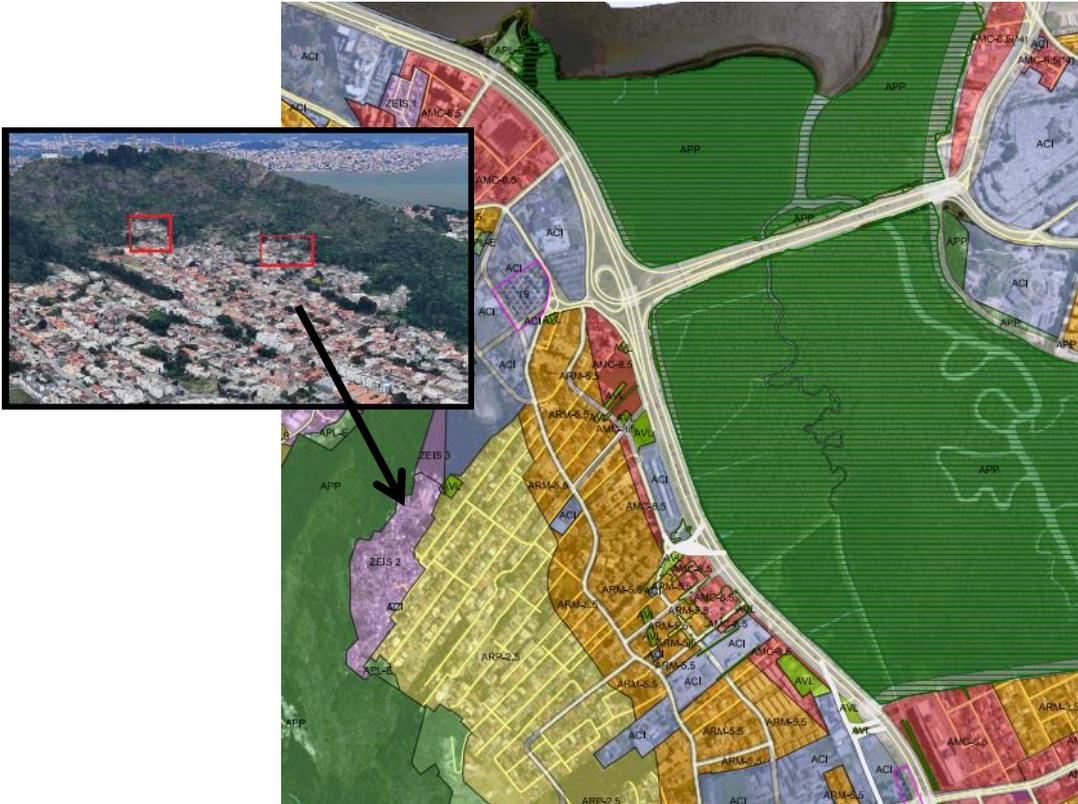


Fonte: Autor, 2017.

Foi realizado um comparativo com os locais destacados na Figura 46 com o zoneamento do plano diretor vigente de Florianópolis/SC. Os locais destacados se encontram no plano diretor em Zonas Especiais de Interesse Social (ZEIS), ilustrado na Figura 47. De acordo com o plano diretor são áreas ocupadas por assentamentos habitacionais populares onde se aplicam normas específicas para a regularização fundiária, urbanização e edificação, as quais se superpõem às normas gerais do Plano Diretor (Lei Complementar 207/05 art 1º, § 1º). As ZEIS foram criadas com o objetivo geral de universalizar o acesso à moradia, com a melhoria das condições de habitabilidade, de preservação ambiental e de qualificação dos espaços urbanos. As ZEIS atualmente funcionam como ferramenta para promover a regularização jurídica das áreas com ocupação consolidada, não levando em conta aspectos

geotécnicos e geoambientais, não cumprindo com a sua proposta principal de melhoria nas condições de habitabilidade.

Figura 47- Análise do Plano Diretor de Florianópolis/SC em relação aos aspectos geotécnicos, na região do maciço do Morro da Cruz.



7 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

7.1 CONCLUSÕES

O desenvolvimento desse estudo permitiu alcançar o objetivo geral, tendo como resultado um mapa que possibilita a identificação dos locais que apresentam suscetibilidade a deslizamentos circulares na área da Bacia Hidrográfica do Rio Itacorubi.

A avaliação dos parâmetros de resistência ao cisalhamento das unidades geotécnicas foi realizada tendo a unidade “PVgi” os maiores valores de parâmetros de resistência ao cisalhamento na Bacia Hidrográfica.

O comparativo entre os softwares de análise da estabilidade para deslizamentos circulares não foi possível totalmente devido à falta de informações fornecidas pelo *software* Macstars, em relação ao número de iterações e fatias utilizadas durante o cálculo do fator de segurança com o método de Bishop.

No comparativo entre os parâmetros de resistência do solo em relação à influência da água nos ensaios ocorreu de acordo com a literatura, sendo os parâmetros de resistência do solo obtidos no estado natural de umidade fornecendo fatores de segurança 17% maiores em média que o estado inundado.

As análises realizadas no *software* Macstars em conjunto com o mapeamento feito no ArcGis, mostraram que a Bacia Hidrográfica do Rio Itacorubi possui 27,3 Km² de área total, sendo 77,31% dela em áreas estáveis, e somando os locais que possuem instabilidade média e alta representam apenas 12,52% da Bacia Hidrográfica, na Tabela 24 exibe o resumo das áreas para as classes de estabilidade propostas.

Tabela 24- Resumo das áreas conforme a classe de estabilidade

Classes de Estabilidade	Área (Km²)	% em Relação à área total da bacia hidrográfica
Alta instabilidade	1,78	6,52%
Média Instabilidade	1,64	6,00%
Baixa Instabilidade	2,78	10,18%
Estável	21,12	77,31%
Total	27,32	100%

Fonte: Autor, 2017.

A sobreposição dos mapas de suscetibilidade das unidades geotécnicas junto com o mapa da mancha urbana mostrou que a Bacia Hidrográfica do Rio Itacorubi apresenta a maior

parte de sua mancha urbana em áreas estáveis. As áreas de alta instabilidade ocupadas estão localizadas a regiões de ocupação irregular associada à população de baixa renda nos Morros da Cruz, Morro do Quilombo, Carvoeira e Córrego Grande.

Por fim, o mapa de suscetibilidade a deslizamentos rotacionais para a região pode ser utilizado de forma a restringir a ocupação frente a esses critérios geotécnicos, dando informações para os órgãos públicos responsáveis pelo planejamento e uso do solo urbano, gerando planos diretores mais seguros para a população do município de Florianópolis/SC.

7.2 SUGESTÕES

Para trabalhos futuros, sugere-se:

- Análise de estabilidade de áreas suscetíveis a deslizamentos translacionais e em cunha na Bacia do Rio Itacorubi;
- Utilizar outros métodos de cálculo na análise da influência das variáveis no cálculo de estabilidade de taludes;
- Estudo de implantação de uma estrutura de contenção localizada em área considerada instável em região povoada;
- Estudo sobre a relação entre a ocorrência dos eventos pluviométricos no desencadeamento de deslizamentos de encosta;
- Estudo de implantação de equipamentos que possibilitem o monitoramento remoto de locais suscetíveis a deslizamentos de encosta;
- Avaliar as implicações sociais e econômicas resultantes da eventual aplicação do mapa de suscetibilidade a deslizamentos rotacionais;

REFERÊNCIAS

ABGE, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. **Geologia de engenharia**. São Paulo: Editores Antônio Manoel dos Santos Oliveira, Sérgio Nertan Alves Brito, 1998.

ASSOCIAÇÃO NORMAS TÉCNICAS BRASILEIRA DE. **NBR 11682**: Estabilidade de taludes. Comitê Brasileiro de Construção Civil. Origem: Projeto 02:04.07-001/90. Rio de Janeiro, 1991.

ANDRADE, Jaqueline; AFONSO, Sonia. **Conjuntos Residenciais sobre Encostas: avaliação da utilização desta tipologia como solução habitacional no Morro da Cruz – Segunda Parte**, Florianópolis, SC. Relatório Final de Iniciação Científica CNPq. Florianópolis. UFSC, 2006.

BISHOP, A. W. “The use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Slopes” **Geotechnique**, Vol 5, No. 1, 1955, pp 7-17.

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

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. Fundamentos. 6ª edição, Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos. Volume 1, 1988a.

CAPUTO, H.P. **Mecânica dos Solos e suas Aplicações. Mecânica das Rochas – Fundações – Obras de Terra**. Volume 2. 6ª edição. Rio de Janeiro: Editora LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2000.

CARAMEZ, M. L. (2011). **Análise da Suscetibilidade a Escorregamentos de Encostas de duas Microbacias de Florianópolis Através do Modelo SHALSTAB**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil, Florianópolis.

CARAMEZ, M. L. (2017). **Mapeamento Geotécnico da Microbacia do Itacorubi – Florianópolis/SC – Aplicação do Modelo SHALSTAB para Confecção de Mapa de Suscetibilidade a Deslizamentos Rasos de Encostas**. Dissertação (mestrado)- Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil, Florianópolis.

Monteiro, C. L (2016). **Mapeamento das áreas de suscetibilidade a deslizamentos rotacionais na Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição**. Trabalho de conclusão de curso (graduação)- Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil, Florianópolis.

CHUQUIMUNI, R. A. (2005). **Análise numérica do Alteamento de Barragens de Terra – Dissertação Mestrado em Engenharia Civil**. Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

CHRIST, C.E. (2014). **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.

Davis B. E. and Davis B., GIS: A Visual Approach, World Press, 2001.

DAVISON DIAS, R. **Aplicação de pedologia e geotecnia do projeto de fundações de linhas de transmissão** - Tese (doutorado) em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1987.

DAVISON DIAS, R. **Proposta de uma metodologia de estudos geotécnicos para implantação de rodovias, estradas rurais e vicinais em solos brasileiros**. In: Reunião Anual de Pavimentação, Florianópolis, SC, 2001, Anais.

DEL RIO, V. Paisagens, Realidade e imaginário. **Cad. Paisagem**. UNESP, 1986.

EM-DAT. **The International Disaster Database**. Disponível em <http://www.emdat.be/database>, acesso em Junho de 2017.

FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P. **Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica**. In: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. (Organizadores). **Geomorfologia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand, 1996.

FERNANDES, G. **Caracterização geológico - 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.

FIORI, Alberto Pio, CARMIGNANI, Luigi. **Fundamentos de mecânica dos solos e das rochas: aplicação na estabilidade dos taludes**. Curitiba: Editora da UFPR, 2001.

FIORI, Alberto Pio. Estabilidade de taludes: Exercícios práticos. São Paulo: Editora Oficina de textos, 2016.

GERSCOVICH, Denise M. S. **Estabilidade de taludes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 169 p.

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

GUIMARÃES, R. F. **Utilização de um modelo de previsão de áreas susceptíveis a escorregamentos rasos com controle topográfico: adequação e calibração em duas bacias de drenagem**. Tese (Doutorado em Geologia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2000.

GUIMARÃES, R. F., FERNANDES, N. F., GOMES, R. A., & JÚNIOR, O. A. (Fevereiro, 2003). **Fundamentação Teórica do Modelo Matemático para Previsão de Escorregamentos Rasos Shallow Stability** (2 ed., Vol. 6). Brasília: Espaço & Geografia.

GUIMARÃES et al. **Parameterization of soil properties for a model of topographic controls on shallow landsliding: application to Rio de Janeiro**. Engineering Geology, 2003.

HIGASHI, R. A. **Utilização de um SIG no desenvolvimento de um banco de dados geotécnicos do norte do Estado do Rio Grande do Sul**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil - Área: Infraestrutura e Gerência Viária, Florianópolis, 2002.

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.

ISOPPO, A.; COLZANI, R. **Estruturação e Utilização de um Banco de Dados Geotécnico da Ilha de Santa Catarina em SIG**. Trabalho de Conclusão de Curso. Graduação em Engenharia Civil na Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC, 2013.

KOPEZINSKI, I. **Mineração x Meio Ambiente: Considerações Legais, Principais Impactos Ambientais e seus Processos Modificadores**. Porto Alegre: Editora Universidade UFRGS, 2000.

LOCH, R. E. N. **Cartografia: Representação, comunicação e visualização de dados espaciais**. Florianópolis – SC: Ed. da UFSC, 2006.

MARCELINO, E. V., NUNES, L. H.; KOBAYAMA, M. **Banco de dados de desastres naturais: análise de dados globais e regionais**. Caminhos de geografia: revista online. Uberlândia, Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/15495/8774>

MICHEL; KOBAYAMA, Masato; GOERL, Roberto Fabris. **Análise Comparativa entre Modelos *Shalstab* e *Sinmap* na Identificação de Áreas Susceptíveis 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.

PINTO, C.S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**. 2a Edição, São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

PRANDINI, F. L., NAKAZAVA, V. A., & FREITAS, C. G. (1992). **Cartografia geotécnica nos planos diretores regionais e municipais**. Curso de Geologia de Engenharia aplicada a problemas ambientais (2).

QUEIROZ, Rudney C. **Geologia e geotecnia básica para engenharia civil**. São Carlos: RiMa, 2009. 406p.

RAIMUNDO, H. A. **Aspectos geotécnicos e pluviométricos associados a instabilidade de encostas em Florianópolis – SC** – Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

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.

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

ROSNIECEK, A.; IMAI, H.N. (2013). **Mapeamento Geotécnico e Análise de Áreas Suscetíveis a deslizamentos Rasos da Bacia do Rio Ratonés – Aplicação do Modelo Shalstab**. Trabalho de Conclusão de Curso. Graduação em Engenharia Civil na Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.

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, R. **Mapeamento Geotécnico e das Áreas Suscetíveis a Deslizamentos na Microbacia do Ribeirão Baú, Ilhota/SC**. Dissertação (mestrado)- Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil, Florianópolis.

SINIMBUH, D. S. **Análise da Estabilidade de uma estrutura de contenção de uma obra executada em VALPARAÍSO/GO com a utilização do software GEOSLOPE**. Artigo obtenção de grau Bacharel, Engenharia Civil na Universidade Católica de Brasília, Brasília, DF, 2016.

TAYLOR, H. M., ROBERTSON, G. M., PARKER, J. J. **Soil strength root penetration relations for medium to coarse textured soil materials**. Soil Science, New York, v.102, 1966.

TOMAZZOLI, E. R., & PELLERIN, J. M. (Julho/Dezembro de 2015). **Unidades do mapa geológico da Ilha de Santa Catarina: as rochas**. *Revista GEOSUL*.

