

MAPEAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS NO SETOR NORTE DO MUNICÍPIO DE BLUMENAU (SC): PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

*MAPPING AND CHARACTERIZATION OF LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY IN THE
NORTHERN SECTOR OF THE MUNICIPALITY OF BLUMENAU (SC):
METHODOLOGICAL PROCEDURES*

Raiza Sartori Peruzzo, Edison Ramos Tomazzoli

Universidade Federal de Santa Catarina. Departamento de Geociências. Câmpus Universitário Trindade. Rua Engenheiro Agrônomo Andrei Cristian Ferreira, s/n – Trindade – Florianópolis – SC.
E-mail: raizasartori@gmail.com; edison.tomazzoli@ufsc.br

Introdução
Aspectos socioambientais da área de estudos
Materiais, métodos, técnicas e resultados iniciais
Definição das unidades geotécnicas
Definição das unidades das unidades pedogeológicas
Definição das unidades geomorfo-pedogeológicas
Mapa de cicatrizes de deslizamentos
Modelagem das áreas suscetíveis a deslizamentos
Modelos de Suscetibilidade utilizando SHALSTAB
Modelos de suscetibilidade utilizando o Fator de Segurança
Validação dos modelos de suscetibilidade
Elaboração do mapa final de suscetibilidade a deslizamentos
Resultados e discussões
Modelo pelo fator de segurança
Validação dos modelos
Mapa final de suscetibilidade a deslizamentos
Conclusões
Agradecimentos
Referências

RESUMO - Modelos de estabilidade a deslizamentos, por se utilizarem de formulações matemáticas que muitas vezes não correspondem exatamente à complexa dinâmica dos movimentos gravitacionais de massa, nem sempre apresentam bons resultados, principalmente quando aplicados em grandes áreas. Para sua correta utilização, torna-se necessário processos de validação desses modelos. Nesse artigo é proposta uma metodologia para a determinação de classes de suscetibilidade a deslizamentos no setor norte do município de Blumenau, SC. A metodologia consiste na aplicação de modelos matemáticos determinísticos (SHALSTAB e Fator de Segurança) a partir de dois tipos de unidades geotécnicas (pedogeológicas e geomorfo-pedogeológicas), que originam 4 simulações. A determinação da simulação mais eficiente se dá através de curvas de validação, utilizando-se mapa de cicatrizes de deslizamentos da área de estudos. Essas curvas, além de permitirem a escolha do modelo mais eficiente, auxiliam na delimitação das classes alta, média e baixa suscetibilidade, processo fundamental na elaboração de um mapa de suscetibilidade final, com apenas três classes. Na área de estudos, a simulação pelo Fator de Segurança aplicado sobre unidades geomorfo-pedogeológicas apresentou os melhores resultados de validação, que permitiu a sua reclassificação em três classes de suscetibilidade.

Palavras-chave: Deslizamentos. Metodologia. Blumenau (SC) - Brasil

ABSTRACT – Landslide stability models, by relying on mathematical formulations that often do not accurately represent the complex dynamics of gravitational mass movements, do not always yield satisfactory results—especially when applied to large areas. To ensure their proper use, validation processes of these models are necessary. This article proposes a methodology for determining landslide susceptibility classes in the northern sector of the municipality of Blumenau, SC. The methodology consists of applying deterministic mathematical models (SHALSTAB and Factor of Safety) based on two types of geotechnical units (pedogeological and geomorpho-pedogeological), resulting in four simulations. The most efficient simulation is identified through validation curves, using a landslide scar map of the study area. These curves not only support the selection of the most effective model but also assist in defining high, medium, and low susceptibility classes—a key step in creating a final susceptibility map with only three classes. In the study area, the simulation using the Factor of Safety applied to geomorpho-pedogeological units showed the best validation results, allowing its reclassification into three susceptibility classes.

Keywords: Landslides. Methodology. Blumenau (SC) - Brazil

INTRODUÇÃO

Os movimentos gravitacionais de massa (MGM) são processos naturais importantes na evolução das paisagens como modeladores das formas de relevo. Comprendem fenômenos extremamente complexos em termos de previsão e tipologia.

Pela complexidade, estes processos têm sido amplamente investigados pela comunidade científica, principalmente por causa da sua importância na ocorrência de desastres socioambientais.

São causados pelo aumento das tensões que

atuam nas encostas ou pela diminuição da resistência dos materiais que compõe os solos. Características naturais, inerentes às encostas, como o contexto geológico/estrutural, pedológico e geomorfológico, por exemplo, são fatores que predispõem uma encosta à ocorrência de rupturas. Outros fatores são diretamente responsáveis pela predisposição e pelo desencadeamento da ruptura nas encostas, entre eles podem-se citar episódios intensos de chuvas, erosão, desflorestamento e alterações antrópicas (Guidicine & Nieble, 1976; Selby, 1993; Fernandes & Amaral, 2011).

Trabalhos de previsão, voltados a modelamentos matemáticos baseados em métodos estatísticos ou em parâmetros geotécnicos do solo (métodos determinísticos) têm se destacado como uma metodologia eficaz para a avaliação da suscetibilidade a tais movimentos, porque diminuem a subjetividade das análises empíricas baseadas apenas no ‘olhar’ do técnico ou pesquisador. Dentre esses trabalhos, pode-se citar Montgomery & Dietrich, (1994) no Vale do Tennessee, Califórnia; Vieira (2007) na região da Serra do Mar, SP; Fernandes, (2001), no maciço da Tijuca e Serra dos Órgãos, RJ; Sbroglio, (2015, 2022) na região do Vale do Itajaí, SC, entre outros.

Esse trabalho foi motivado por um evento climático extremo ocorrido nos dias 23 e 24 de novembro de 2008, quando todo o Vale do Itajaí, região nordeste do Estado de Santa Catarina, foi atingido por intensas chuvas que ocasionaram, além de grandes inundações, numerosos e generalizados deslizamentos, ocasionando fatalidades, centenas de feridos, milhares de desabrigados e vultosos prejuízos econômicos e sociais para a região (Tomazzoli et al., 2012). De acordo com registros da Defesa Civil do Estado foram confirmados 135 óbitos e 02 desaparecimentos (sendo que mais de 97% das mortes foram causadas por soterramento).

Uma das respostas a esse trágico evento foi a elaboração, por parte do Ministério das Cidades,

em convênio com a Universidade Federal de Santa Catarina, de um projeto com metodologia voltada a criação de cartas de aptidão à urbanização frente aos desastres naturais em municípios prioritários do Estado de Santa Catarina. O objetivo principal desse projeto, no qual esse trabalho está inserido, foi indicar as áreas passíveis de expansão urbana no perímetro urbano desses municípios, considerando, inclusive, a suscetibilidade a deslizamentos e inundações, com base em metodologias voltadas ao mapeamento geotécnico e aplicação de modelos matemáticos baseados em parâmetros geotécnicos.

O município de Blumenau, desde o início de sua fundação, convive com os impactos ocasionados por fenômenos naturais, tais como enxurradas, inundações, movimentos de massa e principalmente enchentes. Registros históricos cedidos pela Prefeitura Municipal mostram que desde o ano de 1852, dois anos após a fundação da Cidade de Blumenau, esses fenômenos naturais vêm sendo recorrentes, com frequência de 1 evento a cada 1 ano e meio.

Dentro deste contexto, a caracterização e localização das áreas suscetíveis à ocorrência desses fenômenos são imprescindíveis para a prevenção e mitigação dos danos referentes a desastres socioambientais no município de Blumenau.

Para esse fim, modelos matemáticos determinísticos para avaliação da estabilidade de encostas estão sendo amplamente utilizados no Brasil, como, por exemplo, Fernandes et al. (2001), Vieira (2007), Michel (2011), Sbroglio (2015), entre outros.

Nesse artigo foram utilizados dados e metodologias semelhantes às desenvolvidas no Projeto do Ministério das Cidades intitulado ‘Elaboração de cartas de aptidão frente aos desastres naturais nos municípios de Blumenau, Brusque, Botuverá, Rodeio, Timbó, Itajaí, Camboriú e Balneário Camboriú’ Ministério das Cidades’ (UFSC/Ministério das Cidades, 2018), cuja equipe foi integrada pelos autores.

ASPECTOS FÍSICOS E SOCIOAMBIENTAIS DA ÁREA DE ESTUDOS

O Município de Blumenau está localizado na porção nordeste do Estado de Santa Catarina, na região do médio vale do Itajaí (Figura 1), tem sido palco de numerosos desastres socioambientais.

Toda a região da bacia do rio Itajaí apresenta alta vulnerabilidade frente aos desastres e recorrentes catástrofes geradas por inundações, movimentos de massa e enxurradas (Mattedi et

al., 2009), devido a suas características naturais que condicionam áreas de ocupações em locais muitas vezes desfavoráveis.

O território do município de Blumenau comprehende 518,497 km² de extensão, divididos pelo rio Itajaí-Açu que segmenta o município em dois setores (norte e sul) com características geológicas, geomorfológicas e topográficas bastante distintas.

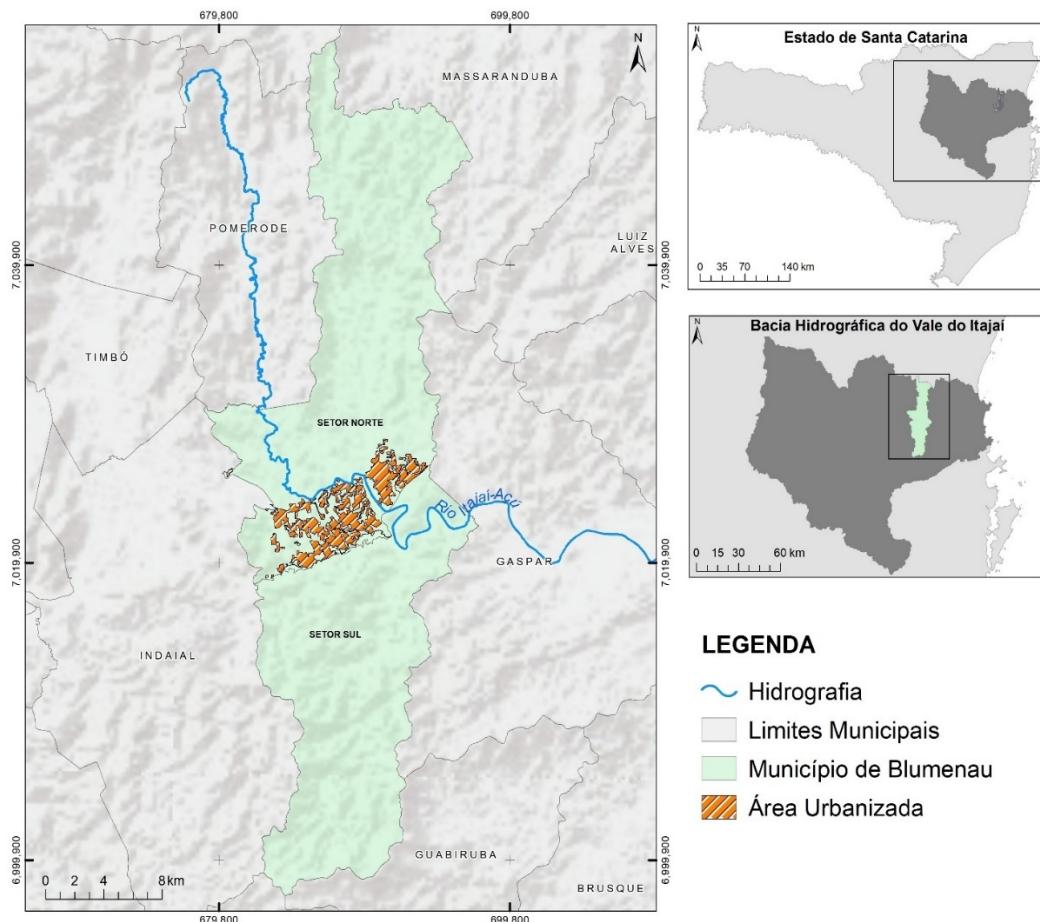


Figura 1 - Localização do município de Blumenau.

Sob o ponto de vista geológico, o setor norte de Blumenau é constituído por ortognaisses máficos (predominantes) e félscicos, além de núcleos gabroicos e ultramáficos (piroxenitos e peridotitos), todos de alto grau metamórfico (fácies granulito e anfibolito) compondo o Complexo Luiz Alves (Figura 2a). Já o setor sul é constituído geologicamente pela predominância de rochas do Complexo Ribeirão da Prata, Complexo Brusque e do Grupo Itajaí.

O Complexo Ribeirão da Prata é formado por migmatitos, biotita gnaisses e anfibólitos gnaisses máficos (Widner et al., 2014). O Grupo Itajaí é representado por associações de rochas vulcanosedimentares sub-horizontalizadas ou com o acamamento mergulhando em baixo ângulo predominantemente para o sentido sudeste, formadas principalmente por conglomerados arenitos arcoseanos e espessos pacotes de camadas rítmicas de arenitos finos e folhelhos (ardósias) de baixo grau metamórfico (Aumond, 2009).

Sob o ponto de vista geomorfológico, no setor sul de Blumenau, a tectônica, o sistema de fraturas, a morfologia do terreno, somados ao avançado estado de alteração das rochas, tornam algumas áreas inadequadas à ocupação humana,

por serem áreas escarpadas e com maior risco de deslizamentos. Já o setor norte de Blumenau, onde afloram os gnaisses, a morfologia é suavizada, com a predominância de colinas e com vales que assumem a forma de “U” aberto, formando planícies com centenas de metros de largura, principalmente próximas ao rio Itajaí-Açu e ribeirão Itoupava. Pela sua morfologia, constituição geológica e ausência de cheias periódicas, constitui área com vocação para expansão urbana (Aumond, 2009).

Frequentemente, a região do Vale do Itajaí é afetada por sistemas atmosféricos que geram chuvas intensas e ocasionam os recorrentes episódios de inundações, enxurradas e deslizamentos. A média anual de precipitações situa-se em 1.610 mm (SINPDEC, 2017), porém Nery et al (2000) observaram uma maior concentração nos meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março, com a maioria das enchentes e inundações registradas nesse período. Já os meses de maio, junho e julho apresentam um menor volume de precipitação.

Blumenau concentra hoje uma população de aproximadamente 309.011 habitantes, sendo que 95,39% da população reside áreas urbanas (Brasil, 2010).

MATERIAIS, MÉTODOS, TÉCNICAS E RESULTADOS INICIAIS

O setor norte do município de Blumenau foi escolhido porque, ao contrário do setor sul, apresenta maior homogeneidade quanto às estruturas das rochas, o que favorece os modelamentos desenvolvidos. Nesta pesquisa optou-se por aplicar, validar e comparar o resultado obtido por dois tipos de modelamentos que utilizam parâmetros geotécnicos do solo: o modelamento pelo programa SHALSTAB e modelamento utilizando o Fator de Segurança.

Para alimentar esses modelamentos, foram utilizados o mapa geológico (Figura 2a), mapa pedológico (Figura 2b) (Brasil, 2003), ambos originalmente na escala 1:10.000, carta topográfica e ortofotomosaico, com resolução espacial de 0,39m e um modelo digital do terreno com resolução de espacial de 1m, esses três últimos disponibilizados pela Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina (SDS-SC).

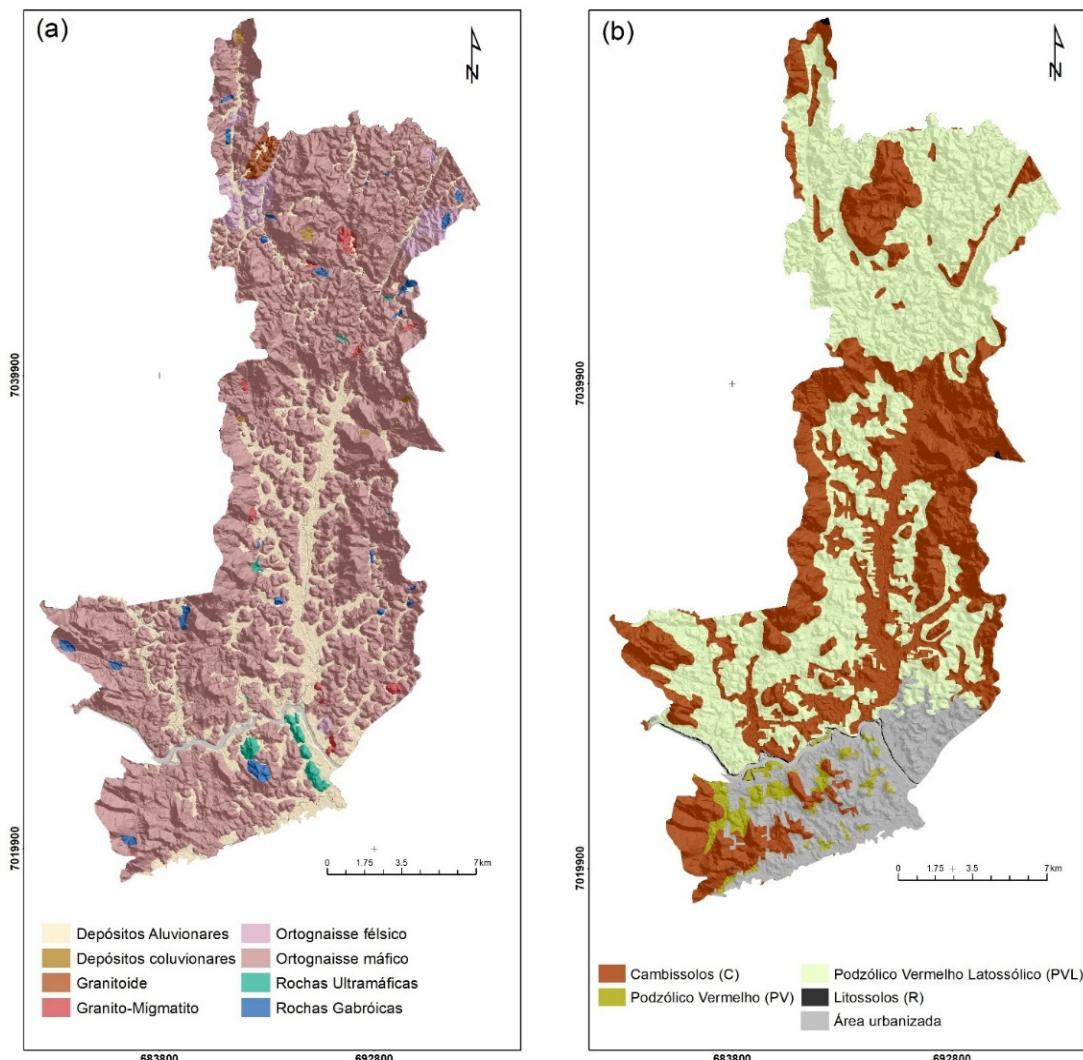


Figura 2- a) Mapa geológico (UFSC & Ministério das Cidades, 2018); b) Mapa pedológico. Fonte: UFSC/Ministério das Cidades, 2018 e adaptado de Brasil, 2003.

Além disso, foi utilizado o mapa de modelados do relevo (Figura 3), escala 1:10.000, extraído de Peruzzo (2018) que subsidiou a definição das unidades geotécnicas.

Definição das unidades geotécnicas

Os dois tipos de modelamento, citados anteriormente, foram desenvolvidos sobre unidades geotécnicas também de dois tipos: a) unidades pedogeológicas e b) unidades geomorfo-pedo-

geológicas, descritas a seguir, resultando em quatro modelamentos diversos que foram avaliados pela validação, utilizando as cicatrizes de deslizamentos do setor norte de Blumenau, a maioria delas relacionada ao evento extremo de novembro de 2008.

Definição das unidades das unidades pedogeológicas.

As unidades desse mapa foram definidas pela metodologia de mapeamento geotécnico elaborada

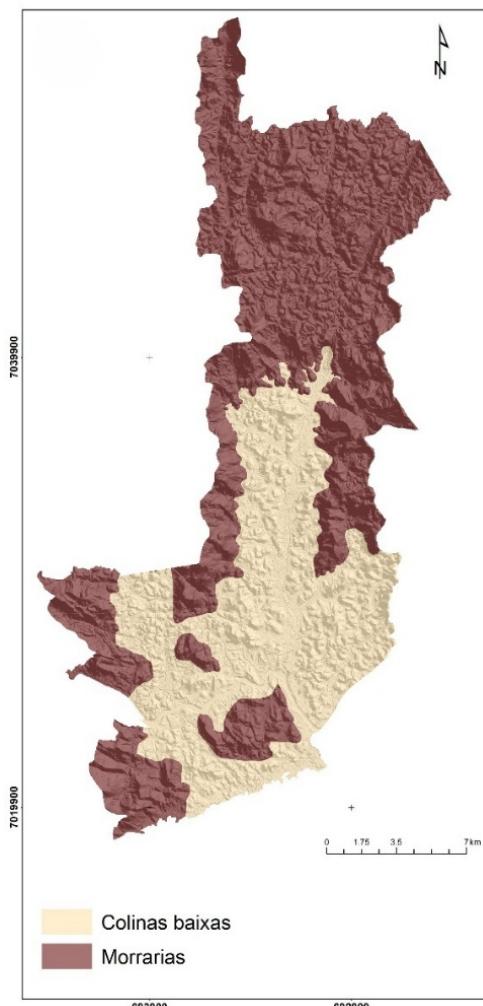


Figura 3 - Mapa dos modelados de relevo. Fonte: Peruzzo (2018)

por Davison Dias (1995) que propõe um mapeamento geotécnico básico de regiões tropicais usando a sobreposição dos mapas pedológico e geológico. Seguindo essa metodologia, as unidades geotécnicas deste trabalho foram nomeadas utilizando a simbologia "Xxy" (Tabela 1), cujas

letras maiúsculas correspondem à classificação pedológica e as minúsculas são identificadoras das unidades geológicas.

As unidades geotécnicas delimitadas sob o ponto de vista pedogeológico com suas respectivas simbologias estão na tabela 1.

Tabela 1 - Identificação das Unidades Geotécnicas da área de estudo, baseado em unidades pedogerológicas (metodologia de Davison Dias, 1995).

Litologia	Sigla	Pedologia	Siglas	Unidades Geotécnicas
Piroxenitos	px	Podzólicos Vermelho Amarelo Latossólicos	PVL	PVLpx
Depósitos coluviais	de	Cambissolos	C	Cde
Gnaisse Félsico	gn1	Podzólicos Vermelho Amarelo Latossólicos	PVL	PVLgn1
Gnaisse Félsico	gn1	Cambissolos	C	Cgn1
Gabro	gb	Podzólicos Vermelho Amarelo Latossólicos	PVL	PVLgb
Granito-Migmatito	mg	Podzólicos Vermelho Amarelo Latossólicos	PVL	Cmg
Granito-Migmatito	mg	Podzólicos Vermelho Amarelo Latossólicos	PVL	PVLmg
Granitoide	g	Podzólicos Vermelho Amarelo Latossólicos	PVL	PVLg
Gnaisse Máfico	gn	Cambissolos	C	Cgn
Gnaisse Máfico	gn	Podzólicos Vermelho Amarelo Latossólicos	PVL	PVLgn
Gabro	gb	Cambissolos	C	Cgb
Gnaisse Máfico	gn	Podzólicos Vermelho Amarelo	PV	PVgn
Piroxenitos	px	Cambissolos	C	Cpx
Piroxenitos	px	Podzólicos Vermelho Amarelo	PV	PVpx

Para a elaboração do mapa de unidades pedogeológicas da área (Figura 4), foi feita a superposição do mapa pedológico (Figura 2b) ao mapa geológico (Figura 2a).

Definição das unidades geomorfo-pedogeológicas.

Essas unidades geotécnicas, denominadas geomorfo-pedogeológicas, foram definidas a partir das características geomorfológicas combinadas com as geológicas, seguindo-se o proposto em

Zuquette (1987), onde solos oriundos de uma mesma unidade geológica, porém localizados em áreas com diferentes tipos de modelado, costumam ser diferentes, apresentando parâmetros e comportamento geotécnico diversos. Desta forma, o autor propõe a utilização de feições de modelado (*landforms*) na escolha dos pontos de coleta de amostras para a caracterização do comportamento geotécnico dos solos.

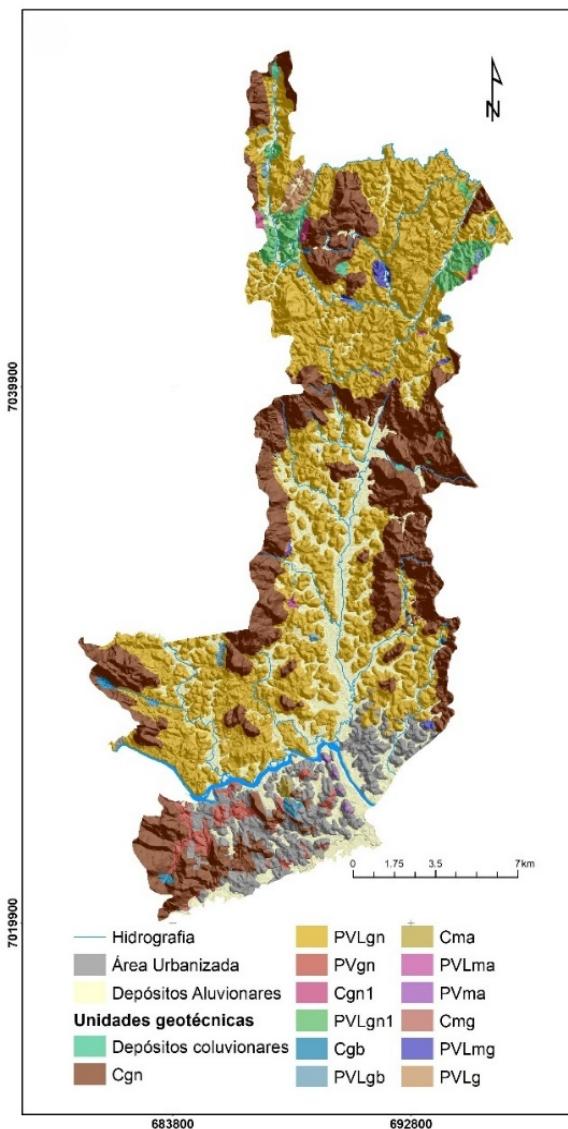


Figura 4 – Mapa de unidades pedogeológicas. Fonte: Peruzzo (2018)

O setor norte do município de Blumenau compreende duas áreas com formas de relevo distintas: áreas com modelado em morrarias e áreas mais arrasadas, com modelado em colinas baixas. Cada um desses modelados origina um tipo de solo diverso, mesmo quando o substrato geológico é idêntico; no modelado em colinas predominam espessuras de solo bem mais elevadas, frequentemente superiores a 5 metros e algumas vezes alcançando 15 metros.

Esse diferentes padrões do relevo geraram

um mapa de modelados de relevo (Figura 3), que foi sobreposto ao mapa geológico (Figura 2a), originando o mapa de unidades geomorfo-pedogeológicas (Figura 5).

A nomenclatura utilizada para identificação das unidades considerou os modelados de relevo identificados em letra maiúscula e a geologia identificada em letra minúscula. A tabela 2 apresenta os pontos utilizados para as modelagens, sua litologia, unidades de relevo e respectivas siglas.

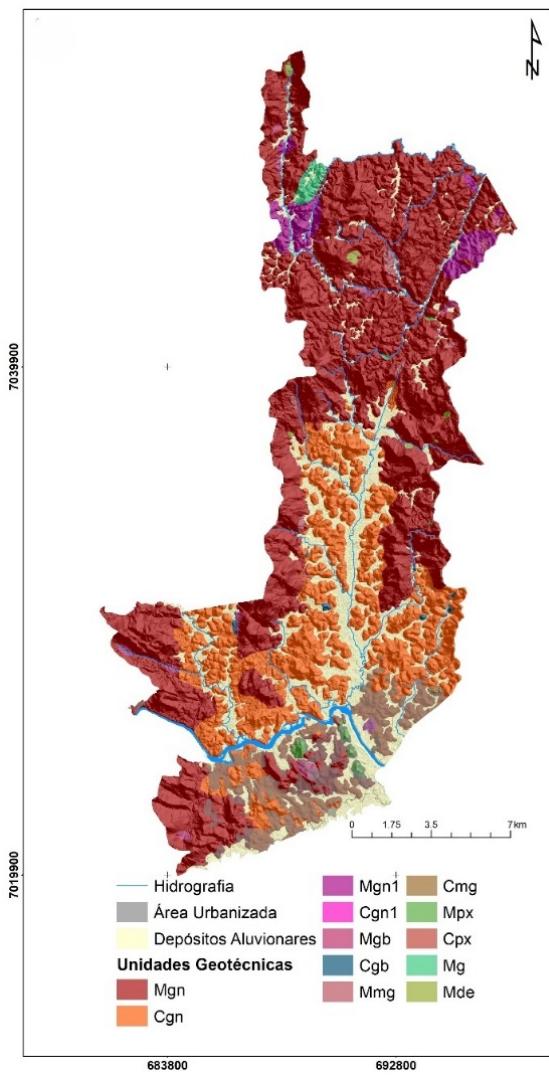


Figura 5 – Mapa de unidades geomorfo-pedogeológicas. Fonte: Peruzzo (2018)

Tabela 2 - Identificação das Unidades Geotécnicas da área de estudo de acordo com as Unidades de Relevo.

Ponto	Litologia	Sigla	Unidades de Relevo	Siglas	Unidades Geotécnicas
M121	Piroxenito	px	Morrarias	M	Mpx
BL18	Piroxenito	px	Colinas baixas	C	Cpx
M132	Gabro	gb	Morrarias	M	Mgb
M119	Gabro	gb	Colinas baixas	C	Cgb
M117	Depósitos coluviais	de	Morrarias	M	Mde
BL205	Granitoide	g	Morrarias	M	Mg
BL41	Granito Migmatito	mg	Morrarias	M	Mmg
M130	Granito Migmatito	mg	Colinas baixas	C	Cmg
BL501	Gnaisse Félsico	gn1	Morrarias	M	Mgn1
M120	Gnaisse Félsico	gn1	Colinas baixas	C	Cgn1
M118	Gnaisse Máfico	gn	Morrarias	M	Mgn
M129	Gnaisse Máfico	gn	Colinas baixas	C	Cgn

Mapa de cicatrizes de deslizamentos

A vetorização das cicatrizes de deslizamentos foi elaborada sobre o ortofotomosaico disponibilizado pela SDS (Secretaria do Desenvolvimento Sustentável) de SC, e sobre imagens do satélite Rapideye, composição colorida RGB 135

com resolução espacial de 2,5 m. O mapa elaborado contempla 103 cicatrizes (Figura 6), grande parte delas validadas por visitas em campo. As cicatrizes identificadas em campo e não visualizadas nas imagens, foram devidamente acrescentadas.

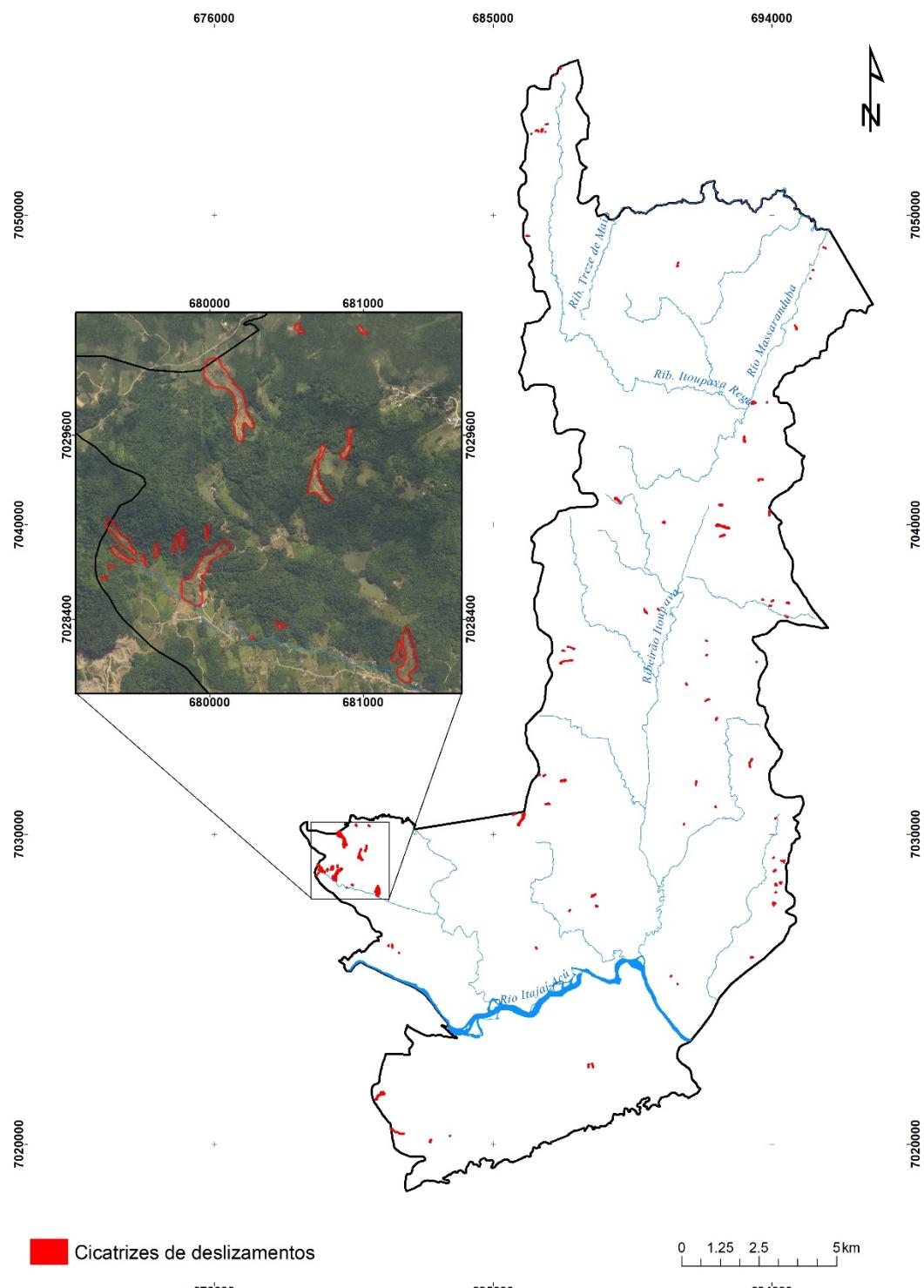


Figura 6 - Mapa de cicatrizes de deslizamentos

Posteriormente, essas cicatrizes foram segmentadas, separando-se apenas as suas áreas de ruptura, nas cabeceiras de cada cicatriz, segundo metodologia mostrada em Eeckhaut et al. (2006), com vistas à validação dos modelos de suscetibilidade a deslizamentos elaborados, os quais, nesse trabalho, são sempre relacionados com a suscetibilidade a rupturas.

Modelagem das áreas suscetíveis a deslizamentos

Para a modelagem das áreas suscetíveis a

deslizamentos, foram utilizados dois modelos matemáticos: o modelo determinístico SHALSTAB (Shallow Landsliding Stability Model), desenvolvido por Montgomery & Dietrich (1994) e o modelo baseado em cálculos do Fator de Segurança pelo método de Bishop. Cada modelo foi aplicado para cada uma das unidades geotécnicas descritas anteriormente (unidades pedogeológicas e unidades geomorfo-pedogeológicas), resultando em quatro modelamentos,

dois deles pelo Fator de Segurança e dois pelo SHALSTAB:

- SHALSTAB utilizando as unidades do mapa pedogeológico;
- SHALSTAB utilizando as unidades do mapa geomorfo-pedogeológico;
- Fator de Segurança utilizando as unidades do mapa pedogeológico;
- Fator de Segurança utilizando as unidades do mapa geomorfo-pedogeológico.

Cada um dos quatro cenários foi validado e, posteriormente, reclassificado em três classes de suscetibilidade, alta, média e baixa, definidas a partir da análise das curvas de validação geradas pela sobreposição das áreas de cabeceiras de cicatrizes com os modelos, que serão detalhadas mais adiante.

Modelos de suscetibilidade utilizando o SHALSTAB

A modelagem com o SHALSTAB utilizou a extensão ASA – Automatic SHALSTAB Analysis inserida no ArcGis 10.4, contendo a rotina automatizada da equação matemática do modelo (Sbroglia et al., 2017). Na ferramenta ASA é possível escolher entre duas técnicas relacionadas à camada matricial direção de fluxo:

Técnica ASA– Oito direções: é calculada automaticamente pela ferramenta ASAa partir da extensão Spatial Analyst Tools/Hidrology/Flow accumulation do ArcGIS, tomindo-se como

dado de entrada a camada de 8 direções de fluxo. Técnica ASA– Infinitas direções: nesta opção a camada de área de contribuição consiste em um dado de entrada (intitulado ab.tif) da ferramenta ASA, logo, deve-se ser elaborado separadamente. Para isso, é utilizada a extensão chamada TAUDEM (Terrain Analysis Using Digital Elevation Models), que é disponibilizada gratuitamente.

Os dados de entrada consistem no MDT da área de contribuição, que corresponde ao número de células ou área. Esta, por sua vez, contribui com o volume, ou seja, a área acumulada de montante obtida pelo software TauDEM e pelo arquivo vetorial contendo as unidades geotécnicas e respectivos parâmetros geotécnicos do solo (coesão - cs, ângulo de atrito - f, peso específico saturado - rs e profundidade do solo - z) que foram obtidos nos ensaios geotécnicos previamente realizados em cada unidade geotécnica. Os parâmetros geotécnicos foram determinados a partir de ensaios de cisalhamento direto (CD) sobre amostras indeformadas do solo de cada uma das unidades dos mapas das figuras 4 e 5, seguindo a metodologia descrita em Sbroglia (2022). Os ensaios foram realizados no Laboratório de Mecânica dos Solos do Departamento de Engenharia Civil da UFSC. Na tabela 3, são apresentadas as sete classes do modelo SHALSTAB, com suas características.

Tabela 3 - Classes de estabilidade do SHALSTAB.

Log q/T	Classe de estabilidade SHALSTAB
Incondicionalmente Instável	1 - Incondicionalmente instável e saturada
≤ -3.1	2 - Incondicionalmente instável e não saturada
-3.1 - -2.8	3 - Instável e saturada
-2.8 - -2.5	4 - Instável e não saturada
-2.5 - -2.2	5 - Estável e não saturada
≥ -2.2	6 - Incondicionalmente estável e não saturada
Incondicionalmente Estável	7 - Incondicionalmente estável e saturada

Modelos de suscetibilidade utilizando o Fator de Segurança

A modelagem utilizando o Fator de Segurança foi elaborada com base no mapa de declividades relacionado às unidades geotécnicas (pedogeológica ou geomorfo-pedogeológica). O software MacStars calculou a declividade necessária para atingir os Fatores de Segurança 0,4; 0,5; 0,6; 0,75; 1,0; 1,25; 1,5; 1,75; 2,0; 2,25; 2,5 e, 3,0 de cada uma das unidades geotécnicas. Esses fatores de segurança-padrão foram escolhidos a partir de diversos testes preliminares, realizados pelos

autores, porque contemplam tanto áreas de alta suscetibilidade como também áreas de segurança ou baixa suscetibilidade a deslizamentos.

Os fatores de segurança foram calculados pelo modelo de Bishop, cujos dados de entrada são coesão, ângulo de atrito, peso específico saturado e peso específico natural que foram obtidos nos ensaios geotécnicos de cisalhamento direto (CD), em amostras indeformadas de solo de cada unidade geotécnica, realizados no Laboratório de Mecânica dos Solos do Departamento de Engenharia Civil da UFSC. A superfície piezo-

métrica foi configurada de forma a indicar um solo saturado.

Os resultados da modelagem permitiram que as declividades de cada unidade geotécnica (que possuem os mesmos parâmetros geotécnicos) fossem reclassificadas em 12 classes de acordo com o Fator de Segurança. A tabela 4 exemplifica o resultado da análise de estabilidade para a unidade geotécnica cambissolos de gnaisse máfico. Nos solos dessa unidade, por exemplo, os resultados da análise de estabilidade demonstraram que, para atingir um $FS = 1,5$, as declividades devem ser iguais a 15° .

Tabela 4 - Ângulos de declividade da encosta calculados para os doze fatores de segurança predeterminados, resultando em doze classes de FS, correspondentes a intervalos de declividade para a unidade Cambissolo de Gnaisse Máfico.

Cambissolo de Gnaisse Máfico		
Ângulo de declividade ($^\circ$)	Fator de Segurança (FS)	Classe de FS
90 (?)	0	
		12
53	0,40	
		11
42	0,50	
		10
36	0,60	
		9
29	0,75	
		8
22	1	
		7
18	1,25	
		6
15	1,5	
		5
13	1,75	
		4
11	2	
		3
9	2,5	
		2
7,5	3	
		1
0 (?)	infinito	

Com base nos intervalos de declividade, expressos, por exemplo, na tabela 2, o mapa de declividades de cada classe geotécnica (que é constituída pelos mesmos parâmetros geotécnicos) foi reclassificado para os valores dessas doze classes de fator de segurança. A seguir foram justapostas todas as unidades

geotécnicas reclassificadas dessa maneira, resultando no modelo de suscetibilidade a deslizamentos de toda a área de estudos para os mapas dos dois tipos de unidades geotécnicas definidos anteriormente.

Validação dos modelos de suscetibilidade

Para a validação dos modelos, utilizou-se a metodologia de Chung & Fabbri (2003), com a construção de uma curva de validação. Essa curva permite observar se há ou não correlação positiva entre as áreas de ruptura das cicatrizes e as áreas de maior suscetibilidade do modelo.

O mapa com as áreas de ruptura das cicatrizes, gerado a partir do mapa de cicatrizes (Figura 6) foi transformado em arquivo raster e sobreposto a cada um dos 4 modelamentos usando o módulo Álgebra de Mapas no ArcGis 10.4. A partir dessa superposição, é gerado da tabela de atributos (Tabela 5), com a área e a porcentagem de cicatrizes por cada classe de suscetibilidade para cada um dos quatro modelamentos gerados.

Os dados da tabela 5 permitem o desenho de um gráfico em que o eixo Y é representado pela percentagem acumulada de cicatrizes e, o eixo X mostra as áreas das classes de suscetibilidade do modelo (dispostas em ordem decrescente de suscetibilidade) abarcando a área de cada classe, até perfazer 100% da área de estudos. O gráfico resultante, em forma de curva (Figura 7), é denominado curva de validação (Chung & Fabbri, 2003), que corresponde à percentagem acumulada de cicatrizes na área de cada classe.

No gráfico da curva de validação de Chung & Fabbri (2003) (Figuras 7 e 12), o Eixo X corresponde à percentagem acumulada das áreas de cada classe de suscetibilidade e o Eixo Y representa a percentagem acumulada das áreas das cabeceiras de cicatrizes. A linha vermelha representa o traçado da curva, com os pontos em preto representando as sete classes de suscetibilidade (Figura 7), já que aqui foi utilizado o modelamento por SHALSTAB, com sete classes.

As áreas acumuladas de cada classe são dadas pela projeção do ponto ao eixo X, enquanto a percentagem acumulada de cicatrizes nessa classe é dada pela projeção do ponto ao eixo Y. Essa curva de validação mostra que o modelamento em questão, é muito bom para delimitar áreas de alta suscetibilidade, visto que cerca de 65% das cicatrizes recaíram sobre apenas 20% da área total, correspondente às classes 1, 2, 3, 4 e 5, de maior suscetibilidade.

Tabela 5 - Correlação das classes de suscetibilidade e cicatrizes de deslizamentos para o modelo SHALSTAB sobre o mapa unidades geomorfo-pedogeológicas

Área do modelo			Correlação das cicatrizes com o modelo	
Classes	Percentagem da área de cada classe	Percentagem acumulada das áreas de cada classe	Percentagem da área de cabeceira de cicatrizes na área de cada classe	Percentagem acumulada das áreas de cabeceira de cicatrizes na área de cada classe
1	2.15%	2.15%	12.38%	12.38%
2	1.37%	3.52%	9.65%	22.02%
3	2.20%	5.72%	9.66%	31.68%
4	5.65%	11.38%	16.84%	48.52%
5	8.93%	20.31%	16.35%	64.87%
6	14.48%	34.79%	16.36%	81.24%
7	65.21%	100.00%	18.76%	100.00%

Já disposição e o espaçamento dessas classes não é útil para definir com precisão as áreas de baixa suscetibilidade e principalmente áreas de segurança, a partir das quais não mais recaem cicatrizes (que representam deslizamentos), uma vez que a classe 7 apresenta uma área bem maior

que as demais, sem pontos intermediários que dariam uma maior definição a esse final de curva, o que não acontece nos modelos baseados no Fator de Favorabilidade, com 12 classes (Figuras 11 e 12), mais adequados à definição dessas áreas de segurança.

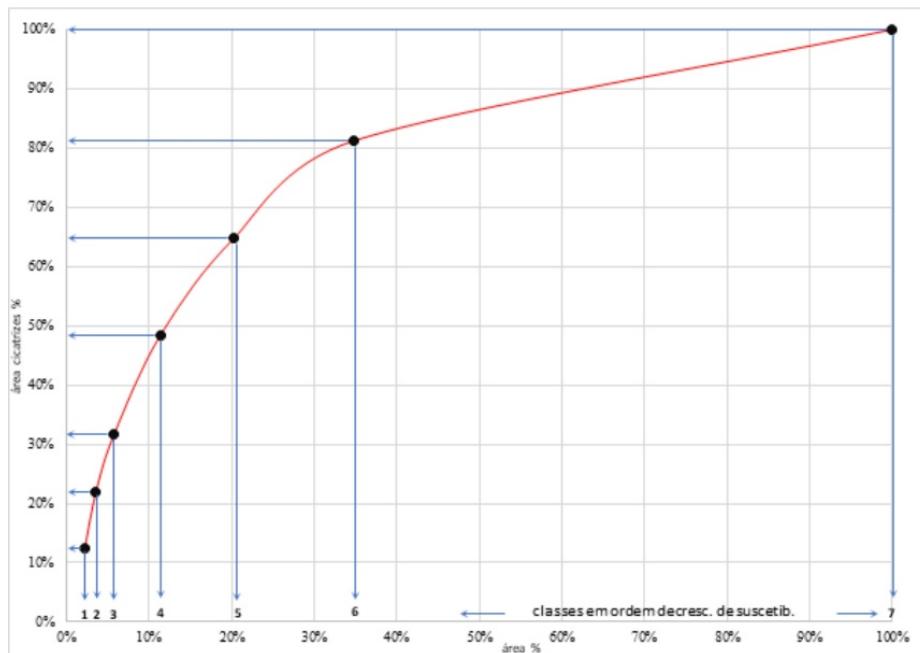


Figura 7 - Curva de validação referente aos resultados da tabela 5, referente ao modelo SHALSTAB (com 7 classes de suscetibilidade) sobre o mapa unidades geomorfo-pedogeológicas

Elaboração do mapa final de suscetibilidade a deslizamentos

Em modelos com um grande número de classes de suscetibilidade fica difícil uma rápida visualização e interpretação das áreas de interesse, sendo necessário uma redução no número de classes.

Tradicionalmente os mapas finais de suscetibilidade são apresentados em três classes, com cores análogas a um semáforo (ou cores semafóricas): vermelho: para o conjunto de classes de alta suscetibilidade; verde: para o conjunto de classes de baixa suscetibilidade e amarelo: para o conjunto

de classes de suscetibilidade intermediária.

Nesse trabalho, para fazer essa reclassificação, adotou-se a seguinte metodologia: primeiro, selecionou-se o modelo de suscetibilidade/mapa geotécnico que apresentou a melhor resposta a partir da análise da curva de validação. Esse modelo foi reclassificado para as três classes semafóricas, vermelho, verde e amarelo que são definidas também a partir da curva de validação (Figura 7), segundo procedimentos descritos posteriormente.

A figura 11 representa a curva de validação para o modelo escolhido, nesse caso, com 12

classes. Assim como no diagrama da figura 11, as 12 classes desse modelo estão dispostas no eixo X em ordem decrescente de suscetibilidade. Considerando-se o formato dessa curva, uniu-se as classes 12 e 11 para comporem a área em vermelho (de mais alta suscetibilidade). Essas duas classes abrangem cerca de 15% da área total, sobre a qual houve uma elevada incidência das cicatrizes (cerca de 50%), por isso são consideradas áreas de alta suscetibilidade.

Nesse modelo, observa-se que apenas cerca de 2% do total de cabeceiras de cicatrizes incidiram sobre as áreas das classes 6, 5, 4, 3, 2 e 1 (de suscetibilidade mais baixa), que representam cerca de 24% da área total. Por esse motivo, essas

classes foram unidas por reclassificação, originando a classe verde, ou de baixa suscetibilidade. Observar que a forma aplana da curva já indica poucas cicatrizes por área.

As áreas das demais classes (10, 9, 8 e 7), foram reclassificadas como classe amarela, de suscetibilidade intermediária.

Finalmente foi gerado um novo modelo ou mapa final de suscetibilidade a deslizamentos, contendo apenas essas três classes semafóricas (Figura 13).

Na figura 8 é apresentado um fluxograma dos processos metodológicos que levaram à elaboração do mapa de suscetibilidade a deslizamentos final.

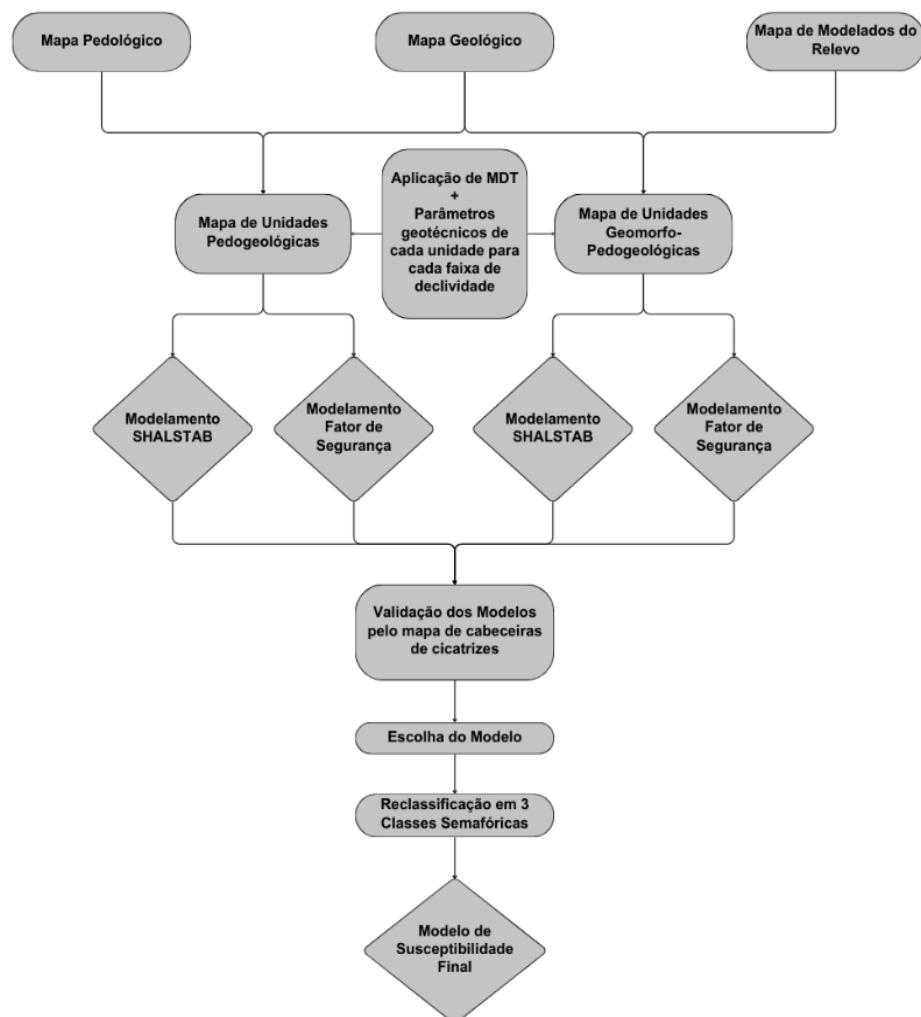


Figura 8 – Fluxograma dos processos metodológicos

RESULTADOS FINAIS E DISCUSSÕES

Conforme descrito nos procedimentos metodológicos acima, foram elaborados quatro modelamentos para suscetibilidade a deslizamentos: 1- modelamento utilizando o método SHALSTAB, considerando-se as unidades do mapa pedogeológico como unidades geotécnicas;

2- modelamento utilizando o método SHALSTAB, considerando-se as unidades do mapa geomorfo-pedogeológico como unidades geotécnicas; 3- modelamento utilizando o Fator de Segurança, considerando-se as unidades do mapa pedogeológico como unidades geotécnicas;

4- modelamento utilizando o Fator de Segurança, considerando-se as unidades do mapa geomorfo-pedogeológico como unidades geotécnicas.

Modelamentos pelo método SHALTAB

Na figura 13a é apresentado o mapa resultante da modelagem pelo método SHALSTAB, considerando as unidades do mapa de unidades geomorfo-pedogeológicas. Nesse modelo, 65,21% das áreas são consideradas incondicionalmente estáveis e saturadas (classe 7 da Tabela 6). Na figura 13b é apresentado o mapa resultante da modelagem pelo método SHALSTAB, considerando as unidades do mapa de unidades pedo-

geológico. Nesse mapa, 55,75% das áreas são consideradas incondicionalmente estáveis e saturadas (classe 7 da Tabela 6). As sete classes dos mapas das figuras 9a e 9b estão em ordem decrescente do grau de suscetibilidade. Na classe incondicionalmente instável, a declividade da encosta é elevada e propícia à ruptura, mesmo se o solo estiver sem saturação. No modelo SHALSTAB – unidades pedogeológicas, estas áreas corresponderam a 3,87%, e no modelo usando as unidades geomorfo-pedogeológicas, corresponderam a apenas 2,15% (classe 1 da Tabela 6).

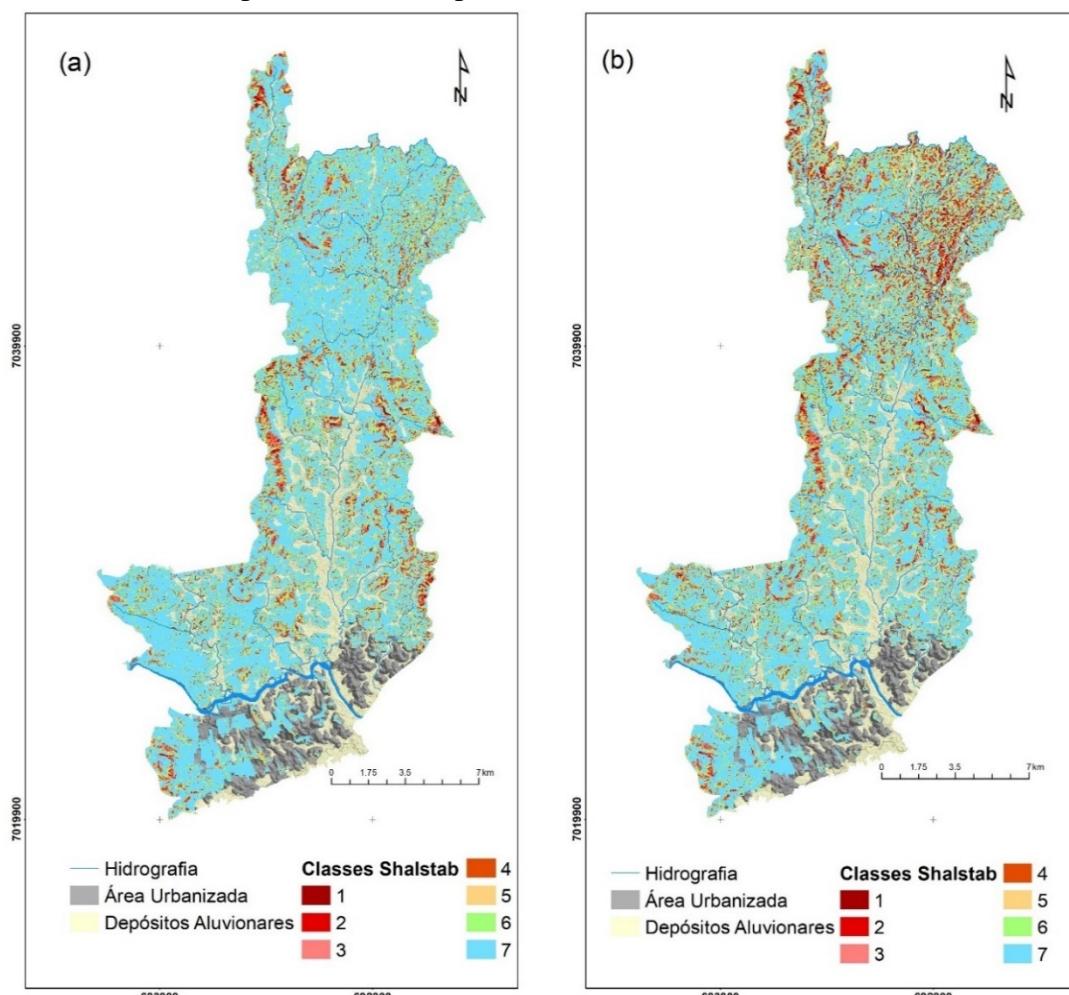


Figura 9 - a) Resultado do modelo SHALSTAB baseado nas unidades geomorfo-pedogeológicas. b) Resultado do modelo SHALSTAB baseado nas unidades pedogeológicas. As unidades estão numeradas de 1 a 7, em ordem crescente do grau de suscetibilidade a deslizamentos.

Tabela 6 - Classes de estabilidade do SHALSTAB por mapeamento geotécnico.

Classe de estabilidade SHALSTAB	Mapeamento pedogeológico	Mapeamento geomorfo-pedogeológico
1 - Incondicionalmente Instável e saturado	3,87%	2,15%
2 - Incondicionalmente Instável e não saturado	2,30%	1,37%
3 - Instável e saturado	3,39%	2,20%
4 - Instável e não saturado	7,75%	5,65%
5 - Estável e não saturado	11,00%	8,93%
6 - Incondicionalmente Estável e não saturado	15,94%	14,48%
7 - Incondicionalmente Estável e saturado	55,75%	65,21%

Na tabela 6 observa-se que a comparação de um mesmo modelo elaborado sob diferentes metodologias de delimitação das unidades geotécnicas apresenta resultados distintos

Modelamentos pelo fator de segurança

A aplicação do modelamento pelo método de Fator de Segurança resulta em 12 classes, com o grau de suscetibilidade crescente (a classe 12)

corresponde a de mais baixo grau de suscetibilidade a deslizamentos, enquanto a classe 1 corresponde a de mais alto grau de suscetibilidade (Tabela 7).

As figuras 10a e 10b trazem, respectivamente, os resultados das simulações por esse modelo, referentes às unidades geomorfo-pedogeológicas e pedogeológicas.

Tabela 7. Classes de estabilidade do Fator de Segurança por unidade geotécnica.

Classe de estabilidade Fator de Segurança	Unidades Pedogeológicas	Unidades Geomorfo- pedogeológicas
12	11,7%	3,8%
11	14,4%	11,3%
10	14,3%	13,9%
9	17,4%	19,8%
8	16,2%	19,2%
7	6,5%	8,3%
6	4,2%	5,7%
5	3,4%	4,1%
4	2,7%	2,9%
3	1,7%	2,2%
2	2,3%	2,5%
1	5,3%	6,3%

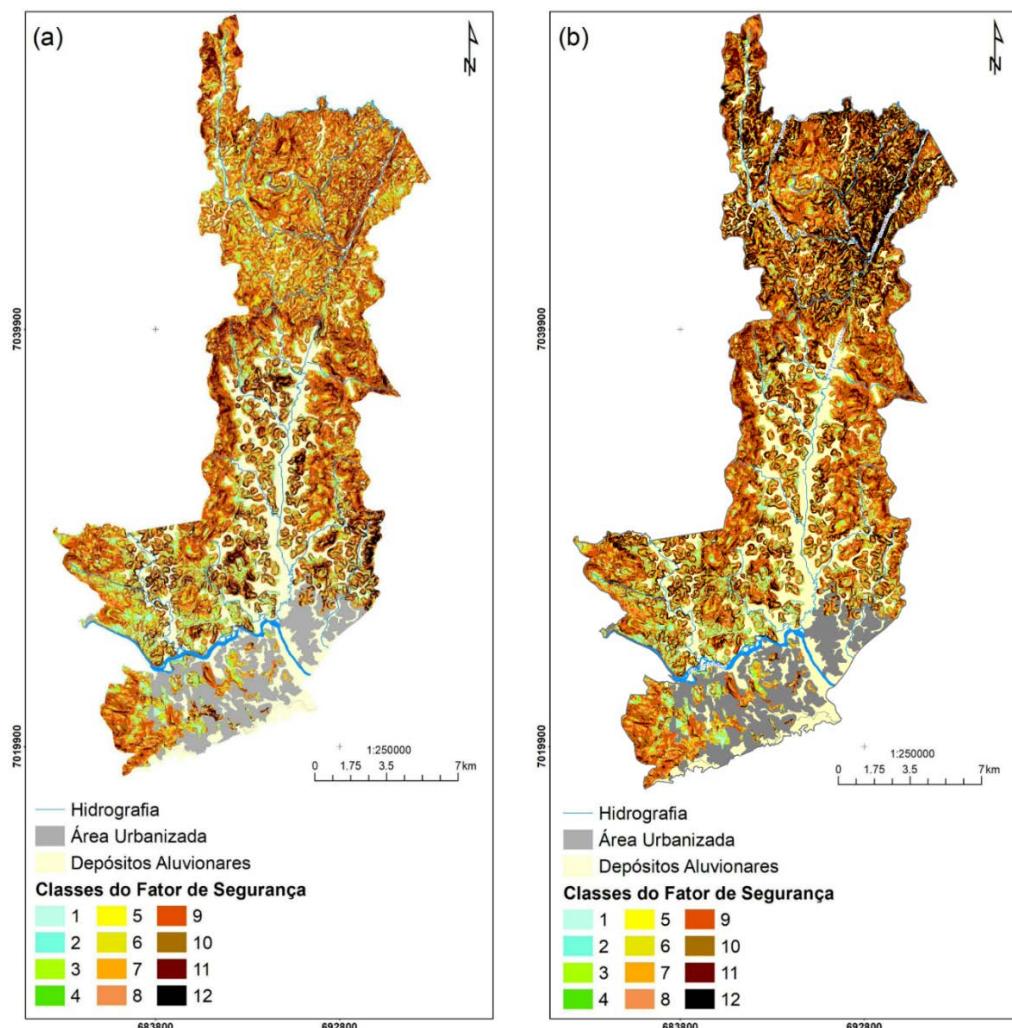


Figura 10 - a) Resultado do modelo Fator de Segurança baseado nas unidades geomorfo-pedogeológicas; b) Resultado do modelamento pelo Fator de Segurança baseado nas unidades pedogeológicas.

Ambas as simulações tiveram resultados com valores muito próximos (Tabela 7), exceto na classe 12, onde a unidade Pedogeológica abrangeu um percentual maior de áreas de baixo Fator de Segurança (11,7%) quando comparada à unidade geomorfo-pedogeológica (3,8%).

Validação dos modelos

O processo de validação visa aferir a eficácia de um modelamento matemático para a previsão de deslizamentos futuros. É uma etapa fundamental, sem a qual os modelos desenvolvidos não podem ser avaliados e, por isso, não devem, tampouco, serem utilizados.

Nesse trabalho todos os quatro cenários gerados são do tipo determinístico, desenvolvidos a partir de parâmetros geotécnicos do solo, como coesão, ângulo de atrito interno, densidade, além de parâmetros geomorfológicos como declividade e área de contribuição (no caso dos modelamentos SHALSTAB). Como as cicatrizes de deslizamentos não foram utilizadas na

elaboração desses modelos, elas podem ser utilizadas para a validação deles, porque se situam em áreas onde houve rupturas no solo, representando, portanto, as áreas de maior suscetibilidade a esses movimentos.

O processo de validação dos modelos foi desenvolvido a partir da superposição do mapa de cabeceiras de cicatrizes (Figura 8), com o mapa de cada um dos quatro modelamentos, gerando quatro curvas de validação, conforme os procedimentos propostos em Chung & Fabri (2003).

Segundo essa proposta, para um modelo ser considerado satisfatório, pelo menos 50% do total de cicatrizes deve estar concentrado nas classes de suscetibilidade mais alta que não devem perfazer mais do que 20% da área total (Chung & Fabri, 2003). A figura 11 apresenta as curvas de validação dos quatro modelamentos desenvolvidos nesse estudo. Foi elaborada a partir dos dados das tabelas 8 e 9.

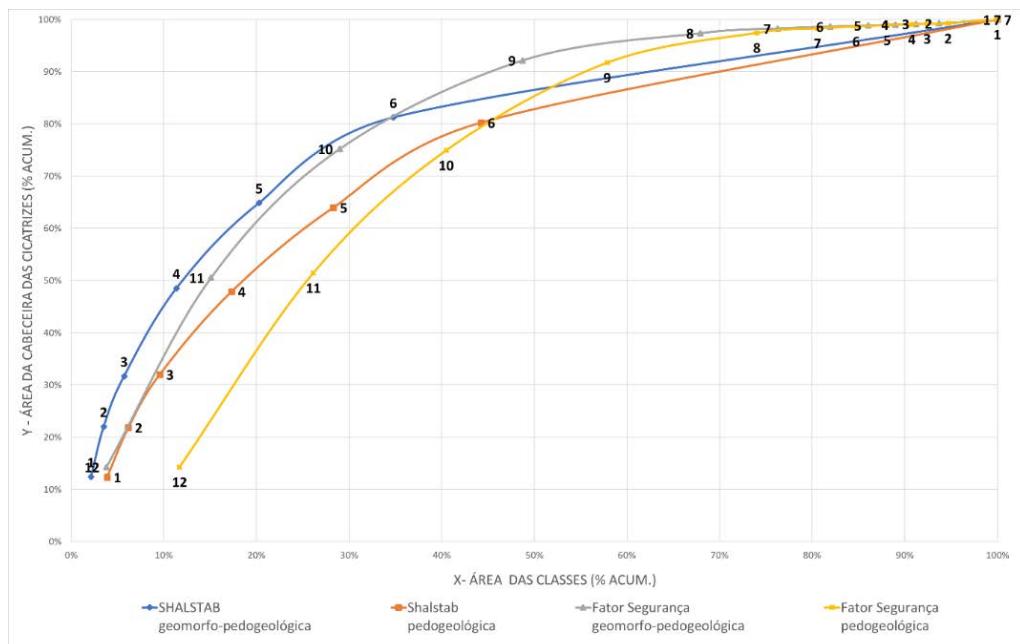


Figura 11 - Curvas de validação dos modelos SHALSTAB e Fator de Segurança. As classes de suscetibilidade estão representadas por pontos, com seus respectivos números.

Tabela 8 - Resultados da validação/verificação do modelo SHALSTAB.

Classe de estabilidade SHALSTAB	Unidades Pedogeológicas		Unidades Geomorfo-pedogeológicas	
	Área de cada classe (% acumulada)	Proporção de cicatrizes em cada classe (% acumulada)	Área de cada classe (% acumulada)	Proporção de cicatrizes em cada classe (% acumulada)
1 - Incond. Instável e sat.	3,87%	12,32%	2,15%	12,38%
2 - Incond. Instável e ñ sat.	6,17%	21,83%	3,52%	22,02%
3 - Instável e sat.	9,56%	32,01%	5,72%	31,68%
4 - Instável e ñ sat.	17,31%	47,88%	11,38%	48,52%
5 - Estável e ñ sat.	28,31%	63,97%	20,31%	64,87%
6 - Incond. Estável e ñ sat.	44,25%	80,24%	34,79%	81,24%
7 - Incond. Estável e sat.	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

Tabela 9 - Resultados da validação/verificação do modelo Fator de Segurança.

Classe de estabilidade Fator de Segurança	Unidade Pedogeológica		Unidade Geomorfo-pedogeológica	
	Área de cada classe (% acumulada)	Proporção de cicatrizes em cada classe (% acumulada)	Área de cada classe (% acumulada)	Proporção de cicatrizes em cada classe (% acumulada)
12	11,71%	14,27%	3,79%	14,28%
11	26,15%	51,43%	15,09%	50,55%
10	40,49%	74,92%	28,98%	75,19%
9	57,88%	91,72%	48,73%	92,16%
8	74,03%	97,43%	67,94%	97,37%
7	80,58%	98,30%	76,29%	98,26%
6	84,76%	98,66%	81,97%	98,63%
5	88,11%	98,89%	86,06%	98,85%
4	90,77%	99,05%	89,00%	98,99%
3	92,43%	99,17%	91,24%	99,14%
2	94,69%	99,24%	93,69%	99,22%
1	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

Observa-se, nessa figura 11, que apenas o modelamento pelo Fator de Segurança baseado em unidades pedogeológicas não atende a essa assertiva.

Na tabela 8 estão as percentagens simples e acumuladas de cabeceiras de cicatrizes que recaem sobre cada uma das sete classes do modelo. Na figura 11 e tabela 8, observa-se que o modelamento SHALTAB utilizando unidades pedogeológicas mostra que cerca de 53% das cicatrizes caem nos primeiros 20% da área do modelo (áreas mais suscetíveis).

Já o modelamento SHALSTAB utilizando unidades geomorfo-pedogeológicas, apresentou cerca de 64% das cicatrizes nos primeiros 20% de área, correspondentes às áreas/classes de maior suscetibilidade, sendo, portanto, um resultado bem melhor que o anterior. Novamente, assim como no cenário SHALSTAB – pedogeológicas, também apresenta um bom resultado para as áreas mais suscetíveis, mas perde na definição das áreas de segurança, pois 18,76% das cicatrizes ocorreram na classe 7 – Incondicionalmente estável e saturada, que corresponde a 65,21% da área do modelo.

No cenário de suscetibilidade pelo Fator de Segurança – unidades pedogeológicas, cerca de 37% das cicatrizes coincidem com primeiros 20% da área do modelo (áreas mais suscetíveis) (Figura 15). Embora tenha sido o pior dos quatro cenários quanto à previsão de áreas mais suscetíveis, a vantagem deste modelo é que apenas 2,57% das cicatrizes ocorreram nas sete classes finais, definindo assim as áreas de segurança de forma muito mais precisa do que os modelos SHALSTAB.

O cenário Fator de Segurança – unidades geomorfo-pedogeológicas, apresentou um resultado

de aproximadamente 61% das cicatrizes nos primeiros 20% da área do modelo correspondentes às áreas mais suscetíveis (Figura 11), portanto, com um resultado bem melhor do que o cenário anterior.

Além disso, apresentou um bom resultado para a definição das áreas de segurança, uma vez que 2,63% de cicatrizes estão localizadas nas 7 classes finais do modelo, que correspondem às classes mais estáveis.

Mapa final de suscetibilidade a deslizamentos

Para compor o mapa final de suscetibilidade a deslizamentos do setor norte do município de Blumenau, optou-se por utilizar o cenário baseado no Fator de Segurança usando as unidades geomorfo-pedogeológicas, uma vez que suas curvas de validação mostraram ser esse o modelo que alcançou os melhores resultados, considerando-se tanto as classes de baixa como de alta suscetibilidade, embora nessas últimas, tenha obtido resultados pouco inferiores do que o cenário SHALSTAB – unidades geomorfo-pedogeológicas. A figura 12 apresenta a curva de validação do cenário Fator de Segurança considerando as unidades geomorfo-pedogeológicas, dividida em três classes de suscetibilidade, marcadas por cores semafóricas: suscetibilidade alta (em vermelho), média (em amarelo) e baixa (em verde), baseadas no formato dessa curva.

Observa-se que 50,55% das cicatrizes de deslizamentos ocorreram em 2 classes do modelo (Classes 12 e 11) que correspondem a apenas 15,09% da área. A área dessas duas classes foi definida como de Alta Suscetibilidade, as quais correspondem à cor vermelho. As classes de 7 a 1 do modelo correspondem a 32,06% da área total, onde ocorreram apenas 2,63% das cicatrizes,

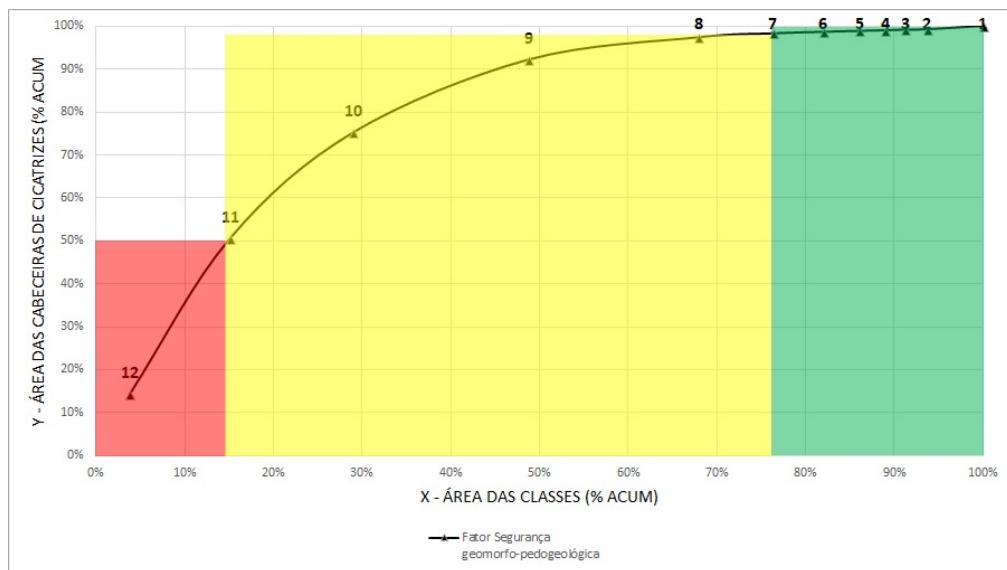


Figura 12 - Classes de suscetibilidade do modelo Fator de Segurança – geomorfo-pedogeológicas. Classes de alta, média e baixa suscetibilidade, respectivamente nas cores vermelho, amarelo e verde. Observar o agrupamento dessas classes em cores semafóricas do mapa final (Figura 12).

neste caso, essas áreas foram de Baixa Suscetibilidade foram consideradas áreas de segurança, recebendo a cor verde.

As demais áreas, correspondentes às classes 10, 9 e 8, foram consideradas de média suscetibilidade (cor amarela), onde 46,87% das cicatrizes distribuíram-se por 52,84% da área

total, representada por essas 3 classes.

Como resultado final, obteve-se o modelo pelo Fator de Segurança em unidades geomorfo-pedogeológicas em três classes de suscetibilidade com cores semafóricas (Figura 13), obtido pela reclassificação da imagem do mapa da figura 10a por essas três classes.

CONCLUSÕES

Nesse trabalho foram aplicados modelamentos matemáticos em cenários utilizando SHALSTAB, sobre unidades geomorfo-pedogeológicas ou pedogeológicas e em cenários utilizando o Fator de Segurança sobre unidades geomorfo-pedogeológicas ou pedogeológicas, para determinar áreas de maior ou menor suscetibilidade a rupturas que originam deslizamentos. Esses modelamentos, baseados em parâmetros geotécnicos do solo de unidades geotécnicas previamente determinadas, foram validados pelo cruzamento, em ambiente SIG, desses modelos com mapa de cabeceiras de cicatrizes de deslizamentos que ocorreram na área de estudos. O resultado desta validação, baseado na análise das curvas nos diagramas propostos em Chung & Fabri (2003), mostrou que os quatro modelos elaborados apresentam bom poder de previsão, especialmente para áreas de mais alta suscetibilidade a deslizamentos. Permitiram também identificar o modelo com melhores resultados.

Observou-se que as duas simulações em unidades geomorfo-pedogeológicas e pedogeológicas elaboradas pelo método SHALSTAB foram adequadas para a identificação das classes

de maior suscetibilidade, embora tenham apresentado resultados limitados para a determinação das áreas de baixa suscetibilidade, não permitindo a delimitação de áreas de segurança. Isso se deve ao fato de que, na área de estudos, as sete classes de suscetibilidade abrangem grandes áreas e não são bem dimensionadas para as áreas de menor suscetibilidade.

Já nas duas simulações elaboradas com base no Fator de Segurança (respectivamente sobre as unidades geomorfo-pedogeológicas e pedogeológicas), a distribuição mais uniforme das doze classes de suscetibilidade permite a identificação tanto de áreas de alta como de baixa suscetibilidade.

Por outro lado, as curvas de validação mostraram também que a caracterização das unidades geotécnicas em unidade de cunho geomorfo-pedogeológico apresentou melhores resultados com relação às curvas de validação quando comparadas às unidades pedogeológicas.

As curvas de validação pelas cicatrizes levaram também a escolha do modelamento baseado no Fator de Segurança sobre unidades geomorfo-pedogeológicas como o que apresentou melhores resul-

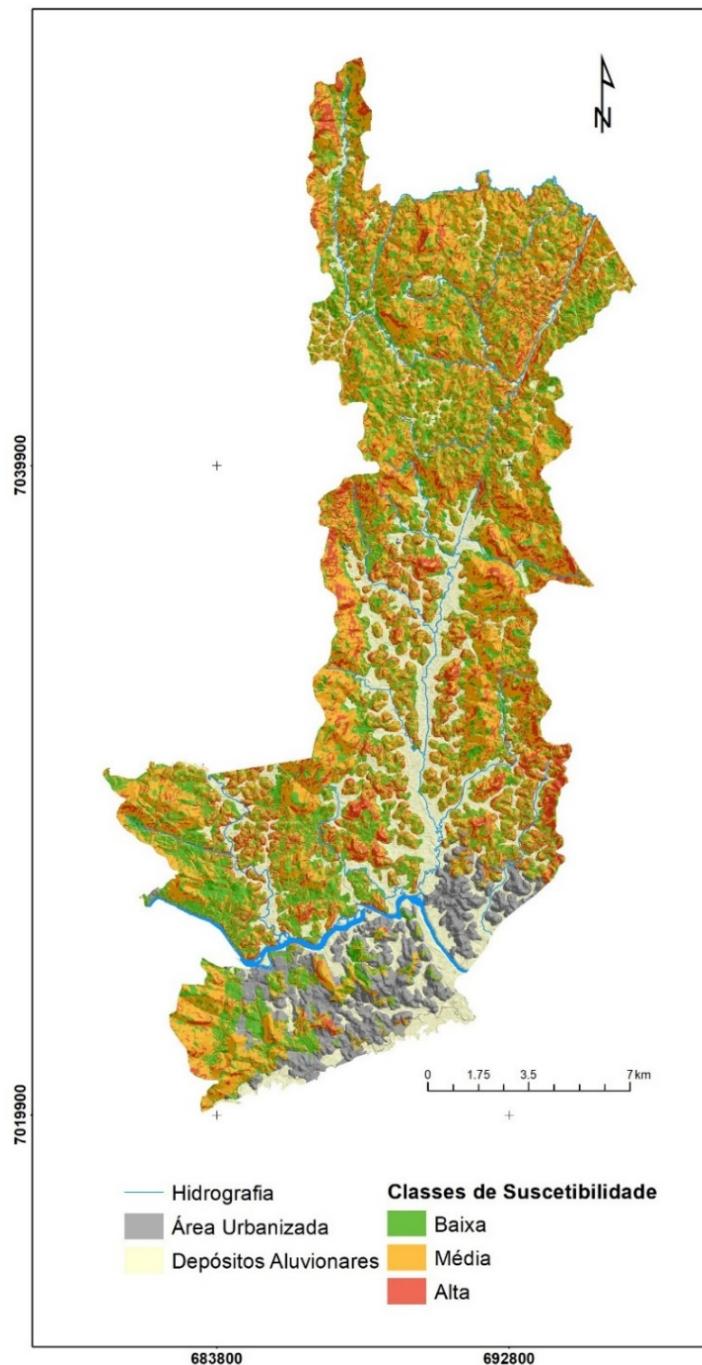


Figura 13 - Mapa final de suscetibilidade a deslizamentos no setor norte do Município de Blumenau, SC.

tados tanto na delimitação de áreas de maior suscetibilidade como, principalmente, das áreas de segurança.

Diferentemente de outros trabalhos que utilizam modelos matemáticos determinísticos também baseados nos parâmetros geotécnicos do solo, a reclassificação em áreas de alta, média e baixa suscetibilidade foi determinada estatisticamente também por meio dessas curvas de validação elaboradas considerando-se a ocorrência natural de cicatrizes de deslizamentos.

Considera-se que os modelos, embora tenham sido construídos com base principalmente em parâmetros geotécnicos, é a natureza, evidenciada pela

ocorrência de deslizamentos, que dita se as áreas são mesmo de alta, média ou baixa suscetibilidade.

Como foi aplicada, essa metodologia é inédita e apresenta grandes vantagens em relação àquelas em que o limite entre áreas de alta e média suscetibilidade é arbitrado, por exemplo, pelo fator de segurança 1,5 ou pelas classes predefinidas do modelo SHALSTAB.

Portanto, sugere-se que estudos de suscetibilidade baseados em modelos matemáticos sejam, sempre que possível, validados e reclassificados com base nas cicatrizes de deslizamentos, principalmente quando aplicados a áreas de grande extensão.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos à Fundação de Ensino e Engenharia de Santa Catarina (FEESC) por subsidiar esta pesquisa, à Universidade Federal de Santa Catarina UFSC, e aos integrantes do Projeto intitulado “Elaboração de cartas de aptidão à urbanização frente aos desastres naturais em municípios do estado de Santa Catarina” financiado pelo Ministério das Cidades.

REFERÊNCIAS

- AUMOND, J.J.; SEVEGNANI, L.; TACHINI, M.; BACCA, L.E. Condições naturais que tornam o Vale do Itajaí sujeito aos desastres. In: FRANK, B.; SEVEGNANI, L. (Org.). **Desastre de 2008 no Vale do Itajaí: água, gente e política**. Blumenau: Agência de Água do Vale do Itajaí, p. 23-37. 2009.
- BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico 2010**. Disp.: <https://censo2010.ibge.gov.br/resultados.html>. Acesso em: 10 jan. 2018.
- CHUNG, C.J.F. & FABBRI, A.G. Validation of spatial prediction models for landslide hazard mapping. **Natural Hazards**, v. 30, n. 1, p. 451-472, 2003.
- DAVISON DIAS, R. **Aplicação de pedologia e geotecnia no projeto de fundações de linhas de transmissão**. Rio de Janeiro. 1987. 364 p. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- DAVISON DIAS, R. Proposta de metodologia de definição de carta geotécnica básica em regiões tropicais e subtropicais. São Paulo, **Revista IG**, p. 51-55, 1995.
- EECKHAUT, V.D.M.; VANWALLEGHEM, T.; POESEN, J.; GOVERS, G.; VERSTRAETEN, G.; VANDEKERCKHOVE, L. Prediction of landslide susceptibility using rare events logistic regression: a case study in the Flemish Ardennes (Belgium). **Geomorphology**, v. 76, n. 3, p. 392-410, 2006.
- FERNANDES, N.F. & AMARAL, C.P. Movimento de massa: uma abordagem geológica-geomorfológica. In: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. **Geomorfologia e meio ambiente**. 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.
- FERNANDES, N.F.; GUIMARÃES, R.F.; GOMES, R.A.T.; VIEIRA, B.C.; MONTGOMERY, D.R.; GREENBERG, H. Condicionantes geomorfológicos dos escorregamentos nas encostas: avaliação de metodologias e aplicação de modelo de previsão de áreas suscetíveis. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 2, n. 1, p. 51-71, 2001.
- GUIDICINE, G. & NIEBLE, C.M. **Estabilidade de taludes naturais e de escavação**. São Paulo: Edgard Blücher, 1976.
- MATTEDI, M.A.; FRANK, B.; SEVEGNANI, L.; BOHN, N. O desastre se tornou rotina... In: B. Frank, & L. Sevegnani (Orgs.). **Desastre de 2008 no Vale do Itajaí: água, gente e política**. Blumenau: Agência de Água do Vale do Itajaí, p. 13-21, 2009.
- MICHEL, G.P. **Estudo de escorregamentos na bacia do Rio Cunha, Rio dos Cedros/SC, com os modelos SHALSTAB e SINMAP**. Florianópolis, 2011. 84 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental), Universidade Federal de Santa Catarina.
- MONTGOMERY, D.R. & DIETRICH, W.E. A physically-based model for topographic control on shallow landsliding. **Water Resources Research**, v. 30, n. 4, p. 1153-1171, 1994.
- NERY, J.T.; BALDO, M.C.; MARTINS, M.D.L.O.F. O comportamento da precipitação na Bacia do Itajaí. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 22, p. 1429, 2000.
- PERUZZO, R.S. **Análise da suscetibilidade a deslizamentos no setor norte do município de Blumenau - SC**. Florianópolis. 2018. 165 p. Dissertação (Mestrado em Desastres Naturais), Universidade Federal de Santa Catarina.
- SBROGLIA, R.M. **Mapeamento geotécnico e das áreas suscetíveis a deslizamentos na microbacia do Ribeirão do Baú, Ilhota/SC**. Florianópolis. 2015. 185 p. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Federal de Santa Catarina.
- SBROGLIA, R.M. **Análise da distribuição espacial da resistência ao cisalhamento dos solos no mapeamento de áreas suscetíveis a deslizamentos**. Florianópolis. 2022. 378 p. Tese (Doutorado em Geografia), Universidade Federal de Santa Catarina.
- SBROGLIA, R.M.; TOMAZZOLI, E.R.; DOS REIS HIGASHI, R.A. Mapeamento de áreas suscetíveis a deslizamentos translacionais com o uso da ferramenta ASA - Automatic SHALSTAB Analysis. In: XII CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS COBRAE 2017, Florianópolis. **Anais....** Florianópolis: COBRAE, 2017. v. 1, n. 1, p. 1-8.
- SELBY, M.J. **Hillslope materials & processes**. New York: Oxford University Press, 1993. 451 p.
- SINPDEC. **Relatório Gerencial: Danos Informados**. 2008. Data Inicial: 01/11/2008; Data Final: 01/12/2008. Disp.: <https://s2id.mi.gov.br/paginas/relatorios/>. Acesso em: 12 abr. 2017.
- TOMAZZOLI, E.R.; PARIZOTO, D.G.V.; ABREU, J.; PELLERIN, J.R.G.M. **Análise e mapeamento das áreas de risco a movimentos de massa e inundações nos municípios de Gaspar, Ilhota e Luís Alves (Complexo Morro do Baú) SC**. Departamento de Geociências-UFSC, Florianópolis. 142 p.
- UFSC- MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Elaboração de cartas de aptidão à urbanização frente aos desastres naturais no município de Blumenau, estado de Santa Catarina: relatório final**. Florianópolis: UFSC, 2018. (Relatório inédito).
- VIEIRA, B.C. **Previsão de escorregamentos translacionais rasos na Serra do Mar (SP) a partir de modelos matemáticos em bases físicas**. Rio de Janeiro, 2007. 213 p. Tese (Doutorado em Geografia), Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- WILDNER, W.; CAMOZZATO, E.; TONIOLI, J.A.; BINOTTO, R.B.; IGLESIAS, C.M.F.; LAUX, J.H. **Mapa geológico do estado de Santa Catarina**. Porto Alegre: CPRM, 2014. Escala 1:500.000. Programa Geologia do Brasil, Subprograma de Cartografia Geológica Regional.
- ZUQUETTE, LV. **Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para as condições brasileiras**. São Carlos, 1987. v. 3. 1987. 657 p. Tese (Doutorado em Geotecnia), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Submetido em 21 de abril de 2025
Aceito para publicação em 18 de agosto de 2025