

Trabalho de Conclusão de Curso

Curso de Graduação em Geologia

**AVALIAÇÃO DOS CONDICIONANTES GEOLÓGICOS E FISIOGRÁFICOS NA  
DINÂMICA DE ESCORREGAMENTOS NA SERRA DO MAR: ESTUDO DE CASO  
NAS SUB- BACIAS DOS RIOS PEREQUÊ E MOGI, CUBATÃO (SP)**

Gabriela Marques Florencio

Prof. Dr. Fábio Augusto Gomes Vieira Reis (orientador)

M.<sup>a</sup> Beatriz Marques Gabelini (co-orientadora)

Rio Claro (SP)

2017

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
Câmpus de Rio Claro

GABRIELA MARQUES FLORENCIO

AVALIAÇÃO DOS CONDICIONANTES GEOLÓGICOS E  
FISIOGRÁFICOS NA DINÂMICA DE ESCORREGAMENTOS  
NA SERRA DO MAR: ESTUDO DE CASO NAS SUB- BACIAS  
DOS RIOS PEREQUÊ E MOGI, CUBATÃO (SP)

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas -  
Câmpus de Rio Claro, da Universidade  
Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para  
obtenção do grau de Geólogo.

Rio Claro - SP  
2017

624.151 Florencio, Gabriela Marques  
F632a Avaliação dos condicionantes geológicos e fisiográficos na dinâmica de escorregamentos na Serra do Mar : estudo de caso nas sub-bacias dos rios Perequê e Mogi, Cubatão (SP) / Gabriela Marques Florencio. - Rio Claro, 2017  
67 f. : il., figs., gráfs., tabs., quadros, fots., mapas + 2 mapas

Trabalho de conclusão de curso (Geologia) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
Orientador: Fábio Augusto Gomes Vieira Reis  
Coorientadora: Beatriz Marques Gabelini

1. Geologia de engenharia. 2. Geotecnia. 3. Escorregamentos. 4. Atributos geológico-geotécnicos. 5. Serra do Mar. 6. Cubatão. I. Título.

Ficha Catalográfica elaborada pela STATI - Biblioteca da UNESP  
Campus de Rio Claro/SP - Ana Paula Santulo C. de Medeiros / CRB 8/7336

GABRIELA MARQUES FLORENCIO

AVALIAÇÃO DOS CONDICIONANTES GEOLÓGICOS E  
FISIOGRÁFICOS NA DINÂMICA DE ESCORREGAMENTOS NA  
SERRA DO MAR: ESTUDO DE CASO NAS SUB- BACIAS DOS  
RIOS PEREQUÊ E MOGI, CUBATÃO (SP)

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Instituto de Geociências e  
Ciências Exatas - Câmpus de Rio Claro,  
da Universidade Estadual Paulista Júlio  
de Mesquita Filho, para obtenção do grau  
de Geólogo.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Fábio Augusto Gomes Vieira Reis

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Paulina Setti Riedel

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Vania Silvia Rosolen

Rio Claro, 28 de novembro de 2017.

Assinatura do(a) aluno(a)

assinatura do(a) orientador(a)

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu orientador, Prof. Dr. Fábio Reis, por toda dedicação, ensinamentos, paciência e orientações que possibilitaram que eu realizasse esse trabalho.

À minha co-orientadora, M.<sup>a</sup> Beatriz Marques Gabelini, por me amparar nos momentos difíceis e ser mais que uma guia, mas sim uma grande amiga, durante essa jornada.

À FAPESP pelo financiamento do projeto, auxílios financeiros e bolsa de estudo que me auxiliaram no desenvolvimento desta pesquisa.

A todos os membros da banca, por aceitarem o convite e contribuírem imensamente para essa realização.

Aos colegas do GEMA, em especial a Natália e o Victor, que trabalharam no mesmo projeto, realizaram campos em conjunto e que de muitas formas contribuíram para tornar esse projeto possível.

Aos funcionários e professores dos Departamentos de Geologia, em especial o Alan e o Prof. Dr. Zaine, que auxiliaram diretamente no desenvolvimento da pesquisa.

Aos meus amigos Helen, Gabriela, Fernanda, Wallace, Melissa e Mariana, pelas conversas e desabafos que tornaram essa experiência mais leve e inesquecível.

À minha família, em especial meus pais, Graça e Wagner, por todo apoio e incentivo, por me mostrarem meu potencial, por acreditarem em mim quando eu mesma não acreditava.

Ao amor da minha vida, Thalles, pela compreensão nos momentos difíceis, pela paciência nas horas de stress, por todo apoio, carinho, incentivo durante essa etapa e por estar sempre ao meu lado.

Por fim, agradeço a Deus, fonte de todas as minhas forças.

## RESUMO

A ocorrência de escorregamentos no litoral paulista é parte integrante do desenvolvimento natural das vertentes. O município de Cubatão (SP) detém um preocupante histórico de ocorrência desse processo geológico, como evidenciado nos eventos ocorridos em janeiro de 1985. O presente estudo analisa a suscetibilidade das bacias dos Rios Perequê e Mogi à ocorrência de escorregamentos, por meio da avaliação dos atributos geológico-geotécnicos (declividade, hipsometria e geologia) atuantes na dinâmica desse processo, resultando na elaboração de um mapa de suscetibilidade na escala 1:50.000. A Compartimentação Fisiográfica auxiliou nas etapas iniciais para a compreensão do meio físico, resultando em cinco unidades fisiográficas. A análise das características das unidades aponta que as unidades I e IV são as mais suscetíveis à ocorrência de escorregamentos, apresentando altas declividades e grandes amplitudes topográficas. Para a confecção do mapa de suscetibilidade final, foram gerados seis cenários de suscetibilidade, com atribuição de pesos diferentes para cada condicionante, acrescidos de pesos distintos para cada classe de cada fator. A classe de declividade 12 a 27° recebeu maior peso por contar com a maior concentração de cicatrizes, assim como a classe hipsométrica 400 a 500 metros e a litologia migmatitos. O cenário escolhido como mais representativo foi o cenário A (60% declividade, 30% hipsometria e 10% geologia). Para área de estudo, então, é possível afirmar que a declividade é o fator condicionante mais influente, seguida do hipsométrico e geológico respectivamente.

**Palavras-chave:** Escorregamentos. Atributos geológico-geotécnicos. Serra do Mar. Cubatão.

## **ABSTRACT**

The occurrence of landslides on the coast of São Paulo is part constituent of the natural development of the slopes. The city of Cubatão (SP) has a worrying history of this geological process occurrence, as it is demonstrated by the events that occurred in January 1985. The present study analyzes the susceptibility of the Perequê and Mogi Rivers basins to the occurrence of landslides, through the evaluation of geological and geotechnical attributes (slope, hypsometry and geology) that are active in the dynamics of this process, resulting in a map of susceptibility on the scale 1: 50.000. The Physiographic Compartmentalization was the base, in the initial stages, for the understanding of the physical environment, it resulted in five physiographic units. The analysis of the characteristics of the units indicates that the units I and IV are the most susceptible to the occurrence of landslides, with high slopes and large topographic amplitudes. To build the final susceptibility map, six susceptibility scenarios were generated, with different weight assignments for each conditioner, and different weights for each class of each factor. The class of slope 12 to 27 ° received greater weight because it had the highest concentration of scars, as well as the hypsometric class 400 to 500 meters and the lithology of migmatites. The most representative scenario was scenario A (60% slope, 30% hypsometry and 10% geology). For the studied area, it is possible to affirm that slope is the most important conditioning factor, followed by hypsometric and geological factors respectively.

**Keywords:** Landslide. Geological-geotechnical attributes. Serra do Mar. Cubatão.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>07</b>
1.1 Objetivos.....	08
1.2 Área de Estudo.....	08
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>10</b>
2.1 Movimentos de massa e suas classificações.....	10
2.2 Escorregamentos.....	13
2.2.1 Fatores condicionantes aos movimentos.....	15
2.2.2 Análise de Suscetibilidade.....	19
<b>3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>20</b>
3.1 Geologia.....	20
3.1.1 Sequência Arqueana-Proterozoica.....	22
3.1.1.1 Complexo Costeiro.....	22
3.1.1.2 Complexo Embu – Grupo Açungui.....	23
3.1.1.3 Complexo Pilar – Grupo Açungui.....	23
3.1.2 Sequência Fanerozoica.....	23
3.2 Geomorfologia.....	24
3.3 Clima.....	25
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>27</b>
4.1 Levantamento Bibliográfico.....	27
4.2 Aquisição, organização e elaboração da base cartográfica.....	27
4.3 Trabalhos de Campo.....	33
4.4 Simulação de Cenários de Suscetibilidade.....	33
4.5 Validação dos Cenários e Métodos.....	35

<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>36</b>
5.1 Modelo Digital de Elevação, Mapas Hipsométrico e de Declividade.....	36
5.2 Mapa de Uso e Ocupação da Terra.....	41
5.3 Mapa de Compartimentação Fisiográfica.....	43
5.3.1 Unidade I – Ortognaisses, milonitos e xistos migmatíticos da Zona da Serra do Mar.....	45
5.3.2 Unidade II – Gnaisses e migmatitos dos Morros isolados da Zona da Baixada Litorânea.....	47
5.3.3 Unidade III – Milonitos e xistos migmatíticos da Zona do Planalto Paulista.....	47
5.3.4 Unidade IV – Rochas ígneas e metamórficas da Zona da Serra do Mar.....	48
5.3.5 Unidade V – Sedimentos inconsolidados da Zona da Baixada Litorânea.....	48
5.3.6 Análise das Unidades Fisiográficas.....	49
5.4 Mapas de Suscetibilidade.....	50
5.5 Validação dos cenários e dos métodos.....	59
<b>6 CONCLUSÕES.....</b>	<b>61</b>
<b>7 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>62</b>
<b>APÊNDICE 1.....</b>	<b>67</b>
<b>APÊNDICE 2.....</b>	<b>68</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Os movimentos gravitacionais de massa são caracterizados pelas quedas de blocos, corridas de massa, escorregamentos e rastejos (creeping) ocorrem em diferentes escalas de tempo e espaço, como parte da evolução natural das encostas de um relevo (VARNES, 1984; INFANTIL JR & FORNASARI FILHO, 1998; GUZZETTI et al., 1999; SESTINI, 2000).

A ocorrência de movimentos de massa, de modo particular os escorregamentos, é evidente nas áreas de climas tropicais e subtropicais com altas taxas pluviométricas e temperaturas mais elevadas, sobretudo em áreas com altas declividades. Desse modo, a região da Serra do Mar por contar com declividades médias de 30-35° e alto regime de chuvas em épocas úmidas, mostra-se alvo de análise em vista da possibilidade de ocorrência desse fenômeno (IPT, 1986; TATIZANA et al., 1987a).

A confluência dos condicionantes naturais do meio físico, como o geológico e geomorfológico, com a intervenção antrópica, refletida através das mudanças de padrões climáticos, contínuo desmatamento e o crescimento desordenado das cidades, tem levado a uma maior ocorrência de escorregamentos nas encostas dos morros. Esses eventos são altamente prejudiciais à população, podendo acarretar a destruição de casas, rodovias, dutos e barragens, e principalmente consequências sobre a vida humana, expressas em números de mortos e feridos (MONTGOMERY & DIETRICH, 1994; DIETRICH et al., 1998; GOETZ et al., 2011). A fim de prever tais processos e reduzir seus respectivos impactos sociais e econômicos, torna-se imprescindível o mapeamento geotécnico do local e a elaboração da Carta Geotécnica correspondente.

Para a elaboração da Compartimentação Fisiográfica é necessário levantar, avaliar e analisar atributos e/ou elementos que caracterizam o meio físico (ZUQUETTE, 1993, SESTINI, 2000; GOETZ et al., 2011). Trata-se de representar em meio cartográfico os componentes geológicos e fisiográficos significativos na suscetibilidade de escorregamentos, auxiliando no uso e ocupação da terra e/ou subsolo em projetos quando aplicados ao planejamento territorial, construções civis ou estudo ambiental.

## **1.1 Objetivos**

O objetivo central é analisar e interpretar a importância relativa dos principais condicionantes geológicos e fisiográficos na dinâmica dos processos de escorregamentos nas bacias dos Rios Perequê e Mogi, no município de Cubatão (SP). Como objetivos específicos são definidos os seguintes:

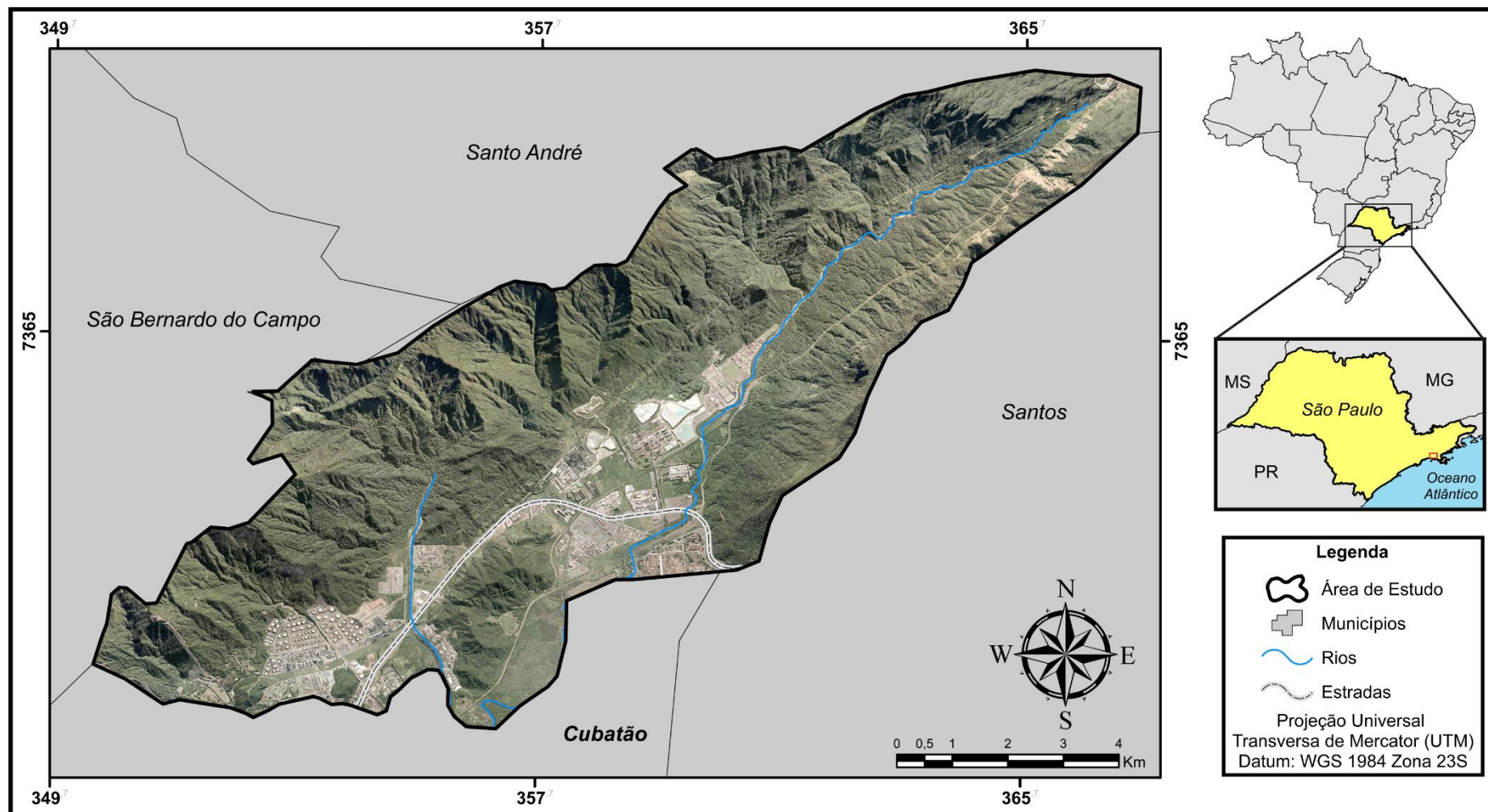
- Avaliação dos principais condicionantes da área de estudo, por meio do mapeamento de suscetibilidade na escala 1:50.000.
- Correlação das cicatrizes de escorregamentos na área de estudo com os atributos mapeados.

## **1.2 Área de Estudo**

O município de Cubatão registra episódios recorrentes de escorregamentos. Segundo Couto (2003), até 1962 os registros contavam apenas com eventos localizados na bacia do Rio Cubatão, contudo, durante as décadas de 1960, 1970 e 1980 os escorregamentos tornaram-se frequentes também nas bacias dos rios Perequê (275 ocorrências entre 1962 e 1985) e Mogi (890 ocorrências entre 1962 e 1985).

Tal continuidade de ocorrências em ambas as bacias revela uma suscetibilidade da área ao evento, uma vez que, por definição, a suscetibilidade é um conceito que se refere a locais onde esses eventos comumente acontecem (GUZZETTI et al., 2005; VARNES, 1984). Desse modo, as bacias dos rios Perequê e Mogi foram escolhidas como região de estudo (Figura 1).

Figura 1: Área de Estudo localizada no município de Cubatão (SP)



Fonte: Imagem aérea da EMPLASA (2011).

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os conceitos nos quais o presente trabalho encontra-se embasado são apresentados a seguir, englobando definições e classificações de movimentos de massa, com enfoque nos escorregamentos e seus respectivos fatores condicionantes.

### 2.1 Movimentos de massa e suas classificações

Segundo Augusto Filho (1994), os movimentos gravitacionais de massa definem-se como deslocamentos induzidos pela aceleração gravitacional, exceto aqueles em que o material é transportado diretamente por água, gelo, neve, aos quais são denominados processos de transporte de massa.

A primeira classificação de movimentos de massa com vasta aceitação mundial corresponde ao trabalho de Sharpe (1938). Tal classificação correlaciona o tipo de movimento e a velocidade com o tipo de material transportado (Quadro 1). Entretanto, a abordagem de Sharpe (1938) não se aplica totalmente ao meio físico encontrado no Brasil, uma vez que foi desenvolvida em um ambiente com condições distintas das encontradas em território nacional.

A proposta de Sharpe (1938) serviu de base para classificações posteriores, entre algumas a de Varnes (1978), no cenário mundial, e a de Augusto Filho (1992) em âmbito nacional.

**Quadro 1:** Quadro sintético da classificação de Sharpe (1938) dos movimentos de massa

	MOVIMENTO		MATERIAL TRANSPORTADO				
	TIPO	VEL.	GELO	SOLO ou ROCHA		ÁGUA	
			pred. GELO	SOLO ou ROCHA com gelo	SOLO ou ROCHA secos ou com quantidades reduzidas de gelo ou água	SOLO ou ROCHA com água	predomina ÁGUA
com FRENTE LIVRE DE MOVIMENTAÇÃO	ESCOAMENTOS	Geralmente Imperceptível Lento a Rápido	Transporte Glacial	Rocha detrito p/ geleira	Rastejo de Rocha		Transporte Fluvial
					Rastejo de Tálus		
	ESCORREGAMENTO	Perceptível Rápido Lento a Rápido		Solifluxão	Rastejo de Solo	Solifluxão	
			Avalanche de Detritos		Corrida de Solo	Corrida de Lama	Avalanche de Detritos
sem FRENTE LIVRE	Escorramento ou Escorregamento	Muito Rápido		↓	Escorregamento Rotacional	↓	
					Escorregamento de Detritos		
					Queda de Detritos		
					Escorregamento de Rocha		
					Queda de Rocha		
					Subsidência		

Fonte: Guidicini & Nieble (1984).

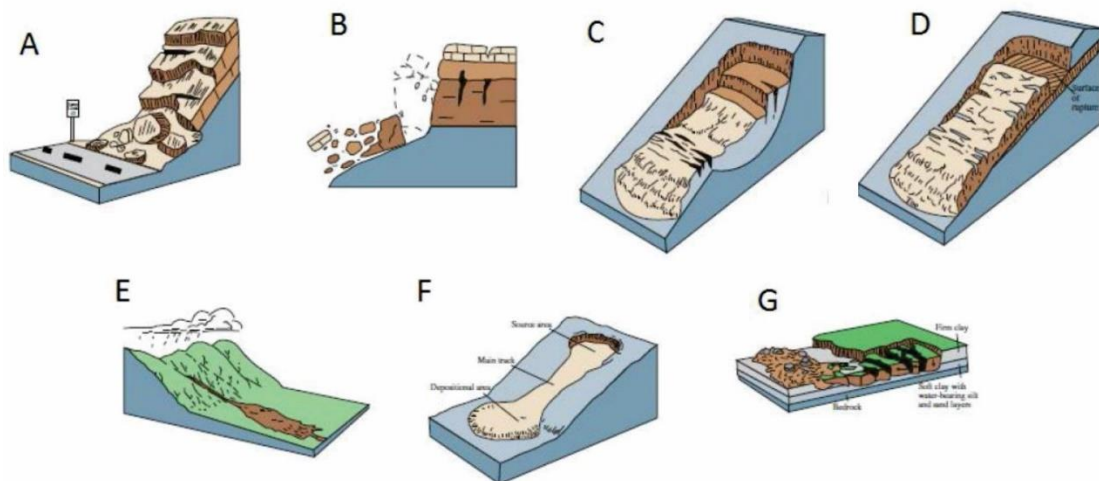
A classificação proposta por Varnes (1978) é a mais utilizada, sendo oficialmente adotada pela Associação Internacional de Geologia de Engenharia (IAEG). O autor classifica os movimentos de massa a partir do tipo de movimento e do tipo de material transportado (rocha/solo – grosseiro/fino). Assim, os movimentos foram divididos em cinco classes: quedas, tombamentos, escorregamentos (rotacionais e translacionais), expansões laterais e corridas/escoamentos (Quadro 2). A Figura 2 esquematiza os tipos de movimentos de massa conforme classificação proposta por Varnes (1978).

**Quadro 2:** Classificação dos movimentos de massa segundo Varnes (1978)

Tipo de movimento			Tipo de material		
			Rocha	Solo (engenharia)	
				Grossoiro	Fino
Quedas (“fall”)			de rocha	de detritos	de terra
Tombamentos (“topless”)			de rocha	de detritos	de terra
Escorregamentos (“slides”)	Rotacionais	poucas unidades	abatimento de rocha	abatimento de detritos	abatimento de terra
			de blocos rochosos	de blocos de detritos	de blocos de terra
	Translacionais	muitas unidades	de rocha	de detritos	de terra
Expansões laterais			de rocha	de detritos	de terra
Corridas/Escoamentos (“flows”)			de rocha	de detritos	de terra
Complexos: combinação de dois ou mais tipos de movimentos, ação de vários agentes					

Fonte: Varnes (1978).

**Figura 2:** Movimentos de massa segundo a classificação de Varnes (1978)



(A) Quedas; (B) Tombamentos; (C) Escorregamento rotacional; (D) Escorregamento translacional; (E) Corrida de detritos (*debris flow*); (F) Corrida de terra (*earthflow*); (G) Expansões laterais. Fonte: Modificado de USGS (2004).

No cenário brasileiro, a principal classificação foi proposta por Augusto Filho (1992), que divide os movimentos de massa em quatro classes: rastejos (*creep*), escorregamentos (*slides*), quedas (*falls*) e corridas (*flows*), como pode ser observado no Quadro 3.

**Quadro 3:** Classificação dos movimentos de massa segundo Augusto Filho (1992)

<b>Processos</b>	<b>Características do movimento, material e geometria</b>
Rastejo ( <i>creep</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vários planos de deslocamentos (internos)</li> <li>• Velocidades muito baixas (cm/ano) a baixas e decrescentes com a profundidade</li> <li>• Movimentos constantes, sazonais ou intermitentes</li> <li>• Solos, depósitos, rocha alterada/fraturada</li> <li>• Geometria indefinida</li> </ul>
Escorregamentos ( <i>slides</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poucos planos de deslocamentos (externos)</li> <li>• Velocidades médias (m/h) e altas (m/s)</li> <li>• Pequenos a grandes volumes de material</li> <li>• Geometria e materiais variáveis</li> <li>• Planares → solos pouco espessos, solos e rochas com um plano de fraqueza</li> <li>• Circulares → solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas</li> <li>• Em cunha → solos e rocha com dois planos de fraqueza</li> </ul>
Quedas ( <i>falls</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sem planos de deslocamento</li> <li>• Movimentos tipo queda livre ou em plano inclinado</li> <li>• Velocidades muito altas (vários m/s)</li> <li>• Material rochoso</li> <li>• Pequenos a médios volumes</li> <li>• Geometria variável: lascas, placas, blocos etc.</li> <li>• Rolamento de matacão</li> <li>• Tombamento</li> </ul>
Corridas ( <i>flows</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muitas superfícies de deslocamentos (internas e externas à massa em movimentação)</li> <li>• Movimentos semelhantes ao de um líquido viscoso</li> <li>• Desenvolvimento ao longo das drenagens</li> <li>• Velocidades médias a altas</li> <li>• Mobilização de solo, rocha, detritos e água</li> <li>• Grandes volumes de material</li> <li>• Extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas</li> </ul>

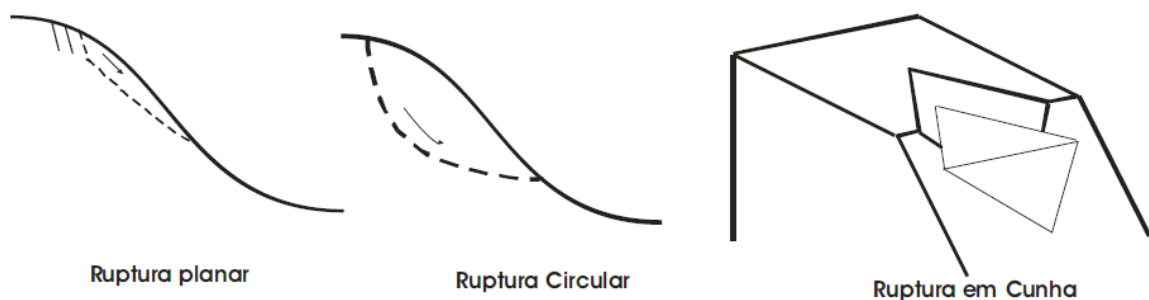
**Fonte:** Augusto Filho (1992).

## 2.2 Escorregamentos

Os escorregamentos são descritos como movimentos rápidos de massas de solo e/ou rocha (m/h a m/s) de duração relativamente curta, com limites laterais e profundidades bem definidos, cujo centro de gravidade se desloca para baixo e para fora do talude, seja este natural, de corte ou aterro (GUIDICINI & NIEBLE, 1984). São os processos mais marcantes na evolução natural das encostas, seja pela frequência com que ocorrem, como pelo potencial em causar danos ao homem.

Existem algumas classificações de escorregamentos, sendo as mais comuns baseadas na geometria do plano de ruptura (circular, planar ou em cunha – Figura 3) e na natureza do material transportado. A natureza do material envolvido nessa abordagem pode ser solo e/ou rocha, os quais podem apresentar ou não estruturas ou planos de fraqueza que condicionem as rupturas.

**Figura 3:** Esquema das principais geometrias de ruptura em escorregamentos



**Fonte:** Lopes (2006), modificado de IPT (1991).

Os escorregamentos com a geometria planar ou translacional representam a forma mais recorrente entre todos os tipos de movimentos de massa, particularmente na região da Serra do Mar (GUIDICINI & NIEBLE, 1984), haja visto o registro de eventos de escorregamentos em massa em Cubatão no mês de janeiro de 1985 e fevereiro de 1994 (GRAMANI, 2001). Segundo Wolle (1988) os escorregamentos translacionais na região da Serra de Cubatão ocorrem amplamente nos perfis retilíneos das porções de média e alta encosta (acima de 300 metros) na escarpa serrana e também em cotas inferiores, nas encostas de serras e morros isolados e espigões mais proeminentes, sendo que as cicatrizes geradas são comumente estreitas (geralmente entre 10 e 20 metros de largura, variando entre 6 e 60 metros) com amplo comprimento (em torno de 100 a 200 metros).

Segundo Corominas et al. (2014), os fatores condicionantes são aqueles que contribuem para a instabilidade do talude e os desencadeadores, como o próprio nome descreve, são os fatores que atuam como gatilho para ocorrência do evento. Guidici & Nieble (1984) descrevem os responsáveis pelos diferentes tipos de movimentos de massa como causas e agentes (Quadro 4). Os autores definem como causa o modo de atuação de determinado agente, subdividindo as causas em internas, externas e intermediárias e os agentes em predisponentes, efetivos preparatórios e efetivos imediatos.

**Quadro 4:** Agentes e causas dos movimentos gravitacionais de massa

<b>Causas</b>	<b>Internas</b>		Efeito das oscilações térmicas; redução dos parâmetros de resistência ao cisalhamento por intemperismo (aumento da pressão hidrostática, diminuição da coesão e ângulo de atrito interno do material).
	<b>Externas</b>		Mudança na geometria da encosta; efeitos de vibrações; mudanças naturais na inclinação das encostas por processos naturais ou artificiais.
	<b>Intermediárias</b>		Elevação do nível piezométrico em massas homogêneas; elevação da coluna d'água em descontinuidades; rebaixamento rápido do lençol freático; erosão subterrânea retrogressiva (pipping); diminuição do efeito da coesão aparente.
<b>Agentes</b>	<b>Predisponentes</b>		Condições geológicas (mineralógica, tectônica e estratigráfica), geomorfológicas (inclinação e forma das vertentes) e climatológicas (regime hidrológico), além da ação gravitacional, calor e vegetação.
	<b>Efetivos</b>	<b>Preparatórios</b>	Pluviosidade, erosão pela água e vento, congelamento e degelo, variação de temperatura, dissolução química, ação de fontes e mananciais, oscilação do nível de lagos e marés e do lençol freático, ação de animais e humana, inclusive desflorestamento.
		<b>Imediatos</b>	Chuvas intensas, fusão do gelo e neves, erosão, terremotos, ondas, vento, ação do homem, etc.

**Fonte:** Lopes (2006) adaptado de Guidicini & Nieble (1984).

Os escorregamentos ocorrem a partir de mecanismos de ruptura que levam à instabilização da encosta. As causas internas são definidas, segundo Guidici & Nieble (1984), como aquelas que resultam da diminuição da resistência interna do material, como o aumento da pressão hidrostática, diminuição da coesão e ângulo de atrito interno do material. As causas externas, por sua vez, provocam o aumento das tensões de cisalhamento sem que haja variação na resistência do material, respondendo principalmente à alteração na geometria da encosta. As intermediárias são as causas resultantes de efeitos causados por agentes no interior do talude, como rápido rebaixamento do N.A. ou liquefação espontânea.

Os agentes predisponentes, ainda segundo Guidici & Nieble (1984), são os fatores naturais intrínsecos às condições geológicas, geomorfológicas (inclinação e forma das vertentes) e ambientais (clima, vegetação) onde ocorrerá o movimento. Os agentes efetivos são o conjunto de elementos diretamente responsáveis pela deflagração do movimento de massa, sendo subdivididos em preparatórios e imediatos em função da sua forma de participação.

### **2.2.1 Fatores condicionantes aos escorregamentos**

Os principais fatores condicionantes dos escorregamentos são aqueles do meio físico ou biótico, que contribuem para suscitar o processo, e podem ser classificados, de modo geral, em seis grandes fatores geoambientais: geologia, pedologia, geomorfologia, clima, cobertura vegetal e antropismo (LOPES, 2006). Embora cada um desses fatores atue de maneira diferente, com intensidades distintas, em inúmeros locais do planeta, serão descritos cada um, enfocando principalmente às características existentes na Serra do Mar.

#### *Geologia*

Os fatores geológicos são um dos mais importantes nos processos de instabilização, tanto em encostas naturais, quanto em taludes produzidos nestas encostas por ações antrópicas. Dentro do fator geológico (Quadro 5), as características que mais influenciam na deflagração dos movimentos envolvem a composição físico-química das diferentes litologias, suas propriedades mecânicas, estruturas geológicas e grau de intemperismo (WOLLE, 1988).

**Quadro 5:** Fatores geológicos influentes no processo de escorregamento

Fator Geológico		Característica
Mineralógico		São as características decorrentes da própria natureza mineralógica da rocha, tais como a resistência, alterabilidade, erodibilidade e anisotropia (bandamento, estratificação, etc.); incluindo a presença de minerais expansivos e o intemperismo diferencial.
Tectônico	Feições estruturais	Correspondem a planos de fraqueza da rocha (falhas, fraturas, foliações etc.), frequentemente preservados no solo saprolítico. A rugosidade, planaridade, continuidade, preenchimento e posição espacial dessas feições são importantes no condicionamento da estabilidade dos corpos.
	Dinâmicos	Referentes à presença de sismos, e ao comportamento dos maciços rochosos e terrosos frente a diferentes solicitações dinâmicas.
	Estado de tensões	Caso os corpos estejam sobre elevadas tensões o excessivo alívio pode gerar instabilidade.
Hidrogeológico		São os fatores resultantes da presença e movimento da água nos maciços.

Fonte: Adaptado de Wolle (1988).

### *Pedologia*

A evolução pedológica, principalmente em meio tropical úmido (Serra do Mar), desempenha importante papel em relação à ocorrência escorregamentos. Sob estas condições climáticas, as ações físicas, químicas e biológicas são mais intensas, o que favorece a formação de maiores espessuras de solo.

### *Geomorfologia*

Os condicionantes geomorfológicos mais influentes na instabilidade das encostas são as formas das vertentes e as variáveis morfométricas como declividade (inclinação das encostas), área de contribuição, aspecto (orientação) e amplitude (LOPES, 2006). A velocidade de deslocamento de material das encostas, assim como, a capacidade de transporte de solos e rochas, são diretamente proporcionais à declividade sendo, portanto, uma das principais causas predisponentes na deflagração de escorregamentos.

Entretanto, o maior número de escorregamentos não ocorre, necessariamente, nas encostas mais íngremes, uma vez que, segundo IPT (1987), os escorregamentos ocorrem em encostas com declividade acima de 20°, sendo que a maior densidade de movimentos ocorre em declividades 21° a 35°. Tal comportamento foi atribuído a variações na cobertura vegetal e que nas altas encostas as espessuras de solo são menores, onde em muitas o material já teria sido removido por movimentos pretéritos.

### *Clima*

Segundo Augusto Filho (2001), a pluviosidade atua como principal agente efetivo na deflagração dos escorregamentos no Brasil, o que pode ser atestado pelos movimentos de massa durante as estações chuvosas.

O primeiro trabalho no Brasil cujos autores tentaram estabelecer uma relação matemática entre chuvas e escorregamentos foi o de Guidicini & Iwasa (1976), no qual os autores estabeleceram a correlação entre as chuvas em meio tropical úmido e os escorregamentos. Através do estudo de nove áreas (Serra de Caraguatatuba-SP, Santos-SP, Rodovias Imigrantes e Anchieta-SP, Serra de Maranguape-CE, área urbana do Rio de Janeiro-RJ, Serra de Araras-RJ, sul do estado de Minas Gerais-MG e Vale do Tubarão-SC) os autores concluíram que índices pluviométricos acima de 250–300 mm diários são suficientes para desencadear movimentos de massa em praticamente qualquer situação, e que valores diários em torno de 20% da pluviosidade média anual são favoráveis à deflagração de grandes episódios de escorregamentos.

### *Cobertura vegetal*

A vegetação desempenha um papel importante na proteção do solo e a sua retirada favorece o aparecimento de processos erosivos e a ocorrência de movimentos de massa (GUIDICINI & NIEBLE, 1984). Dentre os diversos efeitos da presença da vegetação, IPT (1988a) cita como favoráveis à estabilidade das encostas:

- Redistribuição da água proveniente das chuvas: as copas das árvores e demais partes das árvores impedem que partes das chuvas atinjam direto o solo, além de diminuírem a quantidade efetiva de água que penetra no solo, restringindo a queda no Fator de Segurança (FS), isto é, menor perda da coesão e ângulo de atrito, menor aumento do peso específico do solo por umedecimento e menor possibilidade de formação do NA.
- Acréscimo de resistência do solo devido às raízes: as raízes das árvores de maior porte tendem a aumentar a resistência ao cisalhamento do solo de duas formas: pelo reforço mecânico do solo (devido à transferência parcial da tensão de cisalhamento atuante no solo para as raízes) e por escoramento (raízes mais profundas e pivotantes passam a atuar como pilastras de sustentação dos horizontes superficiais).

Como efeitos desfavoráveis da vegetação na estabilidade das encostas, IPT (1988a) cita:

- Efeito alavanca: produzido pelos troncos quando as copas das árvores são agitadas pelo vento.
- Efeito cunha: pela ação das raízes ao penetrar em fendas, fissuras e canais do solo ou rocha.
- Efeito da sobrecarga vertical sobre a encosta: em florestas tropicais densas o peso das árvores são um efeito indesejado quando associado a instabilizações com superfície de ruptura rasa.

### *Antropismo*

As principais modificações oriundas das interferências antrópicas, citadas por Augusto Filho (1994), que induzem e potencializam os movimentos gravitacionais de massa, são:

- Remoção da cobertura vegetal e/ou lançamento de lixo nas encostas.
- Lançamento, concentração e/ou vazamento de águas pluviais, servidas.
- Vazamento na rede de abastecimento, esgoto e presença de fossas.
- Execução de cortes com geometria inadequada (altura/inclinação).
- Execução deficiente de aterros (compactação, geometria, fundação).
- Vibrações produzidas por tráfego pesado, explosões, etc.

### 2.2.2 Análise de Suscetibilidade

O termo suscetibilidade refere-se à predisposição de um objeto de análise a ocorrência de um determinado fenômeno. Assim, a análise de suscetibilidade a escorregamentos engloba a consideração de vários fatores que influenciam na ocorrência desses eventos. Einstein (1988) define a avaliação de suscetibilidade como produto da combinação das informações do meio físico e do mapa de inventário de cicatrizes.

O mapa de suscetibilidade a escorregamentos serve como indicativo da possibilidade de ocorrência futura de escorregamentos em determinadas áreas (EINSTEIN, 1988, CRUZ, 2007). Existem diversos métodos de análise de suscetibilidade a escorregamentos (Quadro 6), assim, é imprescindível que o avaliador considere a escala de mapeamento, os dados disponíveis e o resultado esperado na escolha do método adequado.

**Quadro 6:** Principais métodos de análise de suscetibilidade à escorregamentos

<b>Tipo de Análise</b>	<b>Características</b>
Inventário	Análise da distribuição espacial e densidade dos escorregamentos.
Heurística	Consideração da opinião de especialistas na atribuição de pesos nas variáveis analisadas, baseados no conhecimento a priori dos fatores que produzem a instabilidade.
Estatística	Cálculo da importância da contribuição dos fatores condicionantes baseados nas relações observadas entre cada fator e a distribuição dos escorregamentos atuais e passados.
Determinística	Análise baseada no equilíbrio limite, em modelos hidrológicos e de estabilidade de encostas. Os dados de entrada provêm de ensaios de laboratório (parâmetros de resistência).

**Fonte:** adaptado por Gabelini (2017) de Carrara et al (1995), Van Westen (1994), Soaters e Van Westen (1996)

A análise estatística, utilizada no presente trabalho, tem como foco a inter-relação entre os fatores condicionantes e a distribuição de escorregamentos, indicados por suas cicatrizes. Segundo Carrara et al (1995 apud Gabelini, 2017), nesse tipo de análise é assumido que os fatores que ocasionaram escorregamentos em uma determinada área correspondem aos mesmos que poderão gerar escorregamentos futuros. Desse modo, a análise estatística faz uso da frequência ou densidade de escorregamentos por classe para a determinação de pesos, em busca da redução da subjetividade nos mapeamentos.

### 3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo situa-se dentro dos limites territoriais do município de Cubatão, o qual faz parte da microrregião de Santos (litoral norte do estado de São Paulo), englobando em sua maioria a porção serrana. O município de Cubatão conta com uma população estimada pelo IBGE para 2017 de 128.748 e uma área territorial de 142,879 km<sup>2</sup> (IBGE, 2016).

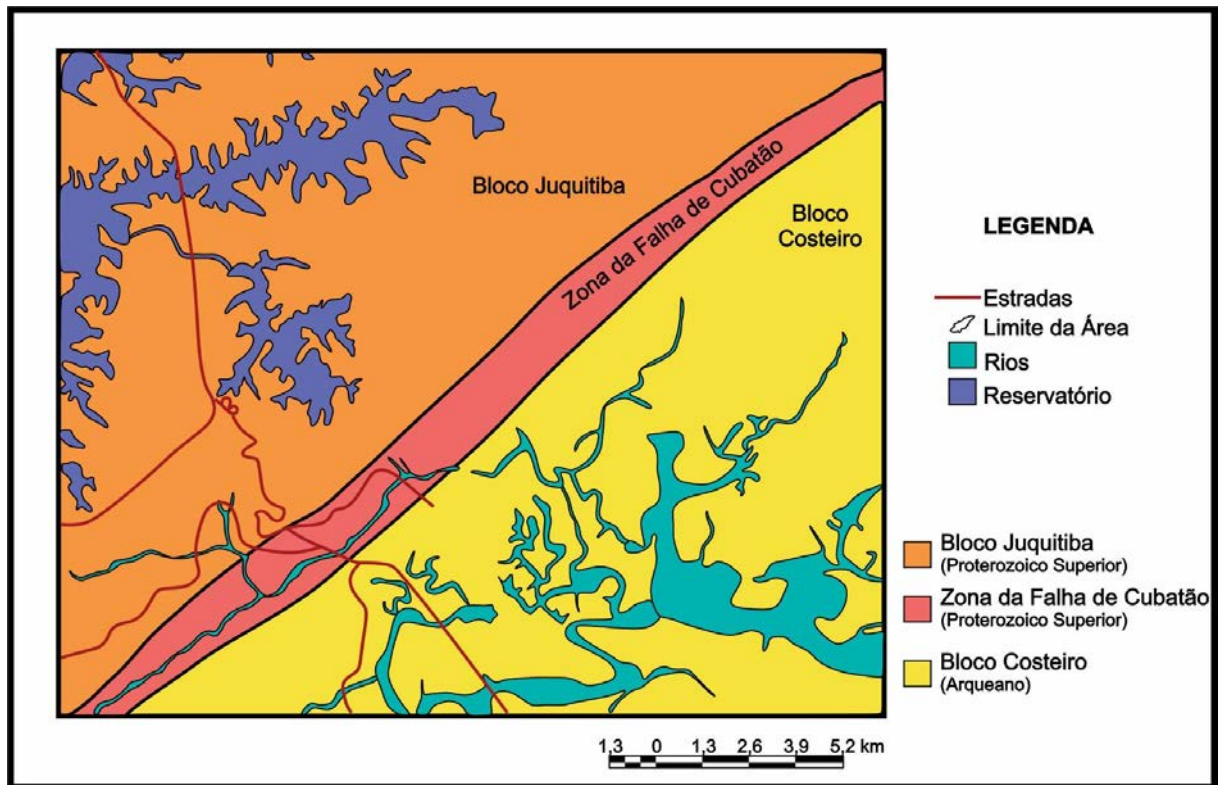
Cubatão dista aproximadamente 60 km da capital paulista e o acesso à cidade pode ser feito através das rodovias SP-150 (Rodovia Anchieta) e SP-055 (Rodovia Governador Mário Covas).

#### 3.1 Geologia

A área de estudo está inserida no contexto geológico-tectônico regional do “Sistema Rift do Leste Brasileiro” (*The East Brazilian Rift System* – EBRIS). Em um âmbito mais abrangente, o EBRIS faz parte da porção setentrional do “Sistema Rift do Atlântico Sul” (SRAS), definido por Almeida (1976 apud LOPES, 2006). Esse rifte foi formado durante a Era Mesozoica, separando os continentes América do Sul e África, os quais faziam parte do Supercontinente Gondwana.

O local é constituído predominantemente de rochas do embasamento cristalino, com diferentes graus metamórficos. O mesmo encontra-se dividido em duas grandes unidades litoestratigráficas, representadas pelo Grupo Açungui do Proterozoico Superior e pelo Complexo Costeiro do Arqueano. Tais unidades encontram-se compartimentadas pela zona de falhamento transcorrente de Cubatão, que delimita a noroeste o Bloco Juquitiba (com predomínio de rochas do Grupo Açungui) e a sudeste o Bloco Costeiro (SADOWSKI, 1974), como pode ser observado na Figura 4.

**Figura 4:** Disposição dos Blocos Juquitiba e Costeira e da Falha de Cubatão próximo à área de estudo

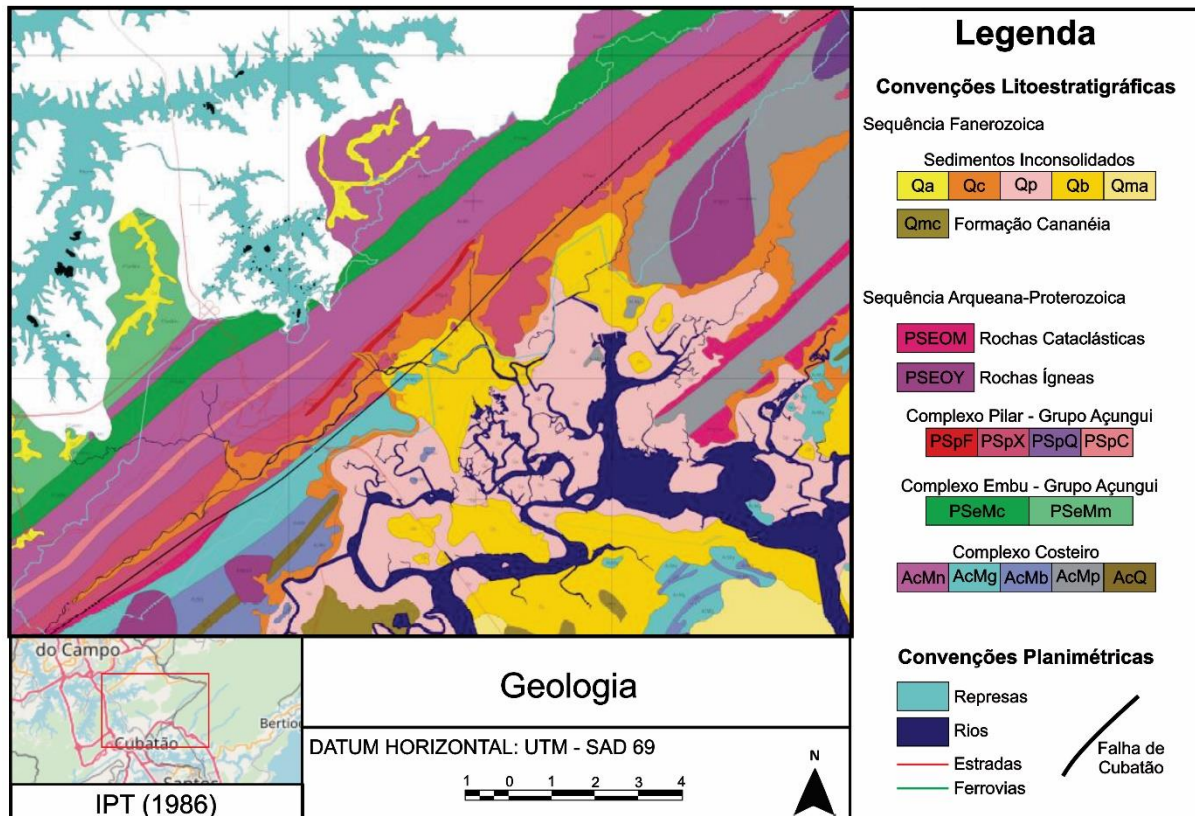


**Fonte:** modificado por Lopes (2006) de Sadowski (1974) e Wolle (1988).

O Bloco Juquitiba é constituído por migmatitos estromatíticos de paleossoma xistoso dominante, com frequentes sinais de retrometamorfismo, pertencentes ao Grupo Açungui, que foi subdividido em rochas do Complexo Pilar e Complexo Embu (HASUI & SADOWSKI, 1976), com litologias apresentas no mapa da Figura 5. Na porção associada à falha de Cubatão ocorrem rochas metassedimentares de baixo grau de metamorfismo, justamente onde se desenvolve o vale dos rios Cubatão e Mogi.

No Bloco Costeiro ocorrem quase que exclusivamente migmatitos (oftalmíticos predominantemente e de modo secundários os estromatolíticos). Podem ocorrer cataclasitos e suítes graníticas, como os da Serra do Morrão. Estas rochas possuem uma transição entre si, dificultando a diferenciação (SADOWSKI, 1974). Ainda no Bloco Costeiro, sedimentos recentes classificados como tálus, coluviões e aluviões lagunares, de costa, e flúvio-lacustres, nas planícies dos rios e sopés de encostas.

Figura 5: Mapa Geológico da região da área de estudo



Fonte: IPT (1986).

### 3.1.1 Sequência Arqueana-Proterozoica

#### 3.1.1.1 Complexo Costeiro

O Complexo Costeiro, no Estado de São Paulo, é delimitado a norte, pela Falha de Cubatão, e a sul, pela linha de costa e ilhas vizinhas (Hasui et al., 1981 apud DE MARINS et al., 2009). Nessa unidade são encontrados, segundo IPT (1986), migmatitos estromatolíticos de neossoma dominante passando a granitoides sintectônicos (AcMn); ofalmitos com megacristais de microclínio e paleossoma biotita gnáissico (AcMg); estromaitos com paleossoma de hornblenda-biotita gnaisse (AcMb); ofalmitos com megacristais de andesina, por vezes estromatolíticos (AcMp) e microclínio quartzitos (AcQ).

### **3.1.1.2 Complexo Embu – Grupo Açungui**

O Complexo Embu, originalmente definido por Hasui (1975 apud CPRM, 2006) e Hasui e Sadowski (1976), ocorre como uma faixa contínua de direção NE-SW, desde o Estado do Rio de Janeiro até a divisa de São Paulo com o Paraná. É limitado, a sul, pela falha de Cubatão e, a norte, pelas falhas de Taxaquara, Jaguari e Monteiro Lobato. Na região da área de estudo ocorrem, segundo IPT (1986), migmatitos estromatolíticos com paleossoma dominante de biotita-muscovita-clorita xisto com ou sem silimanita e granada (PSeMc) e migmatitos estromatolíticos com paleossoma dominante de micaxisto.

### **3.1.1.3 Complexo Pilar – Grupo Açungui**

Segundo IPT (1986), o Complexo Pilar na região da área de estudo é composto por filitos, sericita-quartzo xistos e clorita xistos com lentes de quartzitos e mármore (PSpF); micaxistos com teores variáveis de quartzo, com seixos achatados e ocorrência de megacristais de microclínio e plagioclásio (PSpX); quartzitos puros, micáceos e itacolomitos (PSpQ); rochas calco-silicatadas com epidoto, anfibólio e biotita (PSpC).

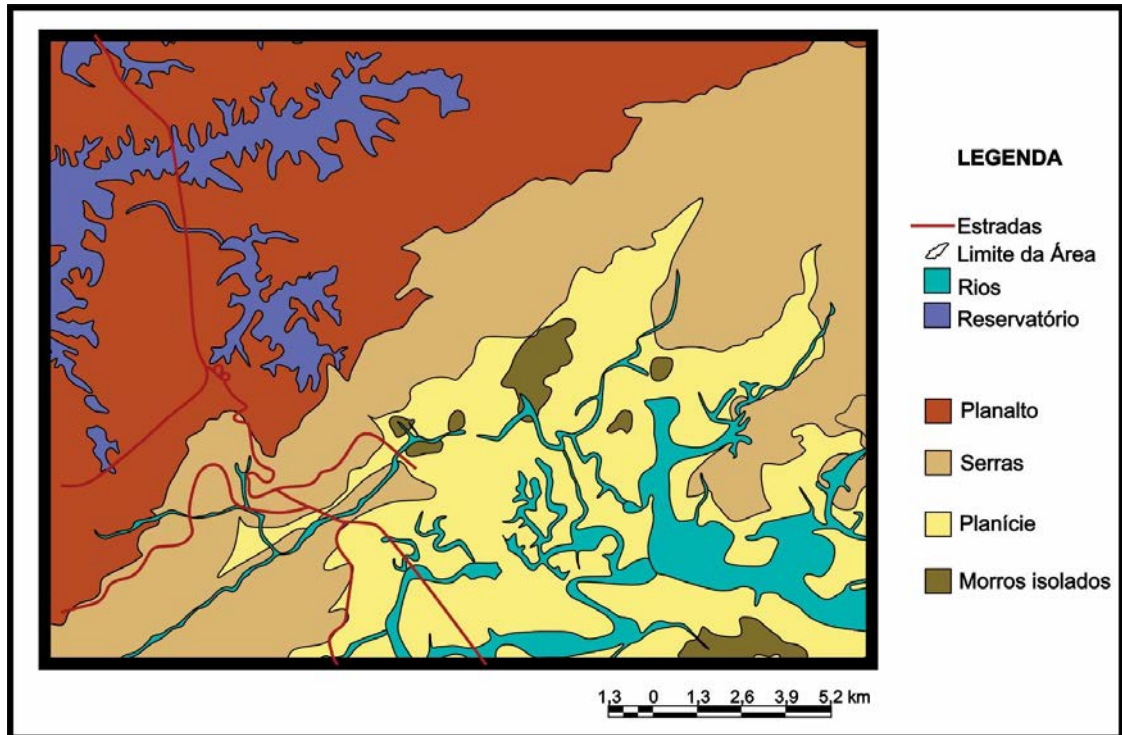
### **3.1.2 Sequência Fanerozoica**

A Sequência Fanerozoica é representada na área de estudo por sedimentos inconsolidados, com dimensões e espessuras variadas (IPT, 1986). Há ocorrência de areias, silte, argila e cascalhos de deposição no planalto (Qa); sedimentos de granulação muito variada, em depósitos coluvionais no sopé da escarpa ou em depósitos fluviais na planície costeira (Qc); areias e argilas com abundantes fragmentos vegetais depositados em mangue e pântanos atuais (Qp); areias e argilas ricas em fragmentos vegetais depositadas em ambiente flúvio-lagunar e baías; areias quartzosas, depositadas em praias ou em corsões litorâneos, podendo haver retrabalhamento eólico.

### 3.2 Geomorfologia

Segundo IPT (1981) e SMA (1988 apud LOPES, 2006) a área de estudo pode ser dividida em três grandes compartimentos geomorfológicos (Figura 6 e 7).

**Figura 6:** Mapa Geomorfológico da Área de Estudo



**Fonte:** Modificado por Lopes (2006) de Poçano et al. (1981) e SMA (1988).

**Figura 7:** Ortofoto com as características gerais das divisões geomorfológicas da área de estudo



**Fonte:** De Paula et al. (2008).

- *Planalto Paulistano/Alto Tietê*: este compartimento faz parte da “Província Geomorfológica do Planalto Atlântico” definido por Almeida (1953 apud LOPES, 2006) que dividiu em diversas zonas, devido sua abundância de formas e heterogeneidade estrutural. Assim, a área de estudo está inserida na “Zona do Planalto Paulistano”. O planalto paulistano é caracterizado por um relevo de morros e espigões suavizados com altitudes que variam entre 700 a 900 m, que são drenados pelo rio Tietê.
- *Escarpa/Serra do Mar e Morros Litorâneos*: a porção de serras está inserida na “Província Costeira” de Almeida (op.cit.), que compreende a área do Estado drenada para o oceano, constituindo o rebordo do Planalto Atlântico. A Serra do Mar caracteriza-se por um relevo de serras abruptas e festonadas, que se estende ao longo da borda sul do Planalto Atlântico. O relevo desenvolve anfiteatros separados por espigões, com desnível em torno de 700 a 1200 metros entre a borda do planalto e a baixada litorânea. As vertentes são muito inclinadas, geralmente entre 35° e 55°.
- *Baixada Litorânea e Planície marinha/fluviál*: está incluída na “Província Costeira” de Almeida (op.cit.). São áreas de relevo plano e sujeitas às oscilações de marés. Localmente apresentam alguns morros isolados que atingem altitudes de 80 a 120 m.

### 3.3 Clima

Na área de estudo, assim como em toda a Serra do Mar, tem-se a região do Brasil com maiores índices pluviométricos, com chuvas praticamente o ano todo, entretanto com intensidades mais elevadas nos meses de novembro a março, com médias anuais superiores a 2500 mm (CEPAGRI, 2017). A distribuição das chuvas é bastante variável, sendo intensas e rápidas, com picos superiores a 50 mm/h e até 100 mm/dia (WOLLE, 1988).

As temperaturas médias mensais na região da serra variam de 31°C nos meses mais quentes a 18°C nos meses mais frios (CEPAGRI, 2017). A confluência de todas essas características define o típico clima tropical úmido, com umidade relativa do ar sempre elevada, comumente acima de 85% (LOPES, 2006). O clima do município pode contar com variações locais de acordo com a característica geográfica do relevo (BORGES et al., 2002):

- *Clima da serra*: a escarpa funciona como verdadeira barreira climática, acarretando a condensação da umidade, em forma de nuvens, neblina ou cerração. A elevada umidade favoreceu o desenvolvimento de rica cobertura florestal e, devido à altitude, a temperatura ali é mais baixa 2 a 3° C em relação à planície.
- *Clima dos vales*: caracterizado pelas formações intensas de nevoeiros e alterações da temperatura através da atuação de brisas ascendentes e descendentes.
- *Clima das áreas industrializadas do sopé da serra*: a poluição do ar, provocando a condensação da umidade atmosférica, faz com que, conforme o estado hidrométrico e a temperatura do ar, formem-se névoas úmidas e secas; as temperaturas aí são sempre mais elevadas que na faixa praiana, devido à ausência de brisas.
- *Clima dos manguezais*: não sendo estas áreas atingidas por brisas, o clima se torna relativamente mais quente. Devido à decomposição orgânica e à evaporação marinha, o ar ali é bastante impregnado de amônia.
- *Clima dos morros*: estando esta área exposta mais diretamente aos ventos prevalecentes, pode ter atenuadas as suas altas temperaturas; isso, entretanto, pode também acentuar as baixas temperaturas, como ocorre nos vales.
- *Clima da orla litorânea*: apresenta-se com maior teor de cloreto de sódio no ar atmosférico. O clima ali é dos mais agradáveis, graças à ação das brisas marítimas que atenuam o calor. O clima é afetado pela atuação dos ventos dominantes, como o do quadrante Noroeste e Sudoeste.

Nota-se assim que nos terrenos baixos e planos, cobertos de mangue, impera o forte calor que produz grande evaporação. Na encosta da Serra do Mar, onde chegam a se condensar os ventos marítimos, cheios de umidade, tem-se fortes precipitações constantes (BORGES et al., 2002).

## **4 MATERIAIS E MÉTODOS**

A atividades realizadas durante o trabalho podem ser divididas em cinco etapas, sendo elas Levantamento Bibliográfico; Aquisição, organização e elaboração da base cartográfica; Trabalhos de Campo; Simulação de Cenários de Suscetibilidade e Validação dos Cenários e Métodos.

### **4.1 Levantamento Bibliográfico**

Essa etapa consiste no levantamento de materiais já publicados referentes ao assunto e, em especial, à área de estudo. Nesse momento também foram coletadas informações importantes dos referenciais teóricos e de métodos anteriormente adotados. Vale ressaltar que o levantamento bibliográfico ocorreu em todo o desenvolvimento do trabalho, de modo mais proeminente nas etapas iniciais.

O levantamento foi efetuado em bancos de dados nacionais e internacionais, nos quais se destacam o Portal de Periódicos da CAPES, Scientific Electronic Library (SciELO) e Biblioteca digital Brasileira de Teses e Dissertações do Ministério da Ciência e Tecnologia, Banco de dados bibliográficos ATHENA (UNESP). A pesquisa transcorreu a partir do uso das palavras-chave *escorregamento*, *suscetibilidade*, *condicionantes geológico-geotécnicos* além de *Cubatão*, afim de suscitar estudos anteriormente desenvolvidos na área.

### **4.2 Aquisição, organização e elaboração da base cartográfica**

A base cartográfica do trabalho (Quadro 7) conta com as folhas topográficas em escala 1:50.000 disponíveis no site do IBGE. As informações levantadas acerca da geologia e geomorfologia da área auxiliaram na elaboração da compartimentação fisiográfica através da contextualização do meio físico. Os mapas geológico e geomorfológico consultados foram, respectivamente, o de IPT (1986) na escala 1:100.000 e IPT (1981) na escala 1:500.000.

As ortofotos e fotografias aéreas de 2011, disponibilizadas pela Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano (Emplasa), em escala 1:25.000, foram utilizadas como principal material de consulta e apoio na etapa de caracterização da área e compartimentação fisiográfica. As imagens aéreas na escala 1:25.000 do ano de 1985, obtidas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), foram utilizadas para identificação e delimitação das cicatrizes do evento de escorregamento ocorrido em Cubatão no ano referido anteriormente.

**Quadro 7:** Materiais utilizados no desenvolvimento do trabalho

<b>Material</b>	<b>Escala</b>	<b>Fonte</b>
Folha topográfica Folha Santos (SF—23-Y-D-IV-3)	1:50.000	IBGE
Mapa Geológico das Folhas Santos e Riacho Grande	1:100.000	IPT, 1986
Mapa Geológico do Estado de São Paulo	1:750.000	CPRM, 2006
Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo	1:500.000	IPT, 1981
Ortofotos e fotografias aéreas	1:25.000	EMPLASA, 2011
Fotografias aéreas (1985)	1:25.000	INPE

**Fonte:** Elaborado pela autora.

Os materiais supracitados foram georreferenciados no software ArcGis 10.1 com o uso da ferramenta *Georeferencing*. O georreferenciamento foi efetuado a partir de 4 pontos de controle estabelecidos de forma não linear entre si, com erro menor que 1 metro. O sistema de coordenadas adotado foi WGS 1984, zona 23 S. Dados de drenagens, curvas de nível, zonas limítrofes entre municípios, principais rodovias e contorno da área de estudo foram exportados para o formato shapefile.

A confecção do Modelo Digital de Elevação (MDE) deu-se por meio do software ArcGis 10.1, utilizando a ferramenta “Triangulated Irregular Network” (TIN) e “Create TIN”. A partir do MDE, que atua através da interpolação dos valores de altitude, foram produzidos os mapas hipsométrico e de declividade, também a partir do software ArcGis 10.1.

O mapa hipsométrico ilustra, por meio de cores, a elevação do terreno de modo a facilitar a visualização do relevo da região e contribuir para o entendimento dos fenômenos atuantes em superfície. Foram classificadas 11 classes hipsométricas ao total. Abaixo da cota 100 metros existem três classes correspondentes a 0-20, 20-50 e 50-100 metros, de modo que a partir da cota 100 foram estabelecidas as demais classes equidistantes 100 metros entre si. De acordo com Marcelino (2004), a primeira classe (0-20 metros) separa a planície das áreas declivosas. A segunda (20-50 metros) delimita as áreas de deposição coluvionar, marcadas pelo acúmulo de sedimentos no sopé das encostas (transporte por gravidade) ao passo que a terceira classe (50-100 metros) corresponde à transição entre às áreas de depósitos coluvionares e as de depósitos eluvionares (detritos provenientes da rocha matriz in situ).

O mapa de declividade, por sua vez, é essencial para análise do relevo, uma vez que classifica a área a partir de níveis de inclinação do terreno (em graus ou porcentagem). Os processos de escorregamentos, estão intrinsecamente relacionados à declividade do terreno. Neste trabalho foi adotada a classificação da declividade em porcentagem, sendo as classes adotadas: 0-12%, 12-27%, 27-35%, 35-45% e >45%. Os limites de cada classe foram definidos através da correlação com a frequência de cicatrizes em cada intervalo, de modo a concentrar o maior número de cicatrizes em um menor intervalo de declividade.

A Carta de Uso e Ocupação da Terra foi confeccionada no software ArcGis 10.1, com auxílio do Google Earth, na escala 1:50.000 a partir das imagens aéreas (2011) disponibilizadas pela EMPLASA. O mapeamento transcorreu de forma não automática, ou seja, foi pautado na classificação visual de interpretação dos alvos, de modo a distinguir três principais usos da terra (Quadro 8), conforme Manual Técnico de Uso da Terra elaborado pelo IBGE (2013).

**Quadro 8:** Classificação e cores definidas para uso e ocupação da terra

<b>Cores</b>	<b>Classes</b>
	Área Urbanizada
	Área de Vegetação Natural
	Água Continental

**Fonte:** IBGE (2013).

A Compartimentação Fisiográfica foi embasada nos princípios de análise de fotointerpretação de imagens aéreas proposto por Zaine (2011), ao qual consiste na delimitação de unidades de terreno que apresentam atributos (landform) distintos ao meio físico. Lollo (1995, apud DE PAULA et al., 2008) define o termo landform como porção do terreno originada de processos naturais distintos das porções adjacentes em pelo menos um dos seguintes elementos: forma e posição topográfica, frequência e organização dos canais, inclinação das vertentes e amplitude do relevo. Desse modo, pode-se dividir as atividades executadas em três etapas, baseadas no trabalho de Soares e Fiori (1976), conforme apresentado no Quadro 9. Os elementos considerados durante a etapa de Fotoanálise estão representados na Figura 8, extraída de Zaine (2011).

**Quadro 9:** Etapas efetuadas durante a análise de imagens aéreas

<b>Etapas</b>	<b>Procedimentos</b>
Fotoleitura	Reconhecimento e identificação dos elementos que compõem a paisagem das imagens aéreas
Fotoanálise	Associação e ordenação entre os elementos das imagens de acordo com os quadros de análise elaborados por Zaine (2011) – análise da densidade textural, formas e características do relevo, além da análise de estruturas geológicas.
Fotointerpretação	Descoberta e avaliação, por métodos indutivos, dedutivos e comparativos da relação entre as características das unidades fisiográficas delimitadas e o alvo a ser analisado (escorregamentos)





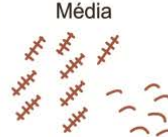




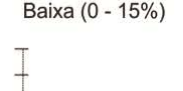










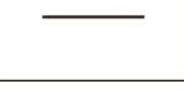





**Fonte:** Adaptado de Soares e Fiori (1976).

O mapeamento das cicatrizes de escorregamento foi efetuado com o auxílio de imagens aéreas referentes ao evento ocorrido de 19 a 25 de janeiro de 1985 no município de Cubatão (SP) (LOPES et al., 2007). O mapeamento das mesmas transcorreu de forma manual, ou seja, foi pautado na classificação visual e interpretação dos alvos, delimitando a área de ocorrência da cicatriz. Foram mapeadas 552 cicatrizes referentes ao evento ocorrido em janeiro de 1985. O mapa resultante está na escala 1:50.000.

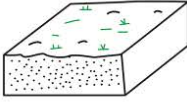
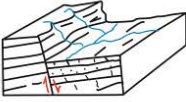

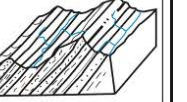


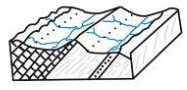

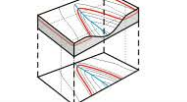
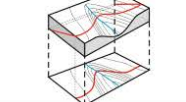
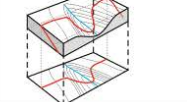
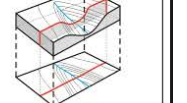




Posteriormente, foi realizada a intersecção de cada mapa temático (hipsometria, declividade, uso e ocupação da Terra, compartimentação fisiográfica) com o mapa de cicatrizes a fim de identificar apenas as classes atingidas pelas cicatrizes. Tais valores foram também exportados para planilha gráfica e calculados os seguintes percentuais:

- Frequência de cada classe (F - %): resultante da razão entre a área de cada classe e a área total de estudo;
- Concentração de Cicatrizes (CC - %): calculada a partir da razão da área de escorregamentos da classe em relação à área total de escorregamento.

**Figura 8:** Sequência de procedimentos proposta por Zaine (2011) para análise de imagens aéreas

1. Análise da densidade textural		CLASSES		
Elementos de análise	Elementos de drenagem e relevo			
Critérios de análise	Densidade dos elementos de drenagem	Baixa (0 a 5/10 km <sup>2</sup> ) 	Média (5 a 30/10 km <sup>2</sup> ) 	Alta (> 30/ km <sup>2</sup> ) 
	Densidade dos elementos do relevo (dissecação e rugosidade do terreno)	Baixa (mais lisa) 	Média 	Alta (mais rugosa) 
Propriedade a ser interpretada	Permeabilidade (intergranular)	Alta (Permeável)	Média	Baixa (Pouco permeável a impermeável)
Aplicações Informações interpretadas por esta análise	Relação escoamento superficial/infiltração	Baixa	Média	Alta
	Espessura e características do manto de alteração	Grande (Espesso; > 5m)	Média	Pequena (Raso/rocha aflorante)
2. Análise das formas e características do relevo		CLASSES		
Elementos de análise	Declives, vertentes, topos, vales, rupturas de declive (quebras de relevo), cristas e escarpas			
Critérios de análise	a) Amplitude local (variações de cotas na unidade)	Pequena (0 a 100 m) 	Média (100 a 300 m) 	Grande (> 300 m) 
	b) Declividade	Baixa (0 - 15%) 	Média (15 - 30%) 	Alta (> 30%) 
	c) Forma de encosta / vertente (* representação em planta)	Convexa  	Côncava  	Retilínea  
	d) Forma do vale (* representação em planta)	Aberto  		Fechado  
	e) Forma do topo	Aplainados 	Arredondados 	Angulosos 
	f) Feições particulares de relevo	Identificar e descrever. Associar modelos geológicos já conhecidos <small>*Consultar quadros Howard (1967); Soares e Fiori (1976); Nunes et. al, (1995)</small>		
Propriedades a serem interpretadas	Solubilidade	Não solúvel		Solúvel
	Resistência à erosão natural (dureza)	Baixa (Pouco resistente)	Média (Resistência média)	Alta (Muito resistente)
Aplicações Informações interpretadas por esta análise	Profundidade do topo rochoso	Profundo	Intermediário	Raso a sub aflorante
	Espessura de materiais inconsolidados	Espesso	Intermediário	Delgado a inexistente
	Grau de escavabilidade	Pouco resistente	Resistência média	Muito resistente
Registros de processos geológicos	Potencial a erosão linear (induzida)	Médio a alto	Médio a alto	Médio a baixo
	Potencial a movimentos gravitacionais de massa	Baixo	Médio a Alto	Alto

Fonte: Zaine (2011). **Continua.**

3. Análise das estruturas geológicas		CLASSES			
Elementos de análise	Linhas de rupturas de declive (positivas = proeminentes; negativas = reentrâncias) Lineações e alinhamentos de relevo (traços de foliação e camadas), drenagem e traços de fratura				
Critérios de análise	a) Tropa	Não orientada 	Pouco orientada 	Orientada 	Muito orientada 
	b) Assimetria de relevo e drenagem (geometria das camadas)	Muito assimétrico 	Assimétrico 	Pouco assimétrico 	Simétrico 
	c) Regra dos Vs	Horizontal a sub 	Mergulho p/ montante 	Mergulho p/ jusante 	Vertical a sub 
	d) Sinuosidade* (drenagem)	Curvos/dendríticos 	Mistos 	Retilíneos não paralelos/ espaçados 	Retilíneos paralelos/ adensados 
	e) Padrões reconhecidos e anomalias	Identificar e descrever. Associar à modelos geológicos já conhecidos. <small>*Consultar quadros Howard (1967); Soares e Fiori (1976); Nunes et. al. (1995)</small>			
Propriedades a serem interpretadas	Planos de estratificação e foliação metamórfica	Ausentes a pouco marcantes	Espaçados	Adensados	
	Composição e estrutura	Homogênea	Mista	Heterogênea	
	Plasticidade/ruptibilidade (foliação x fraturas)	-	Rúptil	Dúctil	
	Grau de faturamento	Baixo	Médio	Alto	
Aplicações Informações interpretadas por esta análise	Permeabilidade Fissural	Baixa	Média	Alta	
	Partição em blocos: possibilidade de queda de blocos	Baixa	Média	Alta	
4. Análise complementar		CLASSES			
Elementos de análise	Tons de cinza ou coloração; vegetação e uso do solo; feições de processos geológicos				
Critérios de análise	Tons de cinza *	branco a cinza claro	cinza médio	cinza escuro a preto	
	Coloração*	Claros, amarelados, róseos		Verdes escuros a pretos	
Propriedades a serem interpretadas	Solos derivados de rochas básicas/ácidas ou arenosas/argilosas	Solos ácidos/ arenosos	Solos básicos/argilosos		
	Presença de água/umidade no solo	Solos secos	Solos úmidos	Corpos d' água**	
	Cobertura vegetal	Sem vegetação a pastagem	Rasteiras e arbustivas	Arbóreas (florestas e reflorestamento)	
Aplicações Informações interpretadas por esta análise	Solo exposto	Presente		Ausente	
	Afloramentos e blocos rochosos	Presente		Ausente	
	Presença de N.A. raso/aflorante	Profundo (> 5m)	Variável	Raso (aflorante < 2m)	
* A análise deve considerar os diferentes tipos de uso do solo.					
** Corpos d' água podem apresentar tons claros quando ocorre a reflexão da luz.					

Continuação da Figura 8.

### 4.3 Trabalhos de Campo

As feições identificadas nas imagens aéreas durante as etapas preliminares foram aferidas, refinadas e validadas durante o levantamento de campo, realizado nos dias 14 e 15 de fevereiro e 04, 05 e 06 de outubro de 2017. Fichas de campo padronizadas foram utilizadas durante os trabalhos de campo para a coleta de informações tácteis-visuais dos materiais geológicos in situ. A padronização das fichas garante uma melhor organização e descrição dos pontos observados, de acordo com os critérios de caracterização do ponto (tipo de rocha; tipo de solo; presença de texturas e estruturas); geomorfologia (formas de relevo, topo, encosta e vale; amplitude e declividade); processos geológicos atuantes (classificação e magnitude) e uso e ocupação da terra.

### 4.4 Simulação de Cenários de Suscetibilidade

Para realizar a simulação de cenários de suscetibilidade todos os mapas temáticos (hipsométrico, declividade e geológico) no formato shapefile foram transformados em raster, através da ferramenta “*Polygon to Raster*” (ArcGis 10.1), para dar continuidade ao processamento Posteriormente, foi utilizada a ferramenta “*Raster Calculator*” (ArcGis 10.1) para confeccionar os mapas de suscetibilidade, sendo que esta ferramenta sobrepõe os mapas temáticos no formato raster, inserindo pesos determinados para cada fator. O produto desse processo foi reclassificado por “*Natural Breaks*” (ArcGis 10.1) definindo 5 classes de suscetibilidade: muito baixa, baixa, média, alta e muito alta, em tons de verde, passando pelo amarelo e indo até o vermelho, respectivamente. Foram realizados seis testes de cenários (Quadro 10), com diferentes pesos de influência (%) para cada atributo. Para cada cenário de suscetibilidade também foram calculadas as frequências de cada classe (F - %) e a concentração de cicatrizes (CC - %)

**Quadro 10:** Cenários de suscetibilidade e respectivos pesos de influência para cada condicionante

Cenários	Pesos de influência (%)		
	Declividade	Hipsometria	Geologia
A	60	30	10
B	60	10	30
C	50	30	20
D	50	20	30
E	70	20	10
F	70	10	20

Também foram atribuídos pesos distintos para cada classe de cada atributo. Portanto, foi realizada uma ponderação em cima das cicatrizes mapeadas através das imagens aéreas de 1985, a fim de elencar valores de suscetibilidade para as classes dos fatores. Assim, foram determinados pesos para cada classe dos condicionantes.

Os pesos distribuídos para cada classe de cada condicionante variam de 1 a 5, sendo que o primeiro exerce pouca influência enquanto que no último a influência é maior. O Quadro 11 mostra a distribuição dos pesos das classes de cada condicionante.

**Quadro 11:** Pesos atribuídos para cada classe de cada condicionante

<b>Condicionante</b>	<b>Classes</b>	<b>Peso</b>	<b>Critério: Concentração de Cicatrizes</b>
Declividade	< 12°	2	Peso 1 = até 5% Peso 2 = 5 a 10% Peso 3 = 10 a 20% Peso 4 = 20 a 50% Peso 5 = > 50%
	12° a 27°	5	
	27° a 35°	4	
	35° a 45°	3	
	> 45°	1	
Hipsometria	0 – 20 m	1	Peso 1 = até 5% Peso 2 = 5 a 10% Peso 3 = 10 a 15% Peso 4 = 15 a 25% Peso 5 = > 25%
	20 – 50 m	1	
	50 – 100 m	1	
	100 – 200 m	2	
	200 – 300 m	4	
	300 – 400 m	4	
	400 – 500 m	5	
	500 – 600 m	4	
	600 – 700 m	2	
	700 – 800 m	1	
800 – 900 m	1		
Geologia	Oftalmito	2	Peso 1 = até 10% Peso 2 = 10 a 20% Peso 3 = 20 a 30% Peso 4 = 30 a 50% Peso 5 = > 50%
	Migmatito	5	
	Rochas cataclásticas	1	
	Granitos	2	
	Calcio-silicatadas	1	
	Filitos e xistos	2	
	Areias e argilas	1	
	Colúvio e Tálus	1	

#### 4.5 Validação dos Cenários e Métodos

O ideal para um mapa de suscetibilidade é aumentar a concordância entre a área prevista dos escorregamentos e área mapeada, minimizando a área prevista como instável (SALCIARINI et al., 2006; VIEIRA, 2007). Desse modo, a validação dos mapas de suscetibilidade gerados pela etapa anterior será feita a partir da concordância entre os mapas de suscetibilidade e o mapeamento de cicatrizes de 1985.

Para tanto, será feita a divisão das classes de suscetibilidade em áreas estáveis e áreas instáveis. Assim, as áreas instáveis serão consideradas como a soma das classes média, alta e muito alta de suscetibilidade e para as classes estáveis, a soma das classes muito baixa e baixa suscetibilidade, da mesma forma como foi adotado por Gabelini (2017). Utilizando a ferramenta “*Intersect*” (ArcGIS 10.1) foi identificado, a partir do mapa de suscetibilidade reclassificado como estável e instável, o valor total da área de cada classe afetada pelos escorregamentos. Esses valores serão exportados para uma planilha gráfica do Excel, no qual serão calculados os valores percentuais da área dos seguintes grupos, sendo eles:

- Total de área prevista como instável
- Total de área prevista como instável com cicatrizes
- Total de área prevista como instável sem cicatrizes
- Total de área prevista como estável
- Total de área prevista como estável com cicatrizes
- Total de área prevista como estável sem cicatrizes

Um mapa de suscetibilidade mais próximo da realidade deve ter os menores valores percentuais para as áreas instáveis sem cicatrizes e estáveis com cicatrizes, assim como os maiores valores para áreas instáveis com cicatrizes e áreas estáveis sem cicatrizes (GABELINI, 2017). Os valores dessa análise determinarão a validade dos métodos adotados.

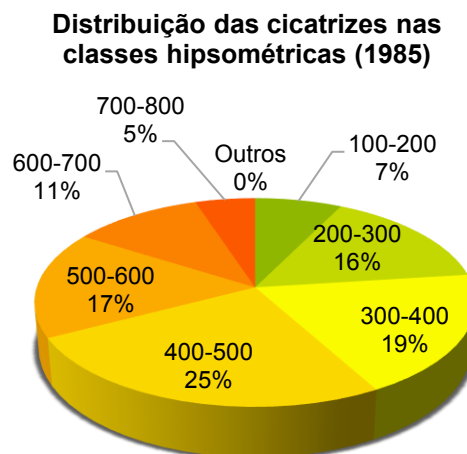
## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse tópico são descritos e discutidos os resultados obtidos com a presente pesquisa. Primeiramente são apresentados e discutidos os resultados obtidos do Modelo Digital de Elevação, dos Mapas Hipsométrico e de Declividade e da Carta de Uso e Ocupação da Terra, sendo os três últimos individualmente associados às cicatrizes mapeadas referente ao evento de 1985. Posteriormente, é apresentada a Compartimentação Fisiográfica da área de estudo, com cinco unidades fisiográficas, que se encontram descritas no tópico correspondente. As unidades também foram correlacionadas com as referidas cicatrizes. O último aspecto abordado são os mapas gerados a partir da simulação de cenários de suscetibilidade e as respectivas validações.

### 5.1 Modelo Digital de Elevação, Mapas Hipsométrico e de Declividade

O Modelo Digital de Elevação e os Mapas Hipsométrico e de Declividade (Figuras 11, 12 e 13 respectivamente) foram confeccionados na escala 1:50.000. O gráfico da Figura 9 mostra a distribuição das cicatrizes de 1985 nas classes hipsométricas.

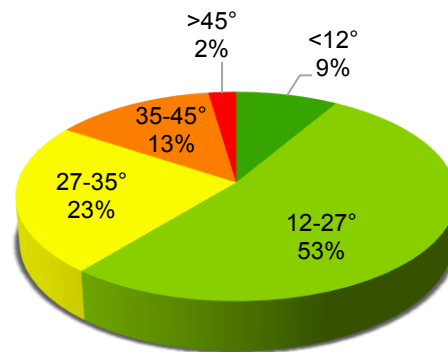
**Figura 9:** Distribuição das cicatrizes de 1985 nas classes hipsométricas



Observando o gráfico, pode-se afirmar que a maior concentração de cicatrizes está a partir de 200 metros de elevação, com abundância entre 300 e 600 metros, somando 61% no evento de janeiro de 1985. O trabalho de Lopes et al. (2007) realizado na mesma região aponta que, em relação a quantidade de cicatrizes, 45% delas ocorreram entre 300 e 600 metros no mesmo evento.

**Figura 10:** Distribuição das cicatrizes de 1985 nas classes de declividade

**Distribuição das cicatrizes nas classes de declividade (1985)**



Com relação à declividade (Figura 10), analisando os gráficos de distribuição das cicatrizes nas classes de declividade pode-se observar que a classe que contempla a maior concentração de cicatrizes é a de 12 a 27°, com 53% da área das cicatrizes em 1985. A segunda maior classe é a de 27 a 35°, com 23% da área de cicatrizes. A junção das duas classes, sendo o intervalo definido entre 12 e 35°, permite englobar 76% da área de cicatrizes, desse modo, um intervalo com um range de 23° representaria a ocorrência em área de 76% das cicatrizes do evento estudado.

Comparando os resultados obtidos com o trabalho de Lopes et al. (2007) notam-se algumas divergências. No trabalho de Lopes et al. (2007) a classe mais representativa para o ano de 1985 é de 35 a 45° com 53% de ocorrência das cicatrizes. Entretanto, vale ressaltar que os autores trabalharam com a porcentagem relacionada ao número de ocorrência de cicatrizes e o presente trabalho considerou à área das mesmas, além de que a área de estudo no referido trabalho era maior que a da presente pesquisa, fatos esses que podem explicar tal diferença nos resultados.

Figura 11: Modelo Digital de Elevação (MDE) com as cicatrizes de 1985

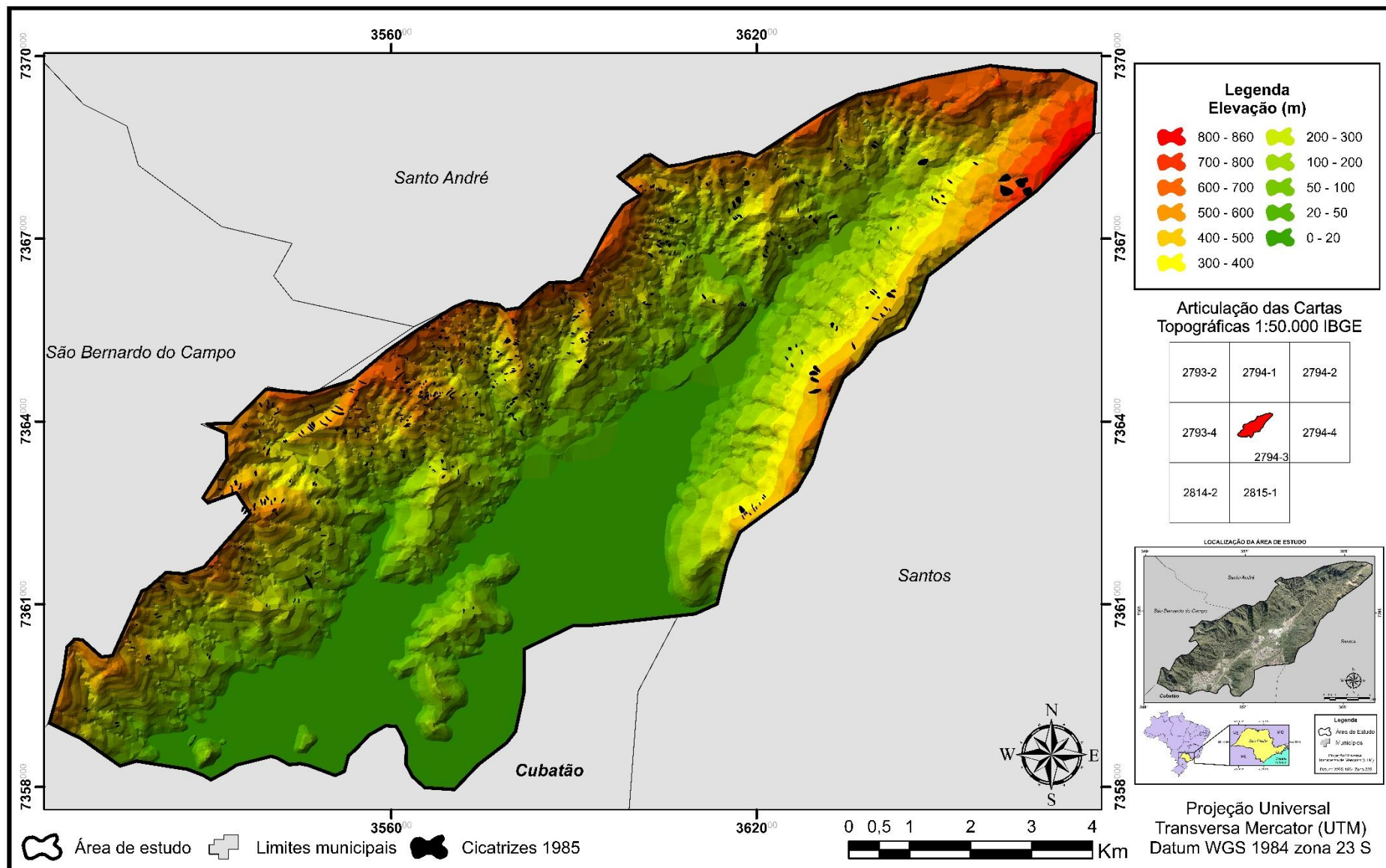


Figura 12: Mapa Hipsométrico com as cicatrizes de 1985

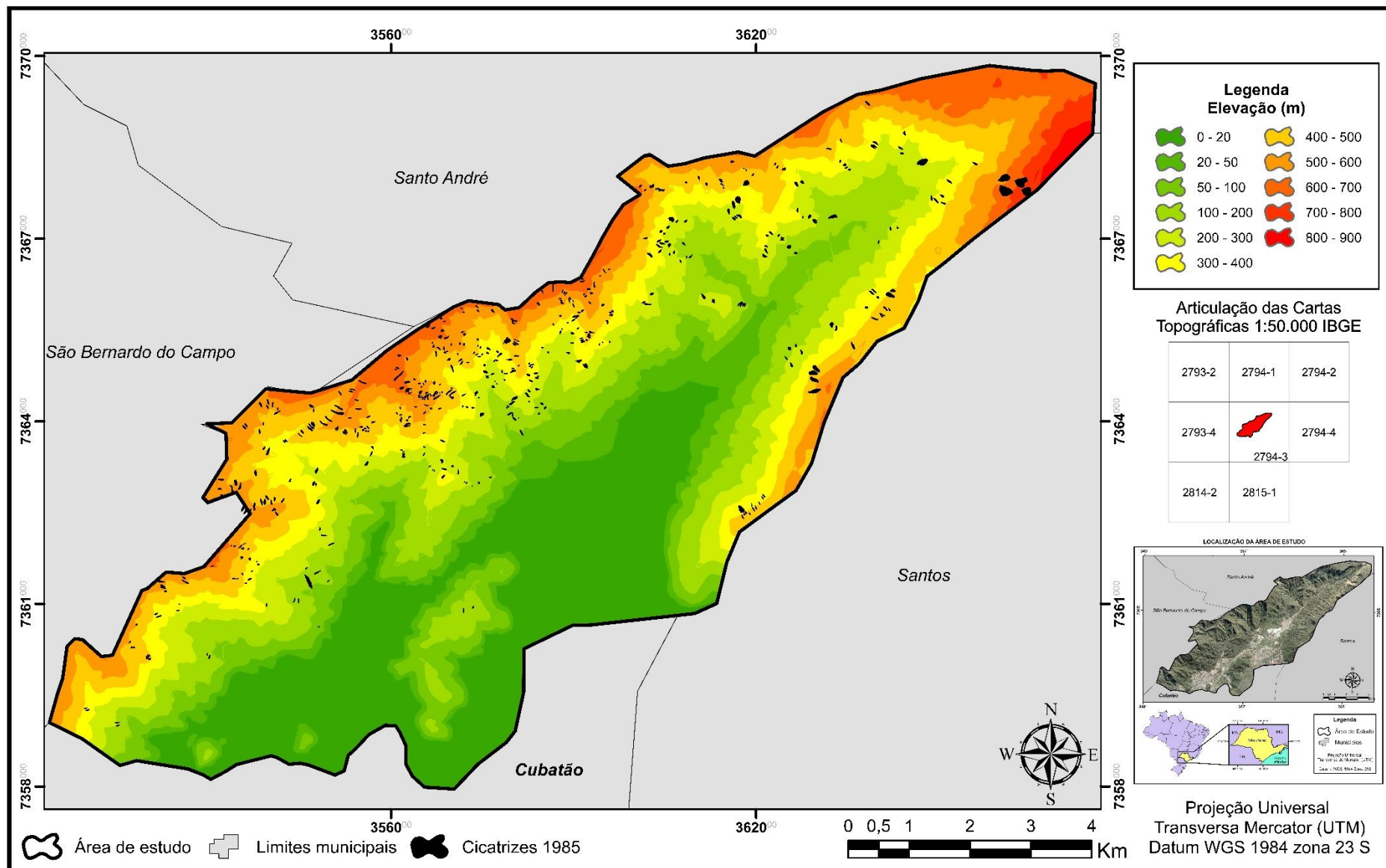
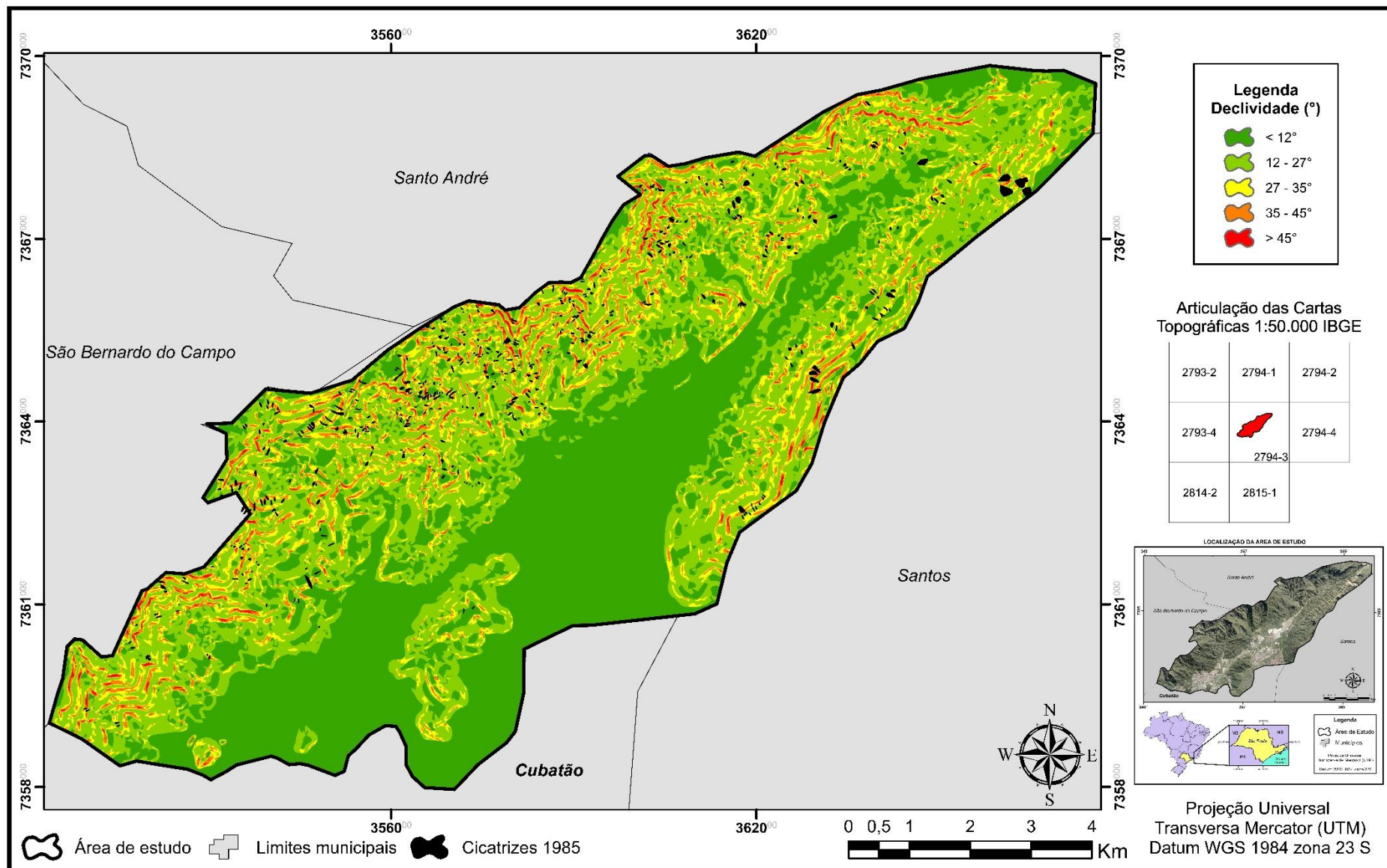


Figura 13: Mapa de Declividade com as cicatrizes de 1985



## 5.2 Mapa de Uso e Ocupação da Terra

Segundo IBGE (2013), o conhecimento sobre o uso da terra ganha relevância pela necessidade de garantir sua sustentabilidade diante das questões ambientais, sociais e econômicas a ele relacionadas. Tal visão ampara a confecção do mapa de Uso e Ocupação da Terra da área de estudo, uma vez o mapa objetiva duas análises. A primeira é averiguar se a ocupação antrópica atua como fator condicionante e/ou desencadeante de escorregamentos e, em caso afirmativo, mesurar a relevância da mesma perante os outros fatores.

O Mapa de Uso e Ocupação da Terra (Figura 15) confeccionado resultou em três classes iniciais, sendo elas: corpo d'água continental, área urbanizada e área de vegetação natural. Como pode ser observado no gráfico (Figura 14), a área de vegetação natural é predominante na área em análise (80%), sendo a maior parte localizada dentro de área de preservação natural (Parque Estadual Serra do Mar), abrangendo locais com relevo escarpado e íngreme, fator que dificulta a ocupação antrópica. A segunda maior classe refere-se à área urbanizada, com 19% do total. A classe denominada corpo d'água continental é pouco expressiva na área de estudo, com apenas 1%. A ocorrência das cicatrizes deu-se apenas na área de vegetação natural.

**Figura 14:** Distribuição das classes de uso e ocupação da terra por área (%)

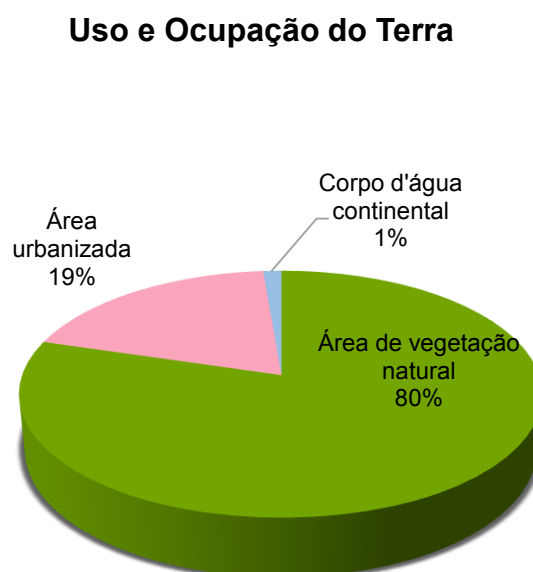
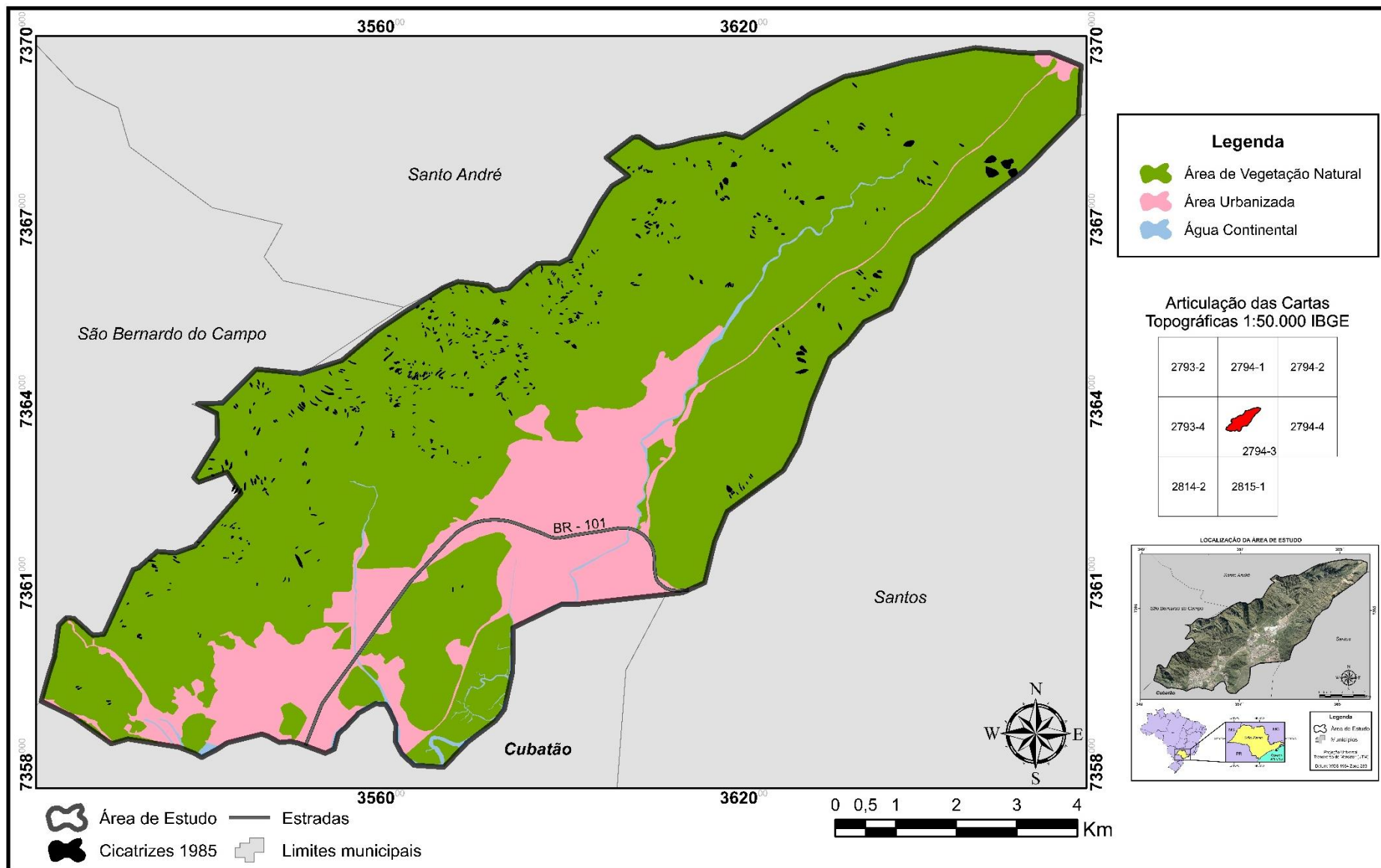


Figura 15: Mapa de Uso e Ocupação da Terra com as cicatrizes de 1985



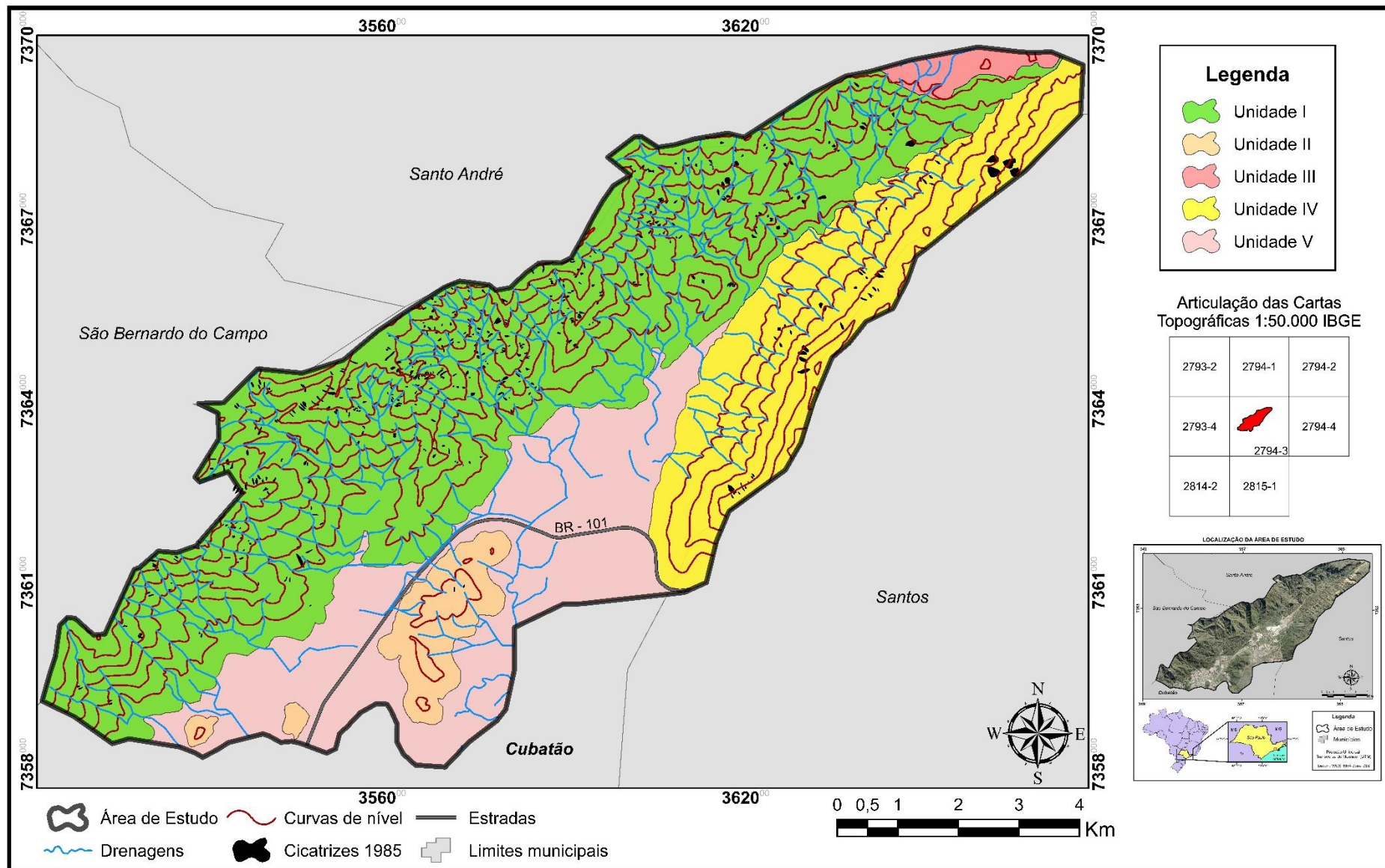
### 5.3 Mapa de Compartimentação Fisiográfica

O Mapa de Compartimentação Fisiográfica (Figura 16 e APÊNDICE 1) confeccionado conta com cinco unidades fisiográficas definidas a partir da análise dos componentes de densidade textural (densidade dos elementos de drenagem e densidade dos elementos de relevo), amplitude local, declividade, forma da encosta, forma do vale, forma do topo, tropia, assimetria de relevo e drenagem, sinuosidade da drenagem e outros elementos descritos em Zaine (2011) e representados no Quadro 12.

**Quadro 12:** Quadro de Fotoanálise

<b>Elementos</b>	<b>Unidade I</b>	<b>Unidade II</b>	<b>Unidade III</b>	<b>Unidade IV</b>	<b>Unidade V</b>
Densidade dos Elementos de Drenagem	Alta	Baixa	Baixa	Média	Alta
Densidade dos Elementos de Relevo	Alta	Baixa	Baixa	Média	Baixa
Amplitude Local	Grande	Pequena	Pequena	Grande	Pequena
Declividade	Alta	Baixa a Média	Baixa	Média a Alta	Baixa
Forma da Encosta	Retilínea	Convexa	Convexa	Convexa e Retilínea	-
Forma do Topo	Anguloso e Arredondado	Arredondado	Arredondado	Arredondado	Aplainado
Tropia	Não orientada	Não orientada	Não orientada	Orientada	Não orientada
Assimetria do Relevo e Drenagem	Muito assimétrico	Muito assimétrico	Muito assimétrico	Pouco assimétrico	Muito assimétrico
Sinuosidade da Drenagem	Mistos	Curvos/ dendríticos	Curvos/ dendríticos	Curvos/ dendríticos	Curvos/ dendríticos

Figura 16: Mapa de Compartimentação Fisiográfica com as cicatrizes de 1985



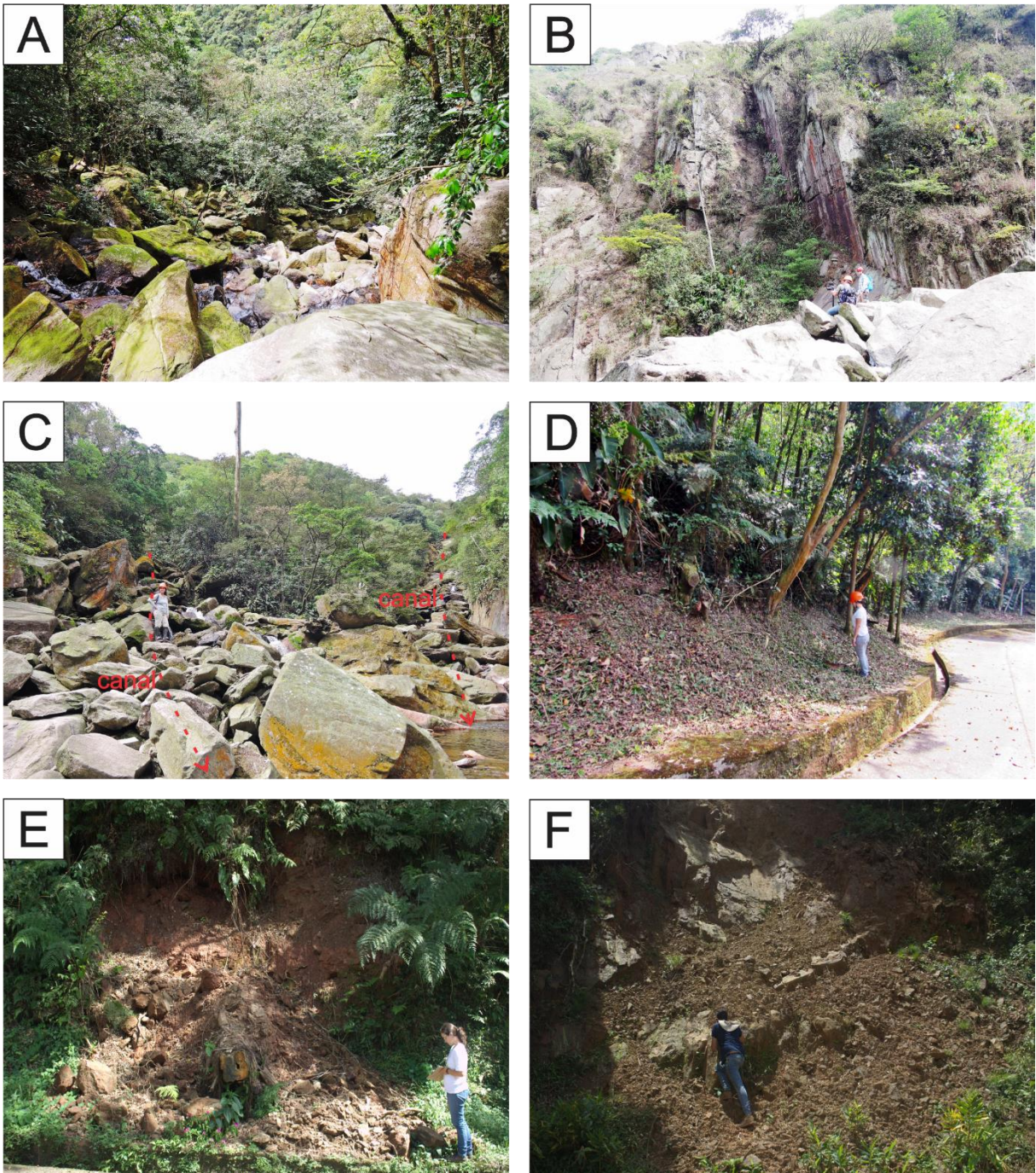
### **5.3.1 Unidade I – Ortognaisses, milonitos e xistos migmatíticos da Zona da Serra do Mar**

A unidade apresenta alta densidade de elementos de relevo e de drenagem. Apresenta grande amplitude local, variando de 0 a 1000 metros, com encostas predominantemente retilíneas principalmente quando localizadas próximas às drenagens (Figura 17 B), vales fechados e topos angulosos a arredondados. Assim como a Unidade 2, encontra-se dentro da subzona da Serra do Mar da província Costeira. A geologia é bastante heterogênea, composta por ortognaisses, rochas miloníticas e xistos migmatíticos do Proterozoico/Neoproterozoico. A estrada estadual “Caminhos do Mar” (SP 148), a usina hidrelétrica Henry Borden e os gasodutos da Petrobrás estão inseridos nessa unidade.

Durante as atividades de campo foram observados acúmulos de blocos em algumas drenagens da unidade, com inversão granulométrica, formando barramentos naturais em alguns pontos. Tais drenagens comumente apresentavam declividades altas (Figura 17 A), com presença de blocos de gnaiss e migmatito angulosos e restos vegetais. Nessas drenagens foi constatado alto risco de deflagração de corrida de blocos/detritos. Na junção de canais foi observado um embricamento com inversão granular de blocos angulosos do embasamento (Figura 17 C), indicando ocorrência de antigas corridas de blocos/detritos nos canais.

Na estrada estadual “Caminhos do Mar” (SP 148) foram observados gnaisses com foliação bem marcada, apresentando deslocamento de blocos concordantes com a foliação. Nessa estrada também foi possível observar duas cicatrizes de escorregamento (Figura 17 E e F), além da ocorrência de rastejo nas encostas (árvores encurvadas – Figura 17 D).

Figura 17: Imagens da Unidade I



(A) Acúmulo de blocos em drenagens com alta declividade, formando barramentos naturais. (B) Altas declividades de encostas retilíneas próximas às drenagens. (C) Encontro de dois canais com alta concentração de blocos angulosos embricados com inversão granulométrica. (D) Árvores encurvadas indicando a ocorrência de rastejo nas encostas. (E e F) Cicatrizes de escorregamento na Estrada Caminhos do Mar.

### 5.3.2 Unidade II – Gnaisses e migmatitos dos Morros isolados da Zona da Baixada Litorânea

A unidade conta com baixa densidade tanto dos elementos de drenagem quanto dos elementos de relevo. Apresenta amplitude pequena – 0 a 100 metros – e declividade baixa a média, com encostas convexas de vales fechados e topos arredondados (Figura 18). Encontra-se dentro da província geomorfológica Costeira e sua geologia é composta por gnaisses e migmatitos.

**Figura 18:** Identificação da Unidade II na paisagem



### 5.3.3 Unidade III – Milonitos e xistos migmatíticos da Zona do Planalto Paulista

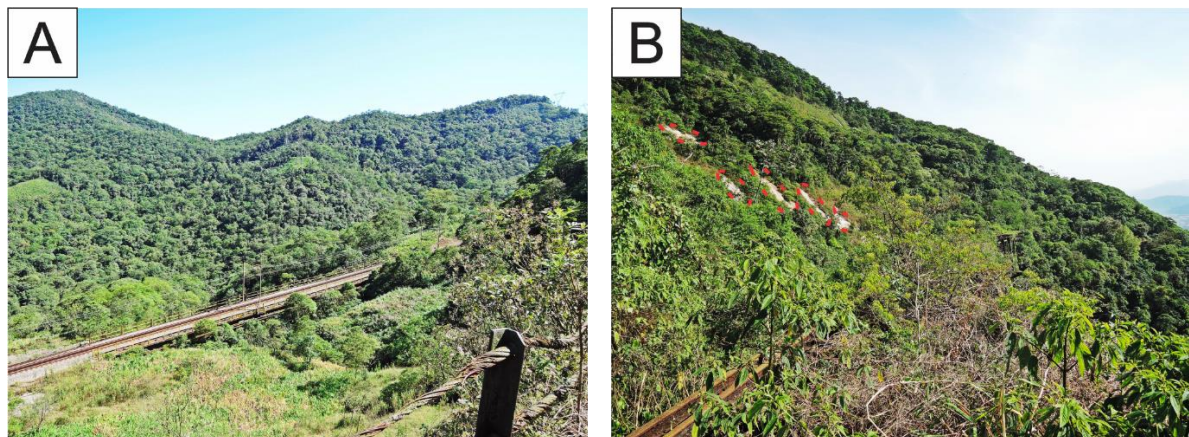
Está inserida na província geomorfológica do Planalto Paulista, sendo a única da área de estudo fora da província Costeira. Apresenta baixa densidade tanto dos elementos de drenagem quanto dos elementos de relevo, amplitude pequena – entre 0 e 50 metros - e declividade baixa. A forma da encosta é convexa com topos arredondados. A geologia é bastante heterogênea, composta predominantemente por rochas miloníticas e xistos migmatíticos. É a unidade menos expressiva da área.

### 5.3.4 Unidade IV – Rochas ígneas e metamórficas da Zona da Serra do Mar

A unidade apresenta grande amplitude (variando de 0 a 1000 metros) e média a alta declividade, com encostas predominantemente convexas e retilíneas, com topos arredondados. A unidade está inserida na província geomorfológica Costeira, subzona da Serra do Mar, com densidade média tanto dos elementos de drenagem quanto dos elementos de relevo. Cortando a unidade encontra-se a estrada ferroviária controlada pela MRS logística e a antiga, já desativada, estrada ferroviária funicular. A geologia é composta por rochas ígneas (granitos, granodioritos) de idade paleozoica e rochas metamórficas (gnaisses migmatíticos, migmatitos) neoproterozoicas.

Durante as atividades de campo foi possível observar algumas cicatrizes de escorregamento e diversos depósitos de tálus ao longo da estrada ferroviária funicular (Figura 19 A e B). Alguns afloramentos apresentavam corpo rochoso intensamente fraturado, com risco de quedas de blocos.

**Figura 19:** Imagens da Unidade IV



(A) Unidade IV com a estrada ferroviária funicular. (B) Encosta com cicatrizes de escorregamento circulasdas em vermelho.

### 5.3.5 Unidade V – Sedimentos inconsolidados da Zona da Baixada Litorânea

A amplitude na Unidade V é pequena, não passando dos 60 metros na área de estudo, e a declividade também é baixa. A unidade apresenta alta densidade de elementos de drenagem alta e baixa densidade de elementos de relevo. Não há a presença de encostas na unidade, por se tratar de uma área aplainada (Figura 20).

Encontra-se inserida na província geomorfológica Costeira, e sua geologia é composta por coberturas detríticas indiferenciadas, que são essencialmente sedimentos de composição arenosa a argiloso de origem coluvial e fluvial, e depósitos aluvionares, depositados principalmente ao longo das principais drenagens existentes na área de estudo. Devido à baixa declividade e amplitude, praticamente toda a área urbana e industrial de Cubatão está inserida nessa unidade.

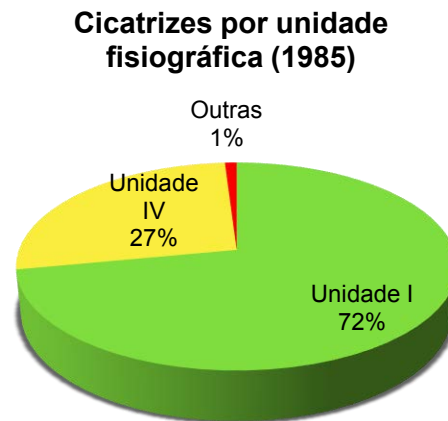
**Figura 20:** Vista da Unidade V a partir da Unidade I



### 5.3.6 Análise das Unidades Fisiográficas

Associando as unidades com as cicatrizes mapeadas das imagens aéreas do evento do ano de 1985, é possível observar que a maioria das cicatrizes de escorregamento ocorre na unidade I. O gráfico da Figura 21 representa a distribuição em porcentagem da área das cicatrizes de 1985 nas unidades fisiográficas.

**Figura 21:** Distribuição das cicatrizes de 1985 nas unidades fisiográficas



Assim, a Unidade I é a mais suscetível de toda a área de estudo à ocorrência de escorregamentos, seguida pela Unidade IV, também com alta suscetibilidade. Ambas as unidades contam com altas declividades e grandes amplitudes topográficas, fatores que influenciam na ocorrência desse processo.

A Unidade I é ocupada praticamente apenas por área de vegetação natural, entretanto, localiza-se próxima às ocupações urbanas, contando com algumas obras industriais (dutovias) em sua área. A Unidade IV também é ocupada por vegetação natural, oferecendo risco apenas à estrada ferroviária controlada pela MRS logística, presente na área.

#### **5.4 Mapas de Suscetibilidade**

Os cenários propostos foram embasados na análise dos condicionantes geológicos, hipsométricos e de declividade. Foram, desse modo, elaborados seis cenários (Figuras 22, 23, 24, 25, 26 e 27), os quais consistem em atribuição de diferentes pesos para cada condicionante e também pesos distintos entre as classes de cada fator.

Figura 22: Cenário A (60% declividade, 30% hipsometria e 10% geologia) com as cicatrizes de 1985

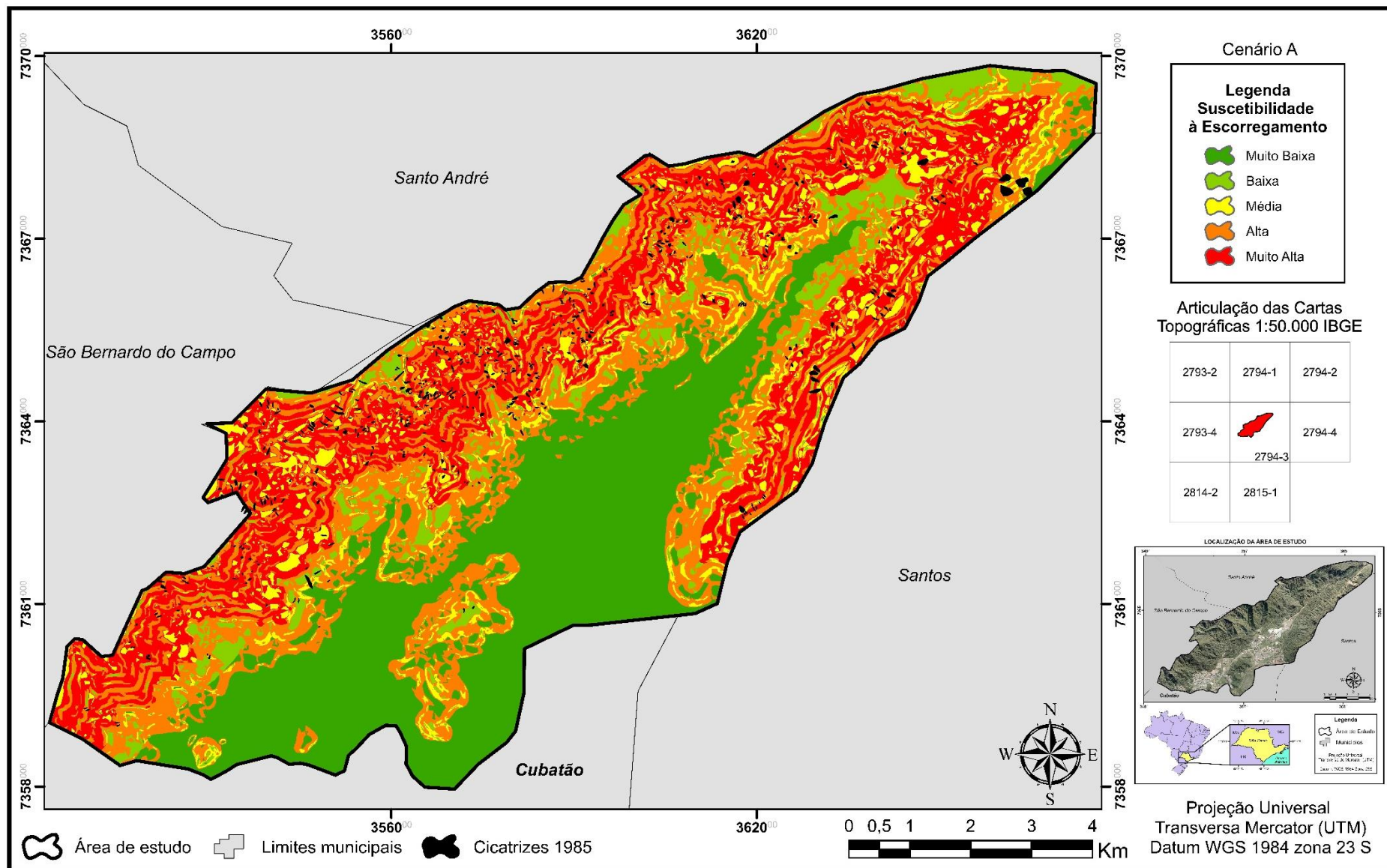


Figura 23: Cenário B (60% declividade, 10% hipsometria e 30% geologia) com as cicatrizes de 1985

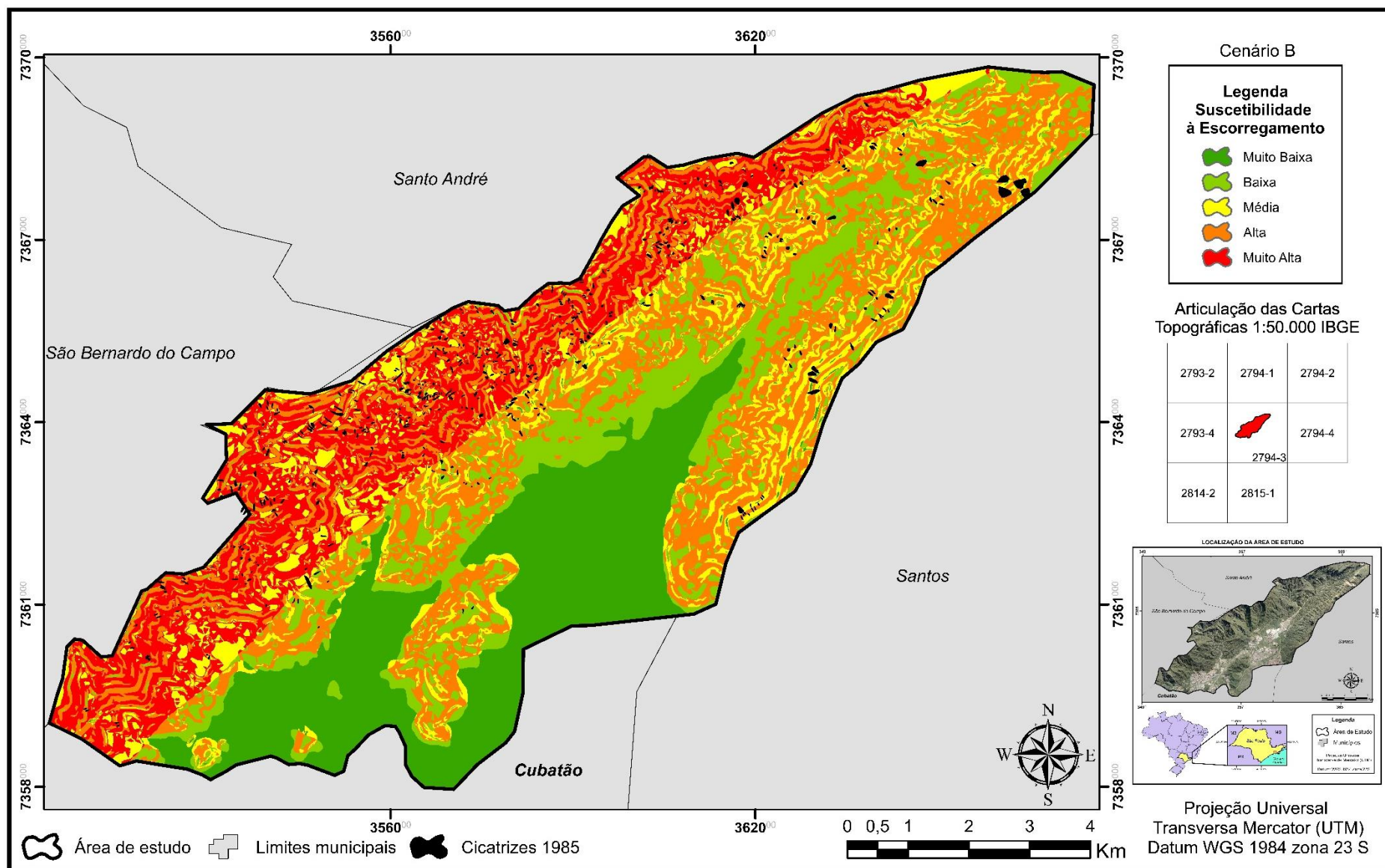


Figura 24: Cenário C (50% declividade, 30% hipsometria e 20% geologia) com as cicatrizes de 1985

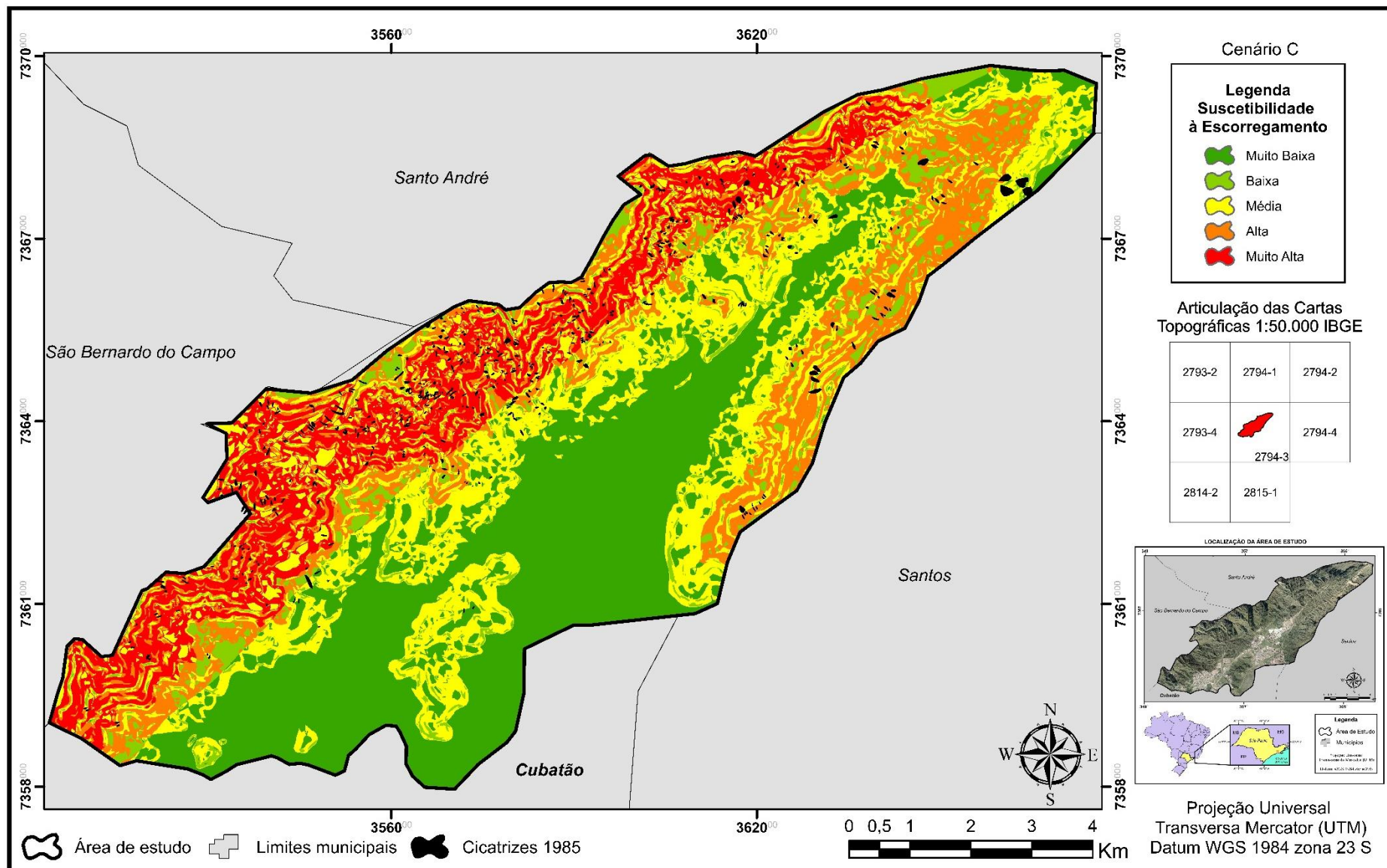


Figura 25: Cenário D (50% declividade, 20% hipsometria e 30% geologia) com as cicatrizes de 1985

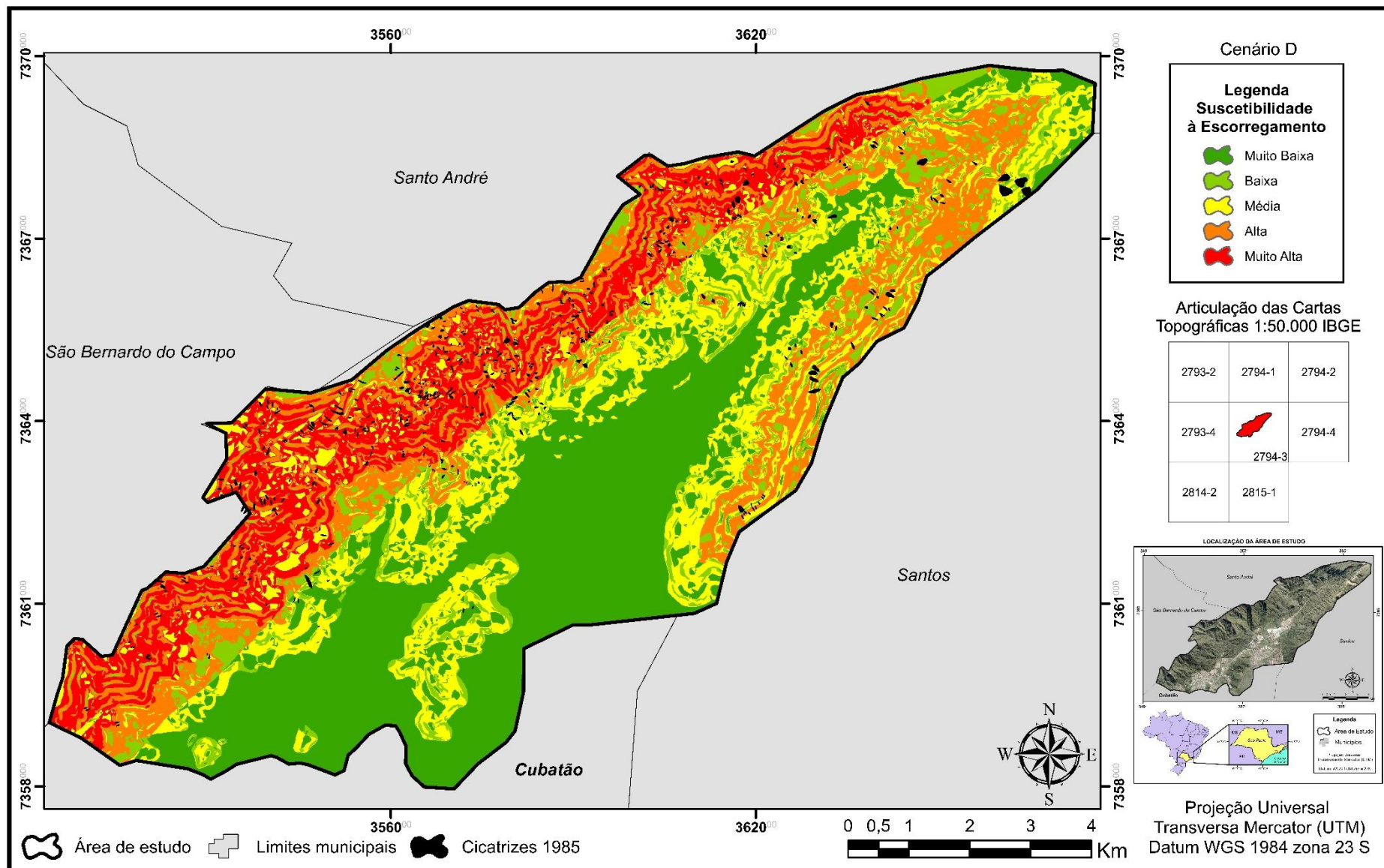


Figura 26: Cenário E (70% declividade, 20% hipsometria e 10% geologia) com as cicatrizes de 1985

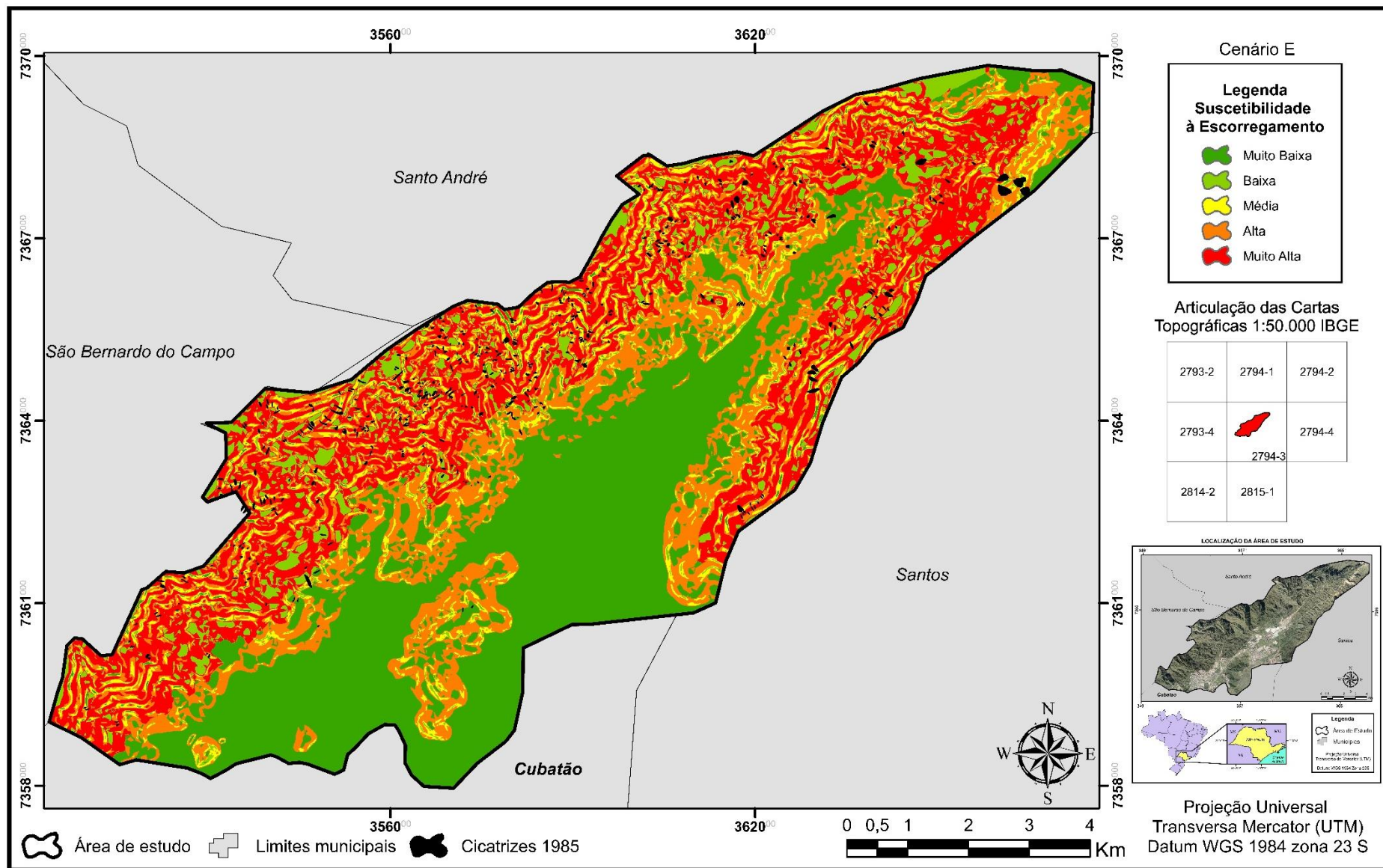
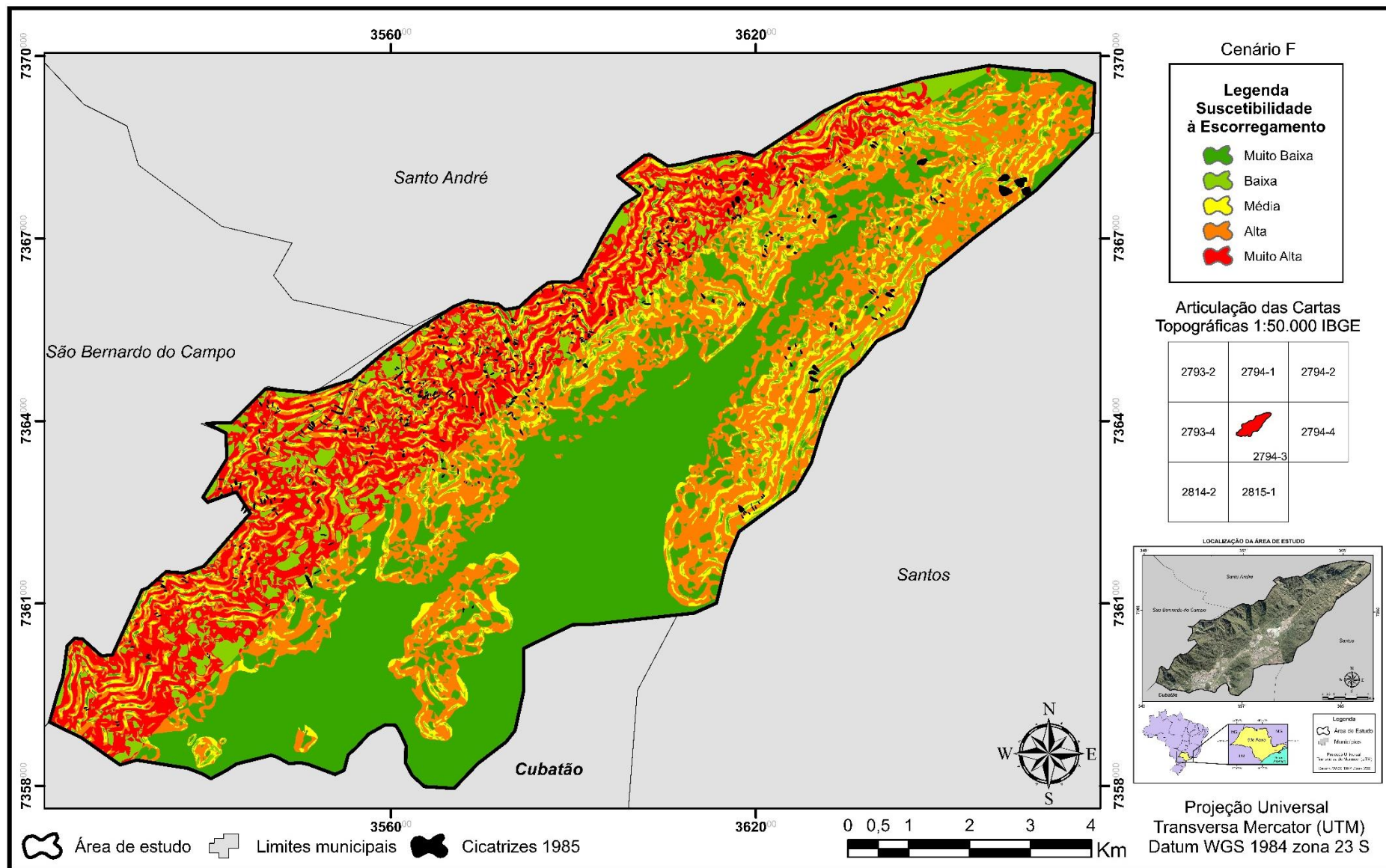


Figura 27: Cenário F (70% declividade, 10% hipsometria e 20% geologia) com as cicatrizes de 1985

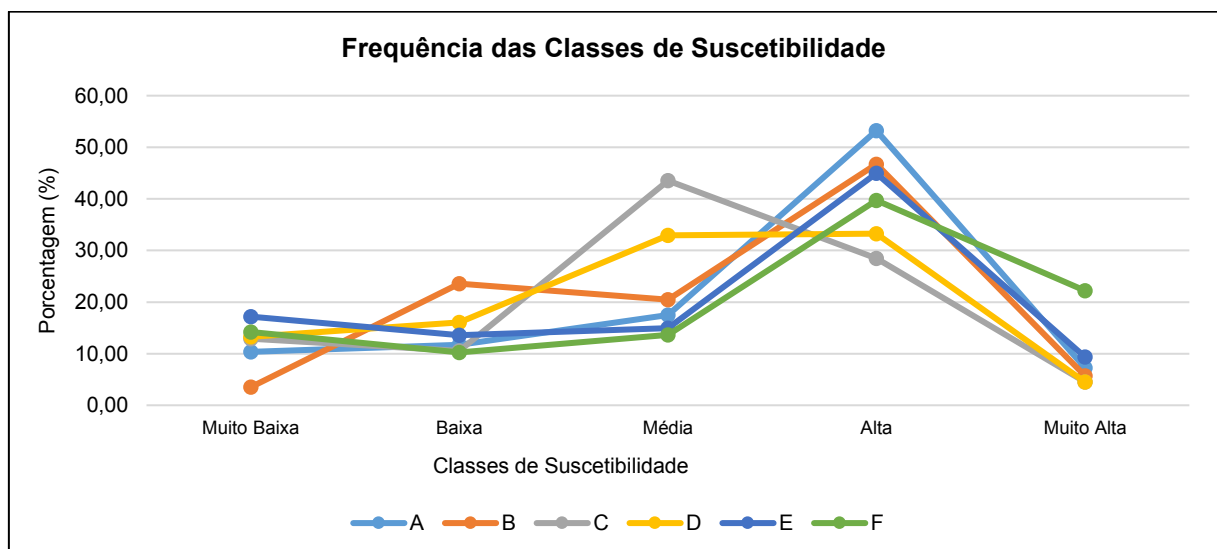


Observa-se que os cenários de suscetibilidade que tiveram o fator geologia com peso superior a 10% apresentaram a presença de uma linha com orientação NE-SW. Isso deve-se ao peso dado à unidade litológica presente na porção noroeste do mapa, correspondente aos migmatitos, que concentraram mais de 50% da ocorrência das cicatrizes

Na Figura 28 é possível observar a frequência das áreas (F), em porcentagem, de cada classe de suscetibilidade dos diferentes cenários. Nota-se que, ao mudar o peso de influência dos condicionantes, há mudanças significativas nas áreas das classes de suscetibilidade. A classe de suscetibilidade alta foi a que apresentou maior porcentagem de área em quase todos os cenários: A (53,22%), B (46,73%), D (33,26%), E (44,95%) e F (39,71%), com exceção do cenário C (28,49%), no qual foi a classe média que se sobressaiu com 43,53%.

Os cenários, em quase sua totalidade, apresentaram valores entre 10 e 18% de área da classe muito baixa, com exceção do cenário B, que contou com o menor valor para a classe (3,52%). Com relação à classe muito alta, o cenário F (22,2%) destaca-se dos demais, os quais apresentaram valores entre 4 e 10%. Os mapas A, B, E e F mostraram valores mais próximos de área na classe média (entre 13 e 21%), diferenciando-se dos obtidos em C e D (43,53 e 32,92% respectivamente).

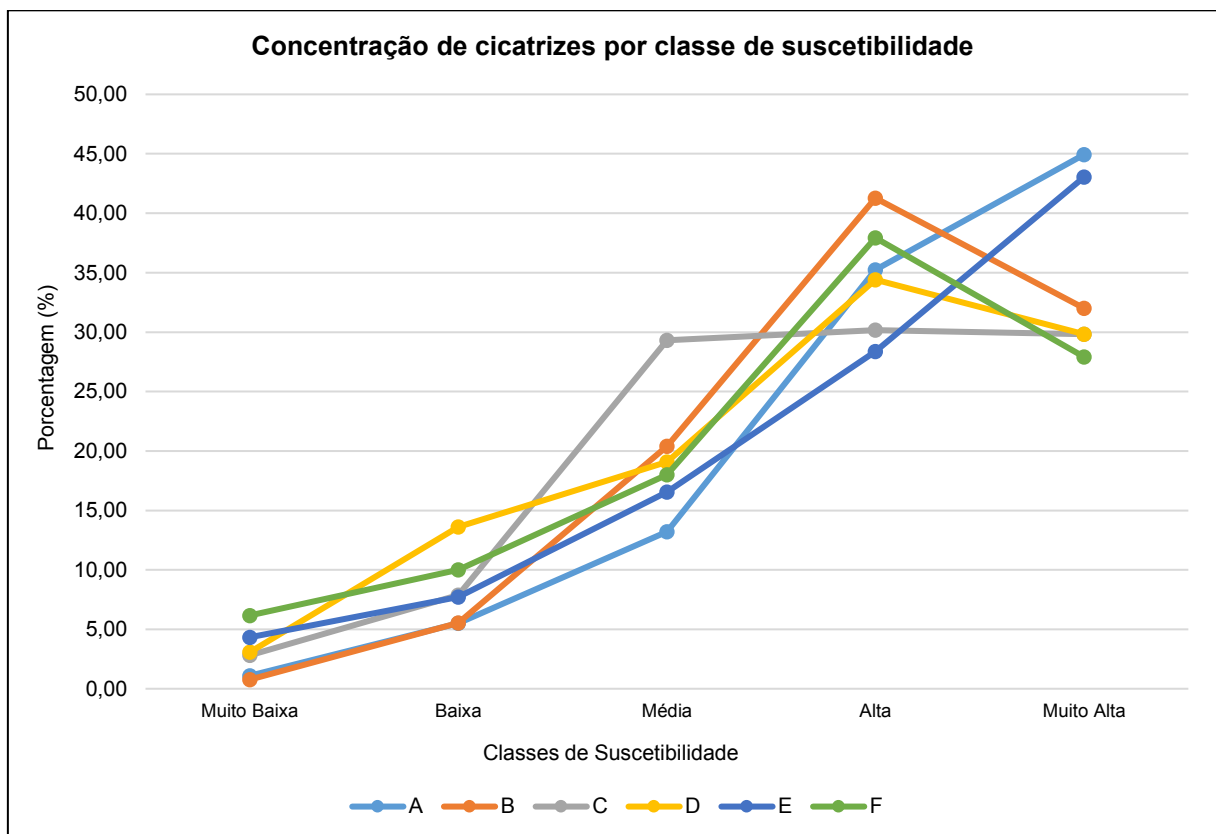
**Figura 28:** Frequência das classes de suscetibilidade, em porcentagem



A Figura 29 apresenta a concentração de cicatrizes (CC) em cada classe de suscetibilidade. A classe muito alta foi a que apresentou as maiores concentrações de cicatrizes em A e E, sendo que os demais (B, C, D e F) apresentaram as maiores porcentagens na classe alta. Os cenários C, D e E apresentaram concentrações de cicatrizes na classe muito baixa entre 2 e 5%. Destacam-se, na referida classe, as baixas concentrações de A (1,09%) e B (0,77%), sendo o maior valor observado no cenário F (6,17%).

A classe muito alta apresentou valores de concentração de cicatrizes entre 29 e 45%. Destacaram-se nessa classe os altos valores encontrados nos cenários A (44,94%) e E (43,04%). O mapa de suscetibilidade F, apesar de apresentar o maior valor de área na classe muito alta, é o cenário com menor concentração de cicatrizes na classe (27,9%).

**Figura 29:** Concentração, em porcentagem, das cicatrizes por classe de suscetibilidade



Analisando os resultados referentes à distribuição das concentrações de cicatrizes nas classes de suscetibilidade notam-se cenários coerentes, uma vez que se esperam baixas porcentagens na classe muito baixa e baixa e porcentagens mais expressivas nas classes alta e muito alta, de tal modo que as duas últimas somam juntas 80,18%, 73,28%, 59,99%, 64,23%, 71,40% e 65,83% nos cenários A, B, C, D, E e F respectivamente. Os melhores cenários foram A, B e E, apresentando os menores valores de concentração de cicatrizes na área muito baixa e maiores valores nas classes alta e muito alta.

### 5.5 Validação dos cenários e dos métodos

A Tabela 1 apresenta os valores percentuais da área instável total e da área instável com e sem cicatrizes. Para ser considerado um bom cenário, é preciso apresentar os maiores valores possíveis correspondentes às áreas instáveis com cicatrizes, desse modo, os cenários A (1,11%) e E (1,08%) se destacaram. O cenário F, ratificando os resultados apresentados anteriormente, é o que apresenta menor porcentagem de área instável com cicatriz (0,75%).

**Tabela 1:** Percentual da área instável total e com e sem cicatrizes

Cenário	Área instável (%)	Área instável com cicatriz (%)	Área instável sem cicatriz (%)
A	77,8	1,11	76,73
B	73,0	0,91	72,04
C	76,5	0,94	75,60
D	70,7	0,88	69,86
E	69,2	1,08	68,15
F	75,6	0,75	74,82

Para a análise das áreas estáveis, validam-se os cenários que apresentarem os menores valores para as áreas estáveis com cicatriz. Observando os valores percentuais da Tabela 2, destacam-se positivamente os cenários A (0,08%) e B (0,06%). O cenário que apresentou maior percentual de área estável com cicatriz foi o cenário D.

**Tabela 2:** Percentual da área instável total e com e sem cicatrizes

<b>Cenário</b>	<b>Área estável (%)</b>	<b>Área estável com cicatriz (%)</b>	<b>Área estável sem cicatriz (%)</b>
<b>A</b>	22,0	0,08	21,95
<b>B</b>	27,0	0,06	26,99
<b>C</b>	23,5	0,12	23,34
<b>D</b>	29,4	0,18	29,21
<b>E</b>	30,8	0,14	30,63
<b>F</b>	24,4	0,14	24,29

Considerando a seleção dos cenários mais representativos quanto às áreas instáveis e estáveis, o cenário A foi identificado como o melhor (APÊNDICE 2), apresentando baixos valores para áreas estáveis com cicatrizes e valores mais altos para áreas instáveis com cicatrizes. Vale salientar que o mesmo foi gerado a partir dos pesos de influência em que a declividade recebeu o valor de 60%, a hipsometria 30% e a geologia 10%. Assim, tal cenário permite afirmar que, na área de estudo, os escorregamentos estão intensamente influenciados pela declividade, seguida pelos condicionantes hipsométrico e geológico.

A pesquisa desenvolvida por Gabelini (2017) na região de Caraguatatuba (SP) apresenta resultados análogos. A autora utiliza dois métodos diferentes na geração de mapas de suscetibilidade. O Método 1 gera o mapa de suscetibilidade a partir de pesos de influência (%) apenas para os fatores condicionantes (declividade, hipsometria e geologia). O Método 2 utiliza o mesmo peso de influência para os fatores, mas junto com estes pesos foram acrescentados pesos para cada classe de cada fator. O Método 2 da autora é o mesmo utilizado na presente pesquisa e o resultado de ambos os trabalhos indicam que o melhor mapa de suscetibilidade contempla os pesos de influência de 60% declividade, 30% hipsometria e 10% geologia, contando com pesos distintos para as classes de cada condicionante.

## 6 CONCLUSÕES

A análise fisiográfica e quantitativa (frequência das classes e concentração de cicatrizes) identifica que os escorregamentos mapeados nas imagens referentes ao evento de janeiro de 1985 se concentram nas classes hipsométricas entre 300 e 600 metros de altitude, sendo que as ocorrências desta faixa representam 60,87% da área das cicatrizes mapeadas. Com relação à declividade, as classes entre 12 e 35° concentram 75,75% da área das cicatrizes. A litologia correspondente aos migmatitos apresenta maior ocorrência das cicatrizes, com 55,78% da área das mesmas.

A Carta de Uso e Ocupação da Terra visou inicialmente duas possíveis análises, sendo a segunda dependente do resultado da primeira. A primeira análise consistiu em averiguar se a ocupação antrópica atua como fator condicionante e/ou desencadeante de escorregamentos e, em caso afirmativo, a segunda análise mensuraria a relevância da mesma perante os outros fatores. A ocorrência das cicatrizes mapeadas para o evento de 1985 limitou-se 100% às áreas de vegetação natural. Assim, o mapa de uso e ocupação da terra não foi considerado durante a confecção dos mapas de suscetibilidade.

A Compartimentação Fisiográfica proporciona uma homogeneização de unidades com características similares, auxiliando na compreensão do meio físico. A partir da análise do Mapa de Compartimentação Fisiográfica com as cicatrizes do evento de janeiro de 1985 identifica-se, de forma clara, que a Unidade Fisiográfica I, majoritariamente, e a unidade IV, de forma secundária, são as mais suscetíveis a escorregamentos dentro da área de estudo. Tais unidades apresentam altas declividades e grandes amplitudes topográficas, fatores que influenciam na suscetibilidade.

Os seis cenários de suscetibilidade gerados mostraram-se coerentes durante as análises, sobressaindo-se dos demais o cenário A, o qual considerou 60% de peso para declividade, 30% para hipsometria e 10% geologia. Esse cenário apresenta baixos valores de ocorrência de cicatrizes em áreas estáveis (classes muito baixa e baixa) e valores mais altos para áreas instáveis (classes média, alta e muito alta), sendo assim, o mais representativo.

## 7 REFERÊNCIAS

ATLAS BRASIL 2013. **Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil**. Disponível em: < [http://atlasbrasil.org.br/2013/pt/perfil\\_m/cubatao\\_sp](http://atlasbrasil.org.br/2013/pt/perfil_m/cubatao_sp)>. Acesso em 12 de set. 2017.

AUGUSTO FILHO, O. Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. In: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos; **Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas**, 1, Rio de Janeiro. ABMS/ABGE/PCRJ. v.2, 1992. p. 721-733.

AUGUSTO FILHO, O. **Carta de risco de escorregamento quantificada em ambiente de SIG como subsídio para implantação de seguros em áreas urbanas: um ensaio em Caraguatatuba (SP)**. 2001. 196f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

AUGUSTO FILHO, O. **Carta de riscos de escorregamentos: uma proposta metodológica e sua aplicação no município de Ilha Bela, SP**. 1994. 168f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de solos) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

BORGES, W. R.; BRAGA JR., J. C.; TORRES, F. R.. "O que você precisa saber sobre Cubatão". **Cubatão: Design & Print** (com apoio do Arquivo Histórico Municipal de Cubatão), 2002.

CEPAGRI. **Clima dos Municípios Paulistas**. Disponível em: <[http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima\\_muni\\_151.html](http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_151.html)>. Acesso em 10 de nov. de 2017.

COROMINAS, J. et al. Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk. **Bulletin of engineering geology and the environment**, v. 73, n. 2, p. 209-263, 2014.

COUTO, J. M. **Entre estatais e transnacionais: o pólo industrial de Cubatão**. 2003. Tese (Doutorado em Ciências Econômicas) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Economia da Unicamp, Campinas.

CPRM – COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Geologia e Recursos Minerais do Estado de São Paulo: Sistemas de Informações Geográficas (SIG)**. Brasília: MME, Programa Geologia do Brasil: Integração, Atualização e Difusão de Dados da Geologia do Brasil, Mapas Geológicos Estaduais escala 1:750000, CD-ROM, 2006.

CRUZ, O. **A Serra do Mar e o Litoral na área de Caraguatatuba - SP**. p. 181. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1974.

DE MARINS, C. et al. Os anfíbolitos do complexo costeiro na região de São Sebastião, SP. **Geologia USP**. Série Científica, v. 9, n. 3, p. 71-87, 2009.

DE PAULA, J. P. L. et al. Análise fisiográfica aplicada à elaboração de mapa geológico-geotécnico de região da Serra do Mar e Baixada Santista. **Geociências (São Paulo)**, v. 27, n. 2, p. 249-264, 2008.

DIETRICH, W. E.; ASUA, R.R.; TRSO, M. **A validation study of the shallow slope stability model, SHALSTAB, in forested lands of Northern California**. Department of Geology and Geophysics University of California, Berkeley, 1998.

EINSTEIN, H. H. Landslides risk assessment procedue. In: Internacional Symposium on Landslides, 5, **Lausanne**, 1988. Vol. 2. P. 1075-1090.

GABELINI, B. M. **Suscetibilidade a escorregamentos na região entre Caraguatatuba e São Sebastião (SP): Análise fisiográfica e quantitativa**. 2017, 121 p. Dissertação de Mestrado em Geociências e Meio Ambiente. Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2017.

GOETZ, J.; GUTHRIE, R.; BRENNING, A. Integrating physical and empirical landslide susceptibility models using generalized additive models. **Geomorphology**, v. 129, n. 3-4, p. 376-386, 2011.

GRAMANI, M. F. **Caracterização geológica-geotécnica das corridas de detritos (“Debris Flows”) no Brasil e comparação com alguns casos internacionais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Solos), EPUSP – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2001. 372p.

GUIDICINI, G.; IWASA, O. Y. **Ensaio de correlação entre pluviosidade e escorregamentos no meio tropical úmido**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1976. 48p. (publicação, 1080).

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. **Estabilidade de taludes naturais e de escavação**. 2. ed. São Paulo: Edgar Blücher Ltda, 1984. 194 p.

GUZZETTI, F.; CARRARA, A.; CARDINALI, M.; REICHENBACH, P. Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. **Geomorphology**, v. 31, n. 1, p. 181-216, 1999.

GUZZETTI, F.; REICHENBACH, P.; CARDINALI, M.; GALLI, M.; ARDIZZONE, F. Probabilistic landslide hazard assessment at the basin scale. **Geomorphology**, v. 72, n. 1, p. 272-299, 2005.

HASUI, Y.; SADOWSKI, G.R. Evolução geológica do Pre-cambriano na região sudeste do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Geologia**, v. 6, p. 182-200, 1976.

IBGE. **Cidades: Cubatão**. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=351350>>. Acesso em 12 de set. 2017.

IBGE. Manual Técnico de Uso da Terra. **Manuais Técnicos em Geociências**. Rio de Janeiro, n°7, 3ª edição, 171p., 2013.

INFANTIL JR, N.; FORNASARI FILHO, N. Processos de Dinâmica Superficial. In: OLIVEIRA, A. M. S. et al. **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, ABGE, 1998.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT) **Estudos das instabilizações de encostas da Serra do Mar na região de Cubatão, objetivando a caracterização do fenômeno “Corrida de Lama” e a prevenção de seus efeitos**. São Paulo, 1987. Relatório n 25636/87.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT) **Programa Serra do Mar: Carta geotécnica da Serra do Mar nas folhas de Santos e Riacho Grande**. São Paulo, 1988a. Relatório n 26504.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). **Programa Serra do Mar: Levantamentos básicos nas folhas de Santos e Riacho Grande, Estado de São Paulo**. São Paulo, Relatório n. 23394, v. 5, 1986.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo 1:500.000**. São Paulo, v. 1 e 2, 1981.

LOPES, E. S. S. **Modelagem Espacial Dinâmica aplicada ao estudo de movimentos de massa em uma região da Serra do Mar Paulista, na escala 1:10.000**. 2006. 332 p. Tese de Doutorado em Geociências e Meio Ambiente. Universidade Estadual Paulista (Unesp), Rio Claro, 2006.

LOPES, E. S. S.; RIEDEL, P. S.; BENTS, C. M.; FERREIRA, M. V.; NALETO, J. L. C. Inventário de escorregamentos naturais em banco de dados geográfico – análise dos fatores condicionantes na região da Serra de Cubatão – SP. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2007, Florianópolis. **Anais**: INPE, p. 2785-2796.

MARCELINO, E. V. **Mapeamento de Áreas Susceptíveis a escorregamento no Município de Caraguatatuba (SP) usando técnicas de Sensoriamento Remoto**. 2004. 228p. Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto. INPE, São José dos Campos, 2003.

MONTGOMERY, D.; DIETRICH, W. A physically based model for the topographic control on shallow landsliding. **Water Resources Research**, v. 30, n. 4, p. 1153-1171, 1994.

SADOWSKI, G. R. **Tectônica da Serra de Cubatão**. 1974. 159 p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo - USP, São Paulo, 1974.

SALCIARINI, D. et al. Modeling regional initiation of rainfall-induced shallow landslides in the eastern Umbria Regional of Central Italy. **Landslides**, v. 3, n. 3, p.181-194, 2006.

SESTINI, M. F. **Variáveis Geomorfológicas no Estudo de Escorregamentos em Caraguatatuba-SP utilizando imagens TM-LANDSAT e SIG**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). São José dos Campos. 2000.

SHARPE, C. F. S. **Landslides and related phenomena**. Nova York: Columbia University Press, 1938. 137p.

SOARES, P.C.; FIORI, A.P. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. **Notícia Geomorfológica**, v. 16, n. 32, p. 71–104, 1976.

TATIZANA, C. et al. Análise de correlação entre chuvas e escorregamentos na Serra do Mar, município de Cubatão. In: Congresso Brasileiro De Geologia De Engenharia, 5, 1987, São Paulo. **Anais**. São Paulo: ABGE, v.2, p.225-236, 1987a.

TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. **Desastres Naturais: conhecer para prevenir**. 1ª Edição. São Paulo: Instituto Geológico, 2009.

USGS. **Landslide types and processes**. 2004. Fact Sheet 2004-3072. Disponível em: <<http://pubs.usgs.gov/fs/2004/3072/fs-2004-3072.html>>. Acesso em: 29 de agosto de 2016.

VARNES, D. J. Landslide hazard zonation: a review of principles and practice. **UNESCO Press**, Paris, 63 pp, 1984.

VARNES, D. J. Slope movements types and processes. In: SCHUSTER, R. L.; KRIZEK, R. J. (Eds.). **Landslides analyses and control**. Washington: National Academy of Science, 1978. P. 11-33.

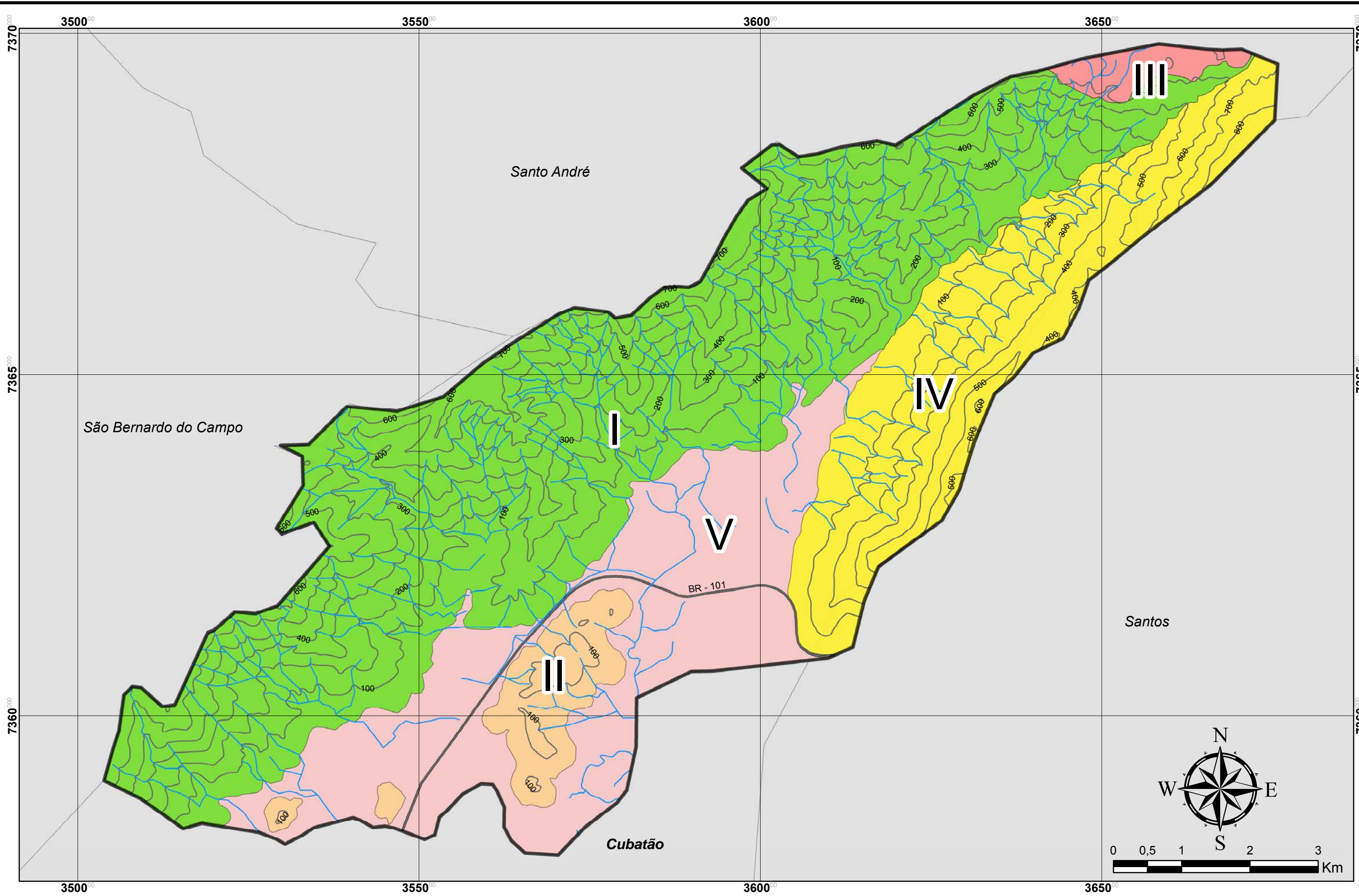
VIEIRA, B. C. **Previsão de escorregamentos translacionais rasos na Serra do Mar (SP) a partir de modelos matemáticos em bases físicas**. Tese de doutorado Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de PósGraduação em Geografia. Rio de Janeiro, 193 p., 2007.

ZAINE, J. E. **Método de Fotogeologia aplicado a estudos geológico-geotécnicos: ensaio em Poços de Caldas, MG**. 2011. Tese (Livre docência em Geociências e Meio Ambiente) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro.

ZUQUETTE, L. V. **Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico: fundamento e guia para elaboração**. 1993. 2v. 368f. Tese de Doutorado. Tese (Livre-docência em Geotecnia) – Escola de Engenharia da Universidade de São Paulo, São Carlos.

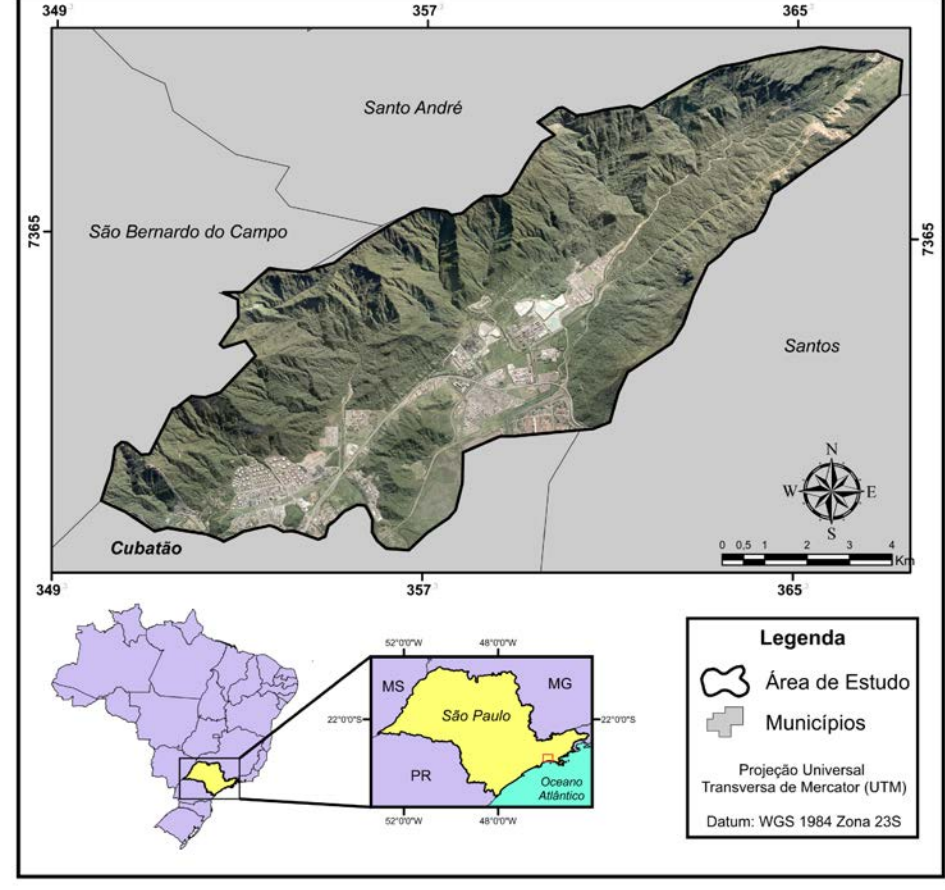
WOLLE, C.M. **Análise dos escorregamentos translacionais numa região da Serra do Mar no contexto de uma classificação de mecanismos de instabilização de encostas**. 1988. 394f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica da USP, São Paulo.

## **APÊNDICE 1**



Elementos	Unidade I	Unidade II	Unidade III	Unidade IV	Unidade V
Densidade dos Elementos de Drenagem	Alta (> 30/ km <sup>2</sup> )	Baixa (0 a 5/10 km <sup>2</sup> )	Baixa (0 a 5/10 km <sup>2</sup> )	Média (5 a 30/10 km <sup>2</sup> )	Alta (> 30/ km <sup>2</sup> )
Densidade dos Elementos de Relevo	Alta (mais rugosa)	Baixa (mais lisa)	Baixa (mais lisa)	Média	Baixa (mais lisa)
Amplitude Local	Grande (> 300 m)	Pequena (0 a 100 m)	Pequena (0 a 100 m)	Grande (> 300 m)	Pequena (0 a 100 m)
Declividade	Alta (> 30%)	Baixa (0 - 15%)	Baixa (0 - 15%)	Média (15 - 30%)	Baixa (0 - 15%)
Forma da Encosta	Retilínea	Convexa	Convexa	Retilínea	
Forma do Topo	Angulosos	Arredondados	Arredondados	Arredondados	Aplainados
Tropia	Não orientada	Não orientada	Não orientada	Orientada	Não orientada
Assimetria do Relevo e Drenagem	Muito assimétrico	Muito assimétrico	Muito assimétrico	Pouco assimétrico	Muito assimétrico
Sinuosidade da Drenagem	Mistos	Curvos/dendríticos	Curvos/dendríticos	Curvos/dendríticos	Curvos/dendríticos

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO



Articulação das Cartas Topográficas 1:50.000 IBGE

2793-2	2794-1	2794-2
2793-4		2794-4
	2794-3	
2814-2	2815-1	

### CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Área de Estudo
- Limites municipais
- Drenagens
- Curvas de nível
- Estradas

### Legenda

- Unidade I
- Unidade II
- Unidade III
- Unidade IV
- Unidade V

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO" **unesp**  
Campus de Rio Claro

### Trabalho de Conclusão do Curso

Avaliação dos atributos geológico-geotécnicos na dinâmica de escorregamentos na Serra do Mar: Estudo de caso na região das Bacias dos Rios Perequê e Mogi, Cubatão (SP)

### Mapa de Compartimentação Fisiográfica

### APÊNDICE 1

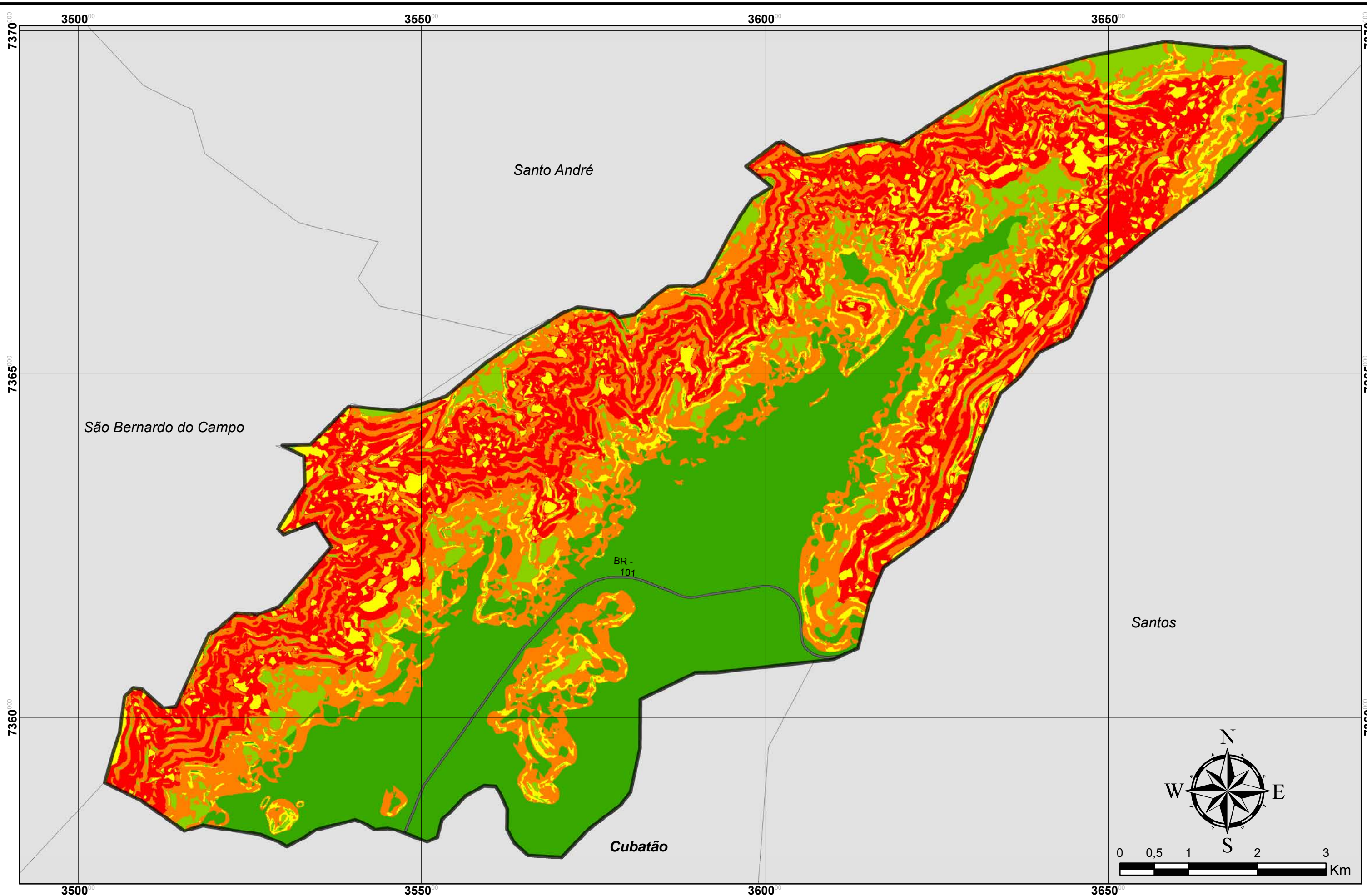
Escala numérica 1:50.000

Projeção Universal Transversa de Mercator  
Sistema de Coordenadas WGS  
Datum WGS 1984 Zona 23 S

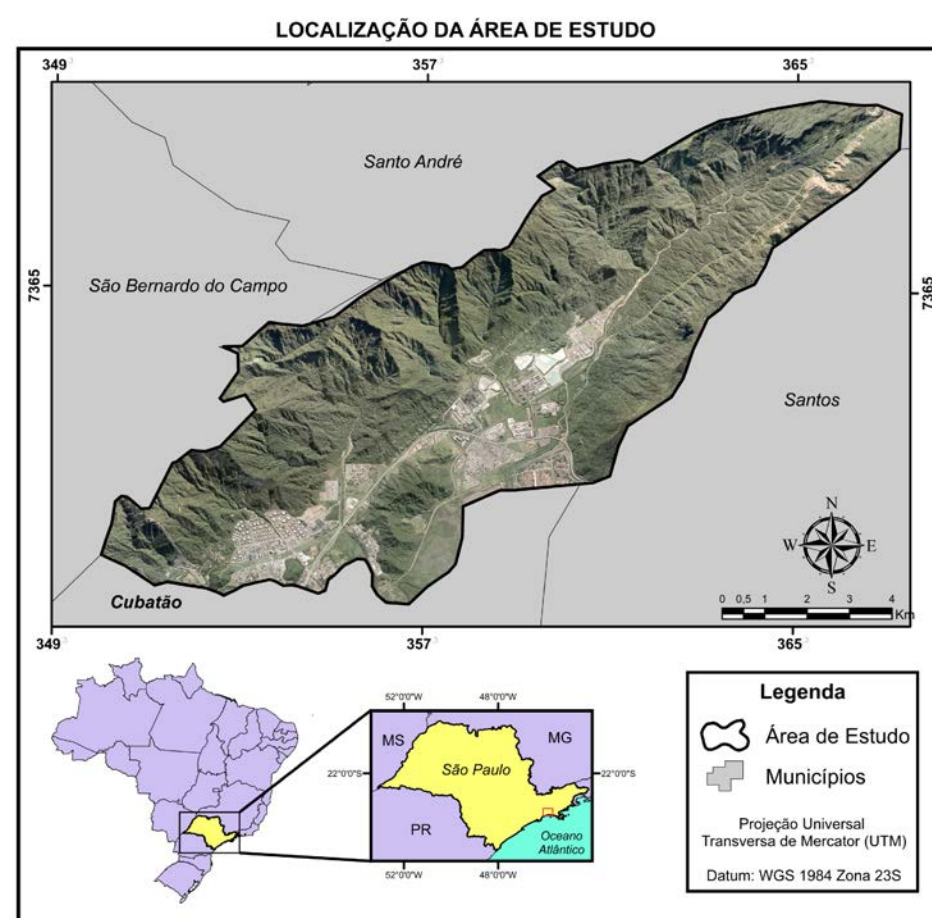
**Gabriela Marques Florencio**

Orientador: Prof. Dr. Fábio Augusto Gomes Vieira Reis

## APÊNDICE 2



Condicionante	Classes	Peso
Declividade (60%)	< 12°	2
	12° a 27°	5
	27° a 35°	4
	35° a 45°	3
	> 45°	1
Hipsometria (30%)	0 – 20 m	1
	20 – 50 m	1
	50 – 100 m	1
	100 – 200 m	2
	200 – 300 m	4
	300 – 400 m	4
	400 – 500 m	5
	500 – 600 m	4
	600 – 700 m	2
	700 – 800 m	1
800 – 900 m	1	
Geologia (10%)	Ofalmito	2
	Migmatito	5
	Rochas cataclásticas	2
	Granitos	2
	Calcio-silicatadas	1
	Filitos e xistos	2
	Areias e argilas	1
	Colúvio e Tálus	1



Articulação das Cartas Topográficas 1:50.000 IBGE

2793-2	2794-1	2794-2
2793-4	2794-3	2794-4
2814-2	2815-1	



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO" **unesp**

Campus de Rio Claro

**Trabalho de Conclusão do Curso**

Avaliação dos atributos geológico-geotécnicos na dinâmica de escorregamentos na Serra do Mar: Estudo de caso na região das Bacias dos Rios Perequê e Mogi, Cubatão (SP)

**Mapa de Suscetibilidade Cenário A**

**APÊNDICE 2**

Escala numérica 1:50.000

Projeção Universal Transversa de Mercator  
Sistema de Coordenadas WGS  
Datum WGS 1984 Zona 23 S

**Gabriela Marques Florencio**  
Orientador: Prof. Dr. Fábio Augusto Gomes Vieira Reis