



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

“JULIO DE MESQUITA FILHO”

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Câmpus de Rio Claro



**EMPREGO DE ÍNDICES E PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS PARA
AVALIAÇÃO DA POTENCIALIDADE À OCORRÊNCIA DE CORRIDAS DE
DETRITOS EM SUB-BACIAS DO RIO PEREQUÊ, CUBATÃO (SP)**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

NATÁLIA RAFAELA DE ALMEIDA

Rio Claro – SP

2019

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“Júlio de Mesquita Filho”
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro

NATÁLIA RAFAELA DE ALMEIDA

**EMPREGO DE ÍNDICES E PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS PARA
AVALIAÇÃO DA POTENCIALIDADE À OCORRÊNCIA DE CORRIDAS DE
DETRITOS EM SUB-BACIAS DO RIO PEREQUÊ, CUBATÃO (SP)**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geociências e Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Augusto Gomes Vieira Reis

Rio Claro – SP
2019

A447e Almeida, Natália Rafaela de
Emprego de índices e parâmetros morfométricos para avaliação da potencialidade à ocorrência de corridas de detritos em sub-bacias do Rio Perequê, Cubatão (SP) / Natália Rafaela de Almeida. -- Rio Claro, 2019
119 p. : il., tabs., fotos, mapas + 1 CD-ROM

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro
Orientador: Fábio Augusto Gomes Vieira Reis

1. Geomorfologia. 2. escorregamentos. 3. corridas de detritos. 4. índices e parâmetros morfométricos. 5. Serra do Mar. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

NATÁLIA RAFAELA DE ALMEIDA

EMPREGO DE ÍNDICES E PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS PARA
AVALIAÇÃO DA POTENCIALIDADE À OCORRÊNCIA DE CORRIDAS DE
DETRITOS EM SUB-BACIAS DO RIO PEREQUÊ, CUBATÃO (SP)

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geociências e Meio Ambiente.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Fábio Augusto Gomes Vieira Reis
IGCE – Unesp Rio Claro (SP)

Prof. Dr. José Eduardo Zaine
IGCE – Unesp Rio Claro (SP)

Claudia Vanessa dos Santos Corrêa
CEMADEN – São José dos Campos (SP)

Conceito: APROVADA

Rio Claro, SP, 12 de março de 2019.

Aos meus pais (Marcos e Nina)
e família.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Primeiramente, agradeço aos meus pais e toda a minha família pelo apoio e suporte durante toda a minha vida.

Obrigada ao Professor Doutor Fábio Augusto Gomes Vieira Reis pela orientação e pelas ideias ao longo destes 30 meses de pesquisa e também aos membros da banca que aceitaram fazer parte da discussão: Professor Doutor José Eduardo Zaine e Doutora Claudia Vanessa dos Santos Corrêa.

Obrigada a todos os amigos do Laboratório de Geotecnia e Meio Ambiente (GEMA) pela amizade, principalmente à Rebeca Meyer e a Cláudia Corrêa (novamente). Agradeço ao Victor Cabral por todos os auxílios e aprendizados. A todos os amigos do LESTE. A todos os amigos do programa da pós-graduação em Geociências e Meio Ambiente que estiveram presente durante este período. A todos os funcionários do Departamento de Geologia Aplicada (DGA) e Departamento de Petrologia e Metalogenia (DPM) que estiveram presentes no dia-a-dia e sempre dispostos a ajudar.

Aos amigos da graduação que ainda continuam presentes diariamente, e que mesmo com a distância me ajudam a sempre seguir em frente (Bárbara, Milena Cássia, Julia, Adriano e Nayara).

Por fim, agradeço aos amigos de Piracicaba pela companhia no dia-a-dia turbulento e pela força nos momentos de desespero.

*“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é
senão uma gota de água no mar. Mas o mar seria
menor se lhe faltasse uma gota.”*

- Madre Teresa de Calcutá -

*“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades.
Lembrai-vos, de que, as grandes coisas do homem foram
conquistadas do que parecia impossível.”*

- Charles Chaplin -

RESUMO

As corridas de detritos são fenômenos naturais que podem ser vistos no mundo todo. Tratam-se de processos de movimentos de massa onde ocorre o escoamento rápido do material e comumente está associado aos altos índices pluviométricos e/ou variáveis do meio físico. A Serra do Mar possui características geomorfológicas e climáticas que torna a região potencialmente favorável a esse tipo de evento. A catástrofe ocorrida em fevereiro de 1994 em Cubatão (SP) trouxe diversos danos, tanto econômicos como sociais. Embora sejam processos que atingem muitas regiões, a previsão ainda é bastante complicada. Assim, este trabalho tem como objetivo a análise da potencialidade a corridas de detritos em sub-bacias, focando-se nos resultados dos cálculos dos índices e parâmetros morfométricos e, também, associados aos níveis de precipitação. Para tal, selecionou-se 13 sub-bacias que foram afetadas na região de Cubatão (SP) em fevereiro de 1994. Os dados foram obtidos em escala 1:50.000, salvo pelas feições que foram mapeadas na fotografia aérea em escala 1:25.000 que foram realizadas após o evento. O estudo das feições foi baseado em sua distribuição espacial, ou seja, em sua área em relação a área de cada sub-bacia, de modo a possibilitar a comparação com os resultados dos índices e parâmetros morfométricos. A sub-bacia número 04 (que engloba a RPBC, atingida pelo evento) mostrou-se a de maior potencialidade em toda a área de estudo. Posto isto, através dos resultados obtidos, conclui-se que os índices e parâmetros morfométricos são uma ferramenta bastante importante na avaliação e identificação das áreas com altos potenciais para corridas de detritos.

Palavras-chave: Geomorfologia, escorregamentos, corridas de detritos, índices e parâmetros morfométricos, Serra do Mar.

ABSTRACT

Debris flows are natural phenomena that can be seen all over the world. These are about mass movement processes where the material quickly flows, commonly associated to high rainfall levels and/or other environmental variables. The geomorphological and climatic features of Serra do Mar makes the region potentially favorable to this kind of events. The catastrophe that occurred in Cubatão (SP) in February/1994 resulted in several economic and social losses. Although these processes smite many regions, it is extremely difficult to predict them. Thus, this dissertation aims to analyze the debris flow potentiality into sub-basins, focusing on morphometric indexes and parameters calculations combined with precipitation levels. For this study 13 sub-basins were selected, and all of them were affected by the 1994 event. The data were obtained in a 1:50.000 scale, and the features were mapped using aerial photography, 1:25.000 scale, shot after the landslides in 1994. The features study was based in its spatial distribution, relating the scarring and the sub-basin areas, and then comparing them with the calculated indexes and morphometric parameters. After studying all 13 areas the sub-basin number 04 (that includes RPBC that was smote by the event) was the one that showed greater potentiality. Therefore, through the results obtained, it is concluded that indexes and morphometric parameters are an important tool to identify and evaluate potentiality in debris-flows areas.

Keywords: Geomorphology, landslides, debris flow, indexes and morphometric parameters, Serra do Mar.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa da distribuição dos eventos de corridas de detritos pelo mundo. ...	17
Figura 2 - Mapa de localização da área de estudo em relação ao Brasil e ao Estado de São Paulo.....	21
Figura 3 - Mapa Geológico da área de estudo.	22
Figura 4 - Elementos de uma massa escorregada.	29
Figura 5 - Desenho esquemático das superfícies de rupturas dos escorregamentos.	30
Figura 6 - Escorregamento do tipo planar ou translacional, Nova Friburgo – Rio de Janeiro.	31
Figura 7 - Desenho esquemático de um escorregamento do tipo circular ou rotacional.....	31
Figura 8 - Imagem de um escorregamento em forma de cunha no município de Cubatão – São Paulo, na Estrada Caminhos do Mar.	32
Figura 9 - Imagens de duas corridas de detritos. A parte A é no Rio de Janeiro, em 1996 e a parte B é na Região Serrana (também Rio de Janeiro) em 2011.....	34
Figura 10 - Distribuição das corridas de massa* ao redor do mundo.	36
Figura 11 - RPBC e sua unidade de processamento de produtos inundada (Vertente Norte) – fevereiro de 1994.	42
Figura 12 - Tubulações de combate a incêndios destruídas na Vertente Norte.	42
Figura 13 - Galhos que ficaram depositados na Área Norte – fevereiro de 1994.	43
Figura 14 - Vista aérea de antes (esquerda - 1987) e depois (direita – março de 1994) do evento de 1994.	43
Figura 15 - Representação das diversas formas de se calcular o comprimento da bacia.....	46
Figura 16 – Fluxograma representativo das etapas metodológicas realizadas na pesquisa.....	52
Figura 17 - Mapa com a localização e delimitação das sub-bacias analisadas na pesquisa.....	64
Figura 18 - Detalhe das feições de escorregamentos e corridas de detritos mapeadas nas sub-bacias 04, 05, 09, 11 e 13 a partir do método descrito no item 5.5.	66
Figura 19 - Mapa de feições de escorregamentos e corridas de detritos.	68

Figura 20 - Mapa de feições de escorregamentos e corridas de detritos.	69
Figura 21 - Representação gráfica dos valores normalizados das áreas para cada sub-bacia.	70
Figura 22 - Modelo Digital de Elevação (MDE) do terreno das sub-bacias estudadas.	71
Figura 23 - Representação gráfica de H_m (mais escuro) e a_{max} (mais claro).	72
Figura 24 - Mapa de Declividade das sub-bacias analisadas.	73
Figura 25 - Mapa pluviométrico elaborado a partir dos dados acumulados de chuvas obtidos para os dias 06 e 07 de fevereiro de 1994.	79
Figura 26 - Mapa integrado dos índices pluviométricos juntamente com o mapeamento das feições em cada sub-bacia analisada.	80
Figura 27 - Representação gráfica dos valores da densidade de drenagem (D_d)....	88
Figura 28 - Representação gráfica dos valores dos índices de circularidade (I_c)....	90
Figura 29 - Representação gráfica dos valores da relação de relevo (R_r).	91
Figura 30 - Representação gráfica dos valores do índice de rugosidade (I_r).	93
Figura 31 - Representação gráfica dos valores do índice de força do canal (SPI). ...	94
Figura 32 - Representação gráfica dos valores do gradiente do canal (G_c).....	96
Figura 33 - Perfis longitudinais das drenagens principais das sub-bacias com os maiores potenciais de geração de corridas de detritos de acordo com os dados obtidos para o gradiente do canal.	97
Figura 34 - Representação gráfica dos valores do índice de sinuosidade (I_s).	99
Figura 35 - Representação gráfica dos valores da frequência de drenagem (F_s). .	100

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação dos tipos de movimentos de massa mais utilizada mundialmente, elaborada por Varnes.	27
Quadro 2 - Classificação dos tipos de movimentos de massa por Augusto Filho. ...	28
Quadro 3 - Corridas de massa no mundo*. Alguns casos descritos na literatura.	37
Quadro 4 - Eventos expressivos de corridas de detritos no Brasil (* foco da pesquisa).....	39
Quadro 5 - Casos mais recentes de eventos de movimentos de massa ocorridos no Brasil.	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Equações utilizadas nos cálculos dos índices morfométricos.....	60
Tabela 2 - Área, porcentagem e valor normalizado da área ocupada pelas feições em cada sub-bacia.....	67
Tabela 3 - Porcentagem que cada classe de declividade ocupa na área de estudo.	74
Tabela 4 - Porcentagem que cada classe de declividade ocupa em cada uma das sub-bacias analisadas.....	74
Tabela 5 - Coordenadas da localização dos pluviômetros analisados.....	76
Tabela 6 - Registro acumulado das chuvas relativas aos meses de verão (dezembro de 1993 a março de 1994).	76
Tabela 7 - Médias históricas das chuvas relativas aos meses de verão (dezembro a março) com dados de 1936 até 2000.....	76
Tabela 8 - Dados da precipitação dos dias 06 e 07 de fevereiro de 1994 e a média pluviométrica para os 2 dias.....	78
Tabela 9 - Valores de referência para a área (A) com base nas classes de potencialidades para geração de corridas de detritos adotadas.	81
Tabela 10 - Valores dos parâmetros morfométricos que foram obtidos em cada sub-bacia analisada na pesquisa.	82
Tabela 11 - Valores de referência para a amplitude topográfica (Hm) com base nas classes de potencialidades para geração de corridas de detritos adotadas.	84
Tabela 12 - Índices morfométricos calculados para as 13 sub-bacias analisadas....	86

Tabela 13 - Valores de referência para a densidade de drenagem (Dd) com base nas classes de potencialidades para geração de corridas de detritos adotadas.....	87
Tabela 14 - Valores de referência para o índice de circularidade (Ic) com base nas bibliografias que apontam o $Ic > 0,5$ como alta potencialidade.	89
Tabela 15 - Valores de referência para o índice de circularidade (Ic) de acordo com as classes de potencialidades para geração de corridas de detritos adotadas pela autora.	89
Tabela 16 - Valores de referência para a relação de relevo (Rr) de acordo com as classes de potencialidades para geração de corridas de detritos adotadas.	91
Tabela 17 - Valores de referência para o índice de rugosidade (Ir) de acordo com as classes de potencialidades para geração de corridas de detritos adotadas.	92
Tabela 18 - Valores de referência obtidos para o índice de força do canal (SPI) de acordo com as classes de potencialidades para geração de corridas de detritos adotadas.	94
Tabela 19 - Valores de referências obtidos para o gradiente do canal (Gc) de acordo com as classes de potencialidades para geração de corridas de detritos adotadas.	95
Tabela 20 - Valores de referência obtidos para o índice de sinuosidade (Is) de acordo com as classes de potencialidades para geração de corridas de detritos adotadas.....	98
Tabela 21 - Valores de referência obtidos para a frequência de drenagem (Fs) de acordo com as classes de potencialidades para geração de corridas de detritos adotadas.....	100
Tabela 22 - Classificação hierárquica das sub-bacias de acordo com os índices e parâmetros morfométricos analisados.	101

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Densidade de drenagem	47
Equação 2: Índice de circularidade	47
Equação 3: Relação de relevo	48
Equação 4: Índice de rugosidade	49
Equação 5: Índice de força do canal	50
Equação 6: Frequência de drenagem	50
Equação 7: Gradiente do canal	51
Equação 8: Normalização da área ocupada pelas feições.....	61
Equação 9: Cálculo dos intervalos das análises dos resultados	62

LISTA DE ABREVIACÕES

DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica – SP
EMPLASA – Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano S/A
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas
MDE – Modelo Digital de Elevação
MDT – Mapa de Declividade do Terreno
OMS – Organização Mundial da Saúde
ONU – Organização das Nações Unidas
RPBC – Refinaria Presidente Bernardes – Cubatão
SIRGAS – Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SPI – <i>Stream Power Index</i>
UNESP – Universidade Estadual Paulista
USP – Universidade de São Paulo
UTM – Universal Transversa de Mercator
WGS – <i>World Geodetic System</i>

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	15
2.	OBJETIVOS	19
3.	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	20
3.1.	Localização	20
3.2.	Geologia e tectônica	20
3.3.	Geomorfologia	23
3.4.	Clima	24
3.5.	Cobertura Vegetal.....	25
4.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	26
4.1.	Movimentos de massa	26
4.1.	Escorregamentos.....	28
4.2.	Corridas de detritos (<i>debris flows</i>)	32
4.2.1.	Definições	32
4.2.2.	Corridas de detritos no mundo.....	35
4.2.3.	Corridas de detritos no Brasil.....	37
4.3.	O evento de 1994	41
4.4.	Índices e parâmetros morfométricos.....	44
4.4.1.	Análise linear das bacias	45
4.4.2.	Análise areal das bacias	45
4.1.1.	Análise hipsométrica ou do relevo	46
4.1.2.	Densidade de drenagem.....	47
4.1.3.	Índice de circularidade	47
4.1.4.	Relação de relevo	48
4.1.5.	Índice de rugosidade.....	49
4.1.6.	Índice de força do canal.....	49

4.1.7.	Frequência de Drenagem	50
4.1.8.	Gradiente do canal.....	51
5.	MATERIAL E MÉTODOS	52
5.1.	Levantamento bibliográfico das obras de referência.....	53
5.2.	Aquisição e elaboração da base cartográfica	53
5.3.	Delimitação da área de pesquisa	54
5.4.	Divisão da área em sub-bacias	55
5.5.	Mapeamento das feições de escorregamentos e corridas de detritos.....	55
5.6.	Elaboração de mapas temáticos	56
5.6.1.	Modelo Digital de Elevação (MDE)	56
5.6.2.	Mapa de Declividade	57
5.6.3.	Mapa pluviométrico.....	57
5.7.	Cálculo de índices e parâmetros morfométricos.....	58
5.8.	Cálculo normalizado da área ocupada pelas feições de escorregamentos e corridas de detritos.....	60
5.9.	Análise dos resultados obtidos	61
6.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	64
6.1.	Mapeamento das feições e normalização dos dados referentes à área.....	64
6.2.	Análise do relevo	70
6.3.	Análise da declividade	72
6.4.	Análise da pluviosidade	75
6.5.	Análise dos parâmetros morfométricos	81
6.6.	Análise dos índices morfométricos	85
6.6	Análise comparativa dos parâmetros morfométricos	101
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	107
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	110

1. INTRODUÇÃO

Regiões que possuem relevos montanhosos são passivas a processos de movimentos de massa que podem acarretar em grandes desastres e conseqüentemente colocar em risco a vida humana e as infraestruturas dos locais afetados. Estes processos, segundo Sidle et al. (1985), são modeladores da paisagem e bastante comuns em regiões íngremes. Comumente são observadas nas regiões montanhosas feições que indicam processos de movimentos de massa, sendo que os escorregamentos de encostas e taludes são os mais observados; entretanto, as corridas de detritos (*debris flows*) possuem uma magnitude maior, e mesmo sendo vistas com menor frequência, causam impactos muitas vezes irreparáveis.

As corridas de detritos, objeto de estudo deste trabalho, são processos de movimentos de massa considerados naturais; no entanto, podem estar condicionadas a fatores geológicos, geomorfológicos e climáticos. Este tipo de evento ocorre principalmente nas porções montanhosas do mundo e no país (GRAMANI, 2001; KANJI et al., 2008; NERY, 2016). Para que corridas de detritos sejam deflagradas, é necessário que haja mobilização rápida de materiais que podem ser de diversas naturezas, sendo assim, Takahashi (1981) define como sendo processos de escoamento rápido e que envolvem grandes volumes de água, suficiente para deslocar os sedimentos de dimensões variadas ao longo de sua trajetória. Gramani (2001) e o Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT (1987) ainda complementam que estes processos percorrem grandes distâncias, mesmo em regiões onde o relevo é mais suave.

Costa (1984) frisa que as corridas são formadas a partir da movimentação de blocos, fragmentos de rochas e matacões. No entanto são vários os fatores que podem contribuir e condicionar a esse tipo de movimento de massa, sendo que um deles é a pluviosidade da região, que atua como agente deflagrador, ou seja, pode provocar o deslocamento rápido do material. Kanji et al. (1997) mencionam que na maioria das vezes as corridas de detritos são ocasionadas durante ou imediatamente após chuvas intensas.

No mundo todo existem locais que são afetados pelos processos de corridas de detritos, estes por sua vez acabam gerando sérios problemas socioeconômicos e

ambientais. A Organização das Nações Unidas – ONU (1993) pontua este como sendo um dos fenômenos causadores de mortes e prejuízos no mundo. Alcántara-Ayala (2002) salienta, ainda, que países em desenvolvimento vêm sofrendo mais com esse tipo de evento devido ao considerável aumento populacional decorrentes das últimas décadas. As regiões no mundo que mais frequentemente sofrem com corridas de detritos são as de climas tropicais e regiões costeiras (COLLINS; ZNIDARCIC, 1997) (Figura 1).

No âmbito nacional, a Organização Mundial da Saúde – OMS destaca o Brasil como sendo um dos dez países que mais sofrem com os eventos considerados de desastres naturais. Alguns trabalhos, ainda, fazem uma compilação de eventos de corridas de detritos bastante expressivos no país, como, por exemplo, Gramani (2001) e Augusto Filho (1992), conforme dados apresentados no Quadro 5 do capítulo Fundamentação Teórica.

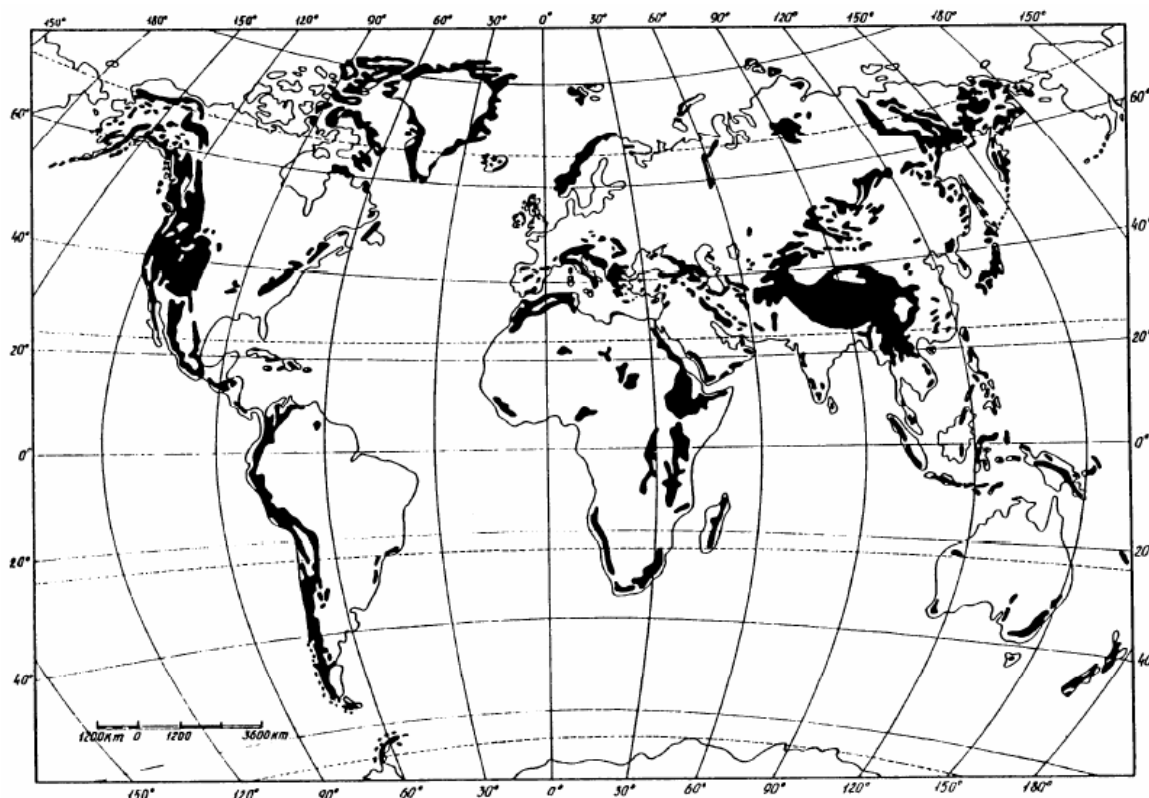
Este trabalho está focado na potencialidade para a geração de corridas de detritos e inclui, para isso, a análise da abrangência espacial de feições de escorregamentos e corridas de detritos na catástrofe ocorrida em Cubatão no mês de fevereiro de 1994, para que posteriormente seja feita a interpretação dos índices e parâmetros morfométricos das sub-bacias selecionadas. Neste evento de 1994, muitos danos e perdas foram registrados em Cubatão, principalmente na área industrial da Refinaria Presidente Bernardes – Cubatão (RPBC). O evento foi marcado por centenas de escorregamentos que rapidamente evoluíram para corridas de detritos, as quais atingiram a indústria (GRAMANI, 2001). Ainda, de acordo com Massad et al. [2000], quase toda a refinaria foi danificada e recebeu um volume de aproximadamente 300.000 m³ de materiais transportados (incluindo água, areia e solo fino, detritos e blocos de rochas) e causou um alargamento bastante expressivo no leito de alguns córregos (passando de poucos metros para até 40 metros).

O estudo da morfometria de uma bacia hidrográfica pode fornecer informações cruciais para o entendimento do comportamento das corridas de detritos, podendo, ainda, ser associados com os dados pluviométricos consideráveis da área de estudo. Índices e parâmetros morfométricos são formas de análises quantitativas dos dados das bacias, onde, se relacionados entre si, geram as informações necessárias sobre a geometria da mesma. Horton foi o pioneiro nos estudos da

morfometria de bacias hidrográficas e, em meados de 1940, definiu como sendo uma maneira de “medir as formas do relevo” (Horton, 1945). Jakob (1996) menciona que os parâmetros morfométricos quando combinados entre si auxiliam no entendimento da dinâmica e magnitude dos processos de corridas de detritos.

De acordo com Wilford et al. (2004); Dias et al. (2016) os índices e parâmetros morfométricos são considerados fatores internos de uma bacia que são capazes de influenciar diretamente na dinâmica de um processo de corrida de detritos, e podem ser acrescidos, ainda, outros fatores (também internos); como por exemplo, a permeabilidade do solo e textura; além de fatores externos, como a alta precipitação captada pela bacia em questão.

Figura 1 - Mapa da distribuição dos eventos de corridas de detritos pelo mundo.



Fonte: Perov et al. (1997).

A importância do estudo dos parâmetros morfométricos se dá devido à possibilidade de previsão dos movimentos de massa, que no caso desta pesquisa são as corridas de detritos. Sendo assim, Johnson et al. (1991); Arruda Junior e Lopes (2013) mencionam que a combinação de algumas destas variáveis permite que estes fenômenos possam ser melhor avaliados.

Takahashi (1991) menciona também a relevância do aprimoramento dos sistemas de alertas para que seja feita uma melhor identificação e monitoramento das áreas consideradas suscetíveis, podendo-se, assim, aplicar medidas de controle e proteção nestes locais.

Por fim, a área de estudo selecionada para a realização da presente pesquisa é um importante polo industrial para o Brasil e está localizada na região da Serra do Mar, especificamente no município de Cubatão (SP). Este local, devido às características geológicas, geomorfológicas, climatológicas e ao avanço dos processos de urbanização, se torna passível de ocorrências de processos de corridas de detritos. A região é, ainda, a que possui um dos maiores índices pluviométricos do Brasil, chegando a registrar até 3.000 mm por ano de chuvas (LOPES, 2006). Wolle (1988) cita que houve registros da ordem de 1.000 mm em apenas um mês.

2. OBJETIVOS

O objetivo principal da pesquisa é analisar a potencialidade da ocorrência de processos de corridas de detritos a partir do emprego dos índices e parâmetros morfométricos nas sub-bacias do Rio Perequê no município de Cubatão (SP).

Como objetivos específicos, são propostos os seguintes:

- Analisar a distribuição espacial da ocorrência de feições de escorregamentos e corridas de detritos através do mapeamento de fotografias aéreas referentes ao evento de fevereiro de 1994;
- Estabelecer critérios de hierarquização das sub-bacias hidrográficas para a potencialidade à ocorrência de eventos de corridas de detritos por meio dos índices e parâmetros morfométricos.

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1. Localização

A área selecionada para pesquisa se localiza na Serra do Mar, sendo que sua maior parte está situada no município de Cubatão, Baixada Santista, litoral do Estado de São Paulo. Fica aproximadamente a 57 km da capital paulista. O local engloba, ainda, pequenas porções de outros municípios limítrofes à Cubatão, sendo eles: São Bernardo do Campo e Santo André. A figura 2 apresenta a área definida para pesquisa em relação à sua localização quanto ao Brasil e ao estado de São Paulo e possui também destaque para a RPBC.

O município de Cubatão possui 127.887 habitantes e uma área total de 142,879 km² (IBGE, 2017).

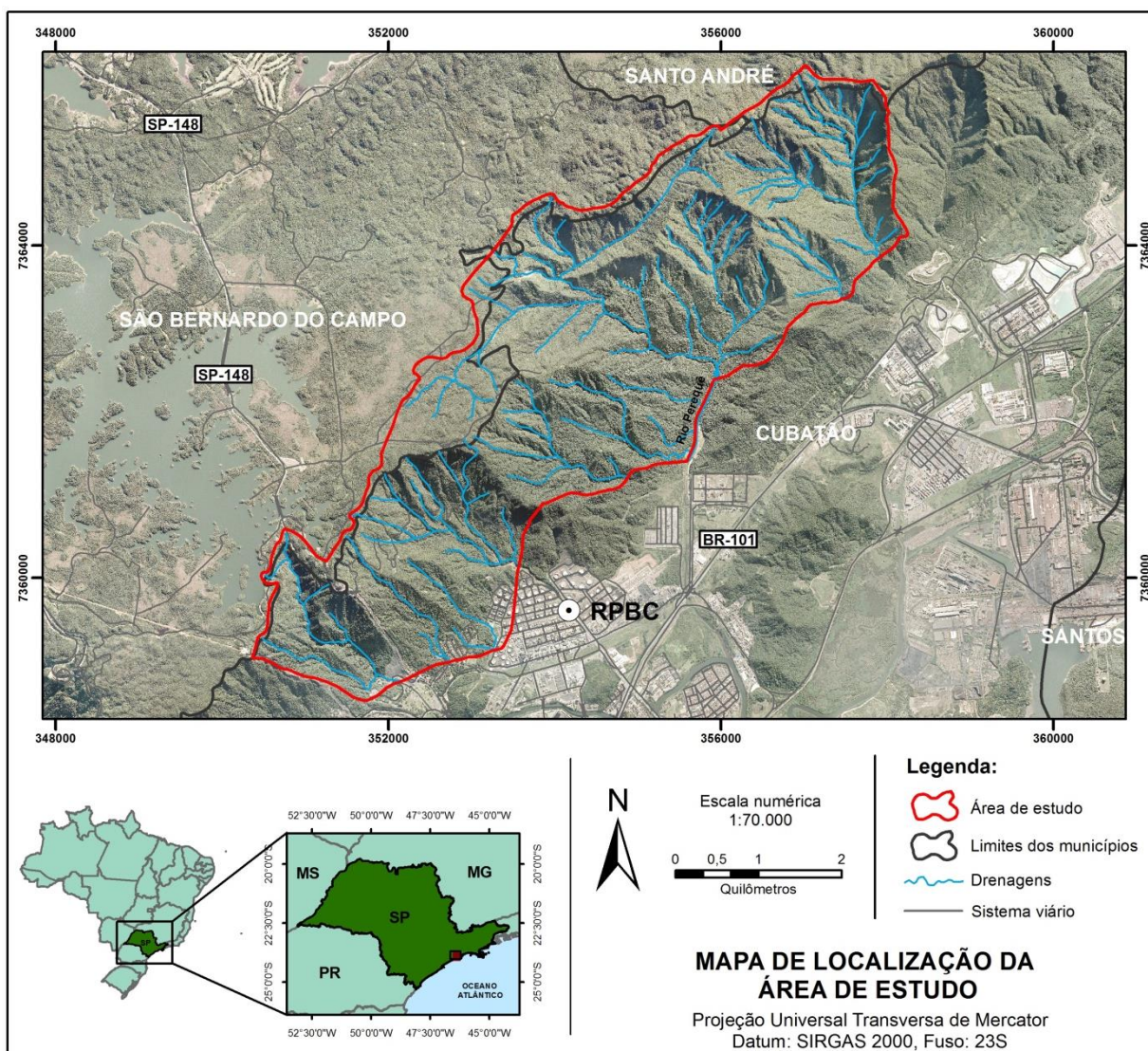
A área foi selecionada como objeto de estudo devido ao histórico de incidência de eventos de escorregamentos e corridas de detritos. Além do evento de 1994, também houve um grande evento em 1985 que ocasionou em escorregamentos generalizados, resultando na mobilização de grandes volumes de materiais (LOPES, et al. 2007).

Cubatão, ainda, compreende um polo industrial importante para o Brasil, e em 1994 um evento de grande magnitude atingiu a Refinaria de Presidente Bernardes da Petrobras (RPBC), causando grande destruição material e prejuízo financeiro, pois houve paralização da produção.

3.2. Geologia e tectônica

O município de Cubatão está inserido no contexto geológico da Província Mantiqueira, a qual é composta de uma infinidade de fragmentos crustais de idades distintas e evoluções tectônicas complexas (CAMPANHA e SADOWSKI, 1999). Almeida et al. (1977) a definem como sendo uma faixa de aproximadamente 3.000 km de comprimento paralela à costa atlântica do sudeste e sul do Brasil, com a mesma direção NE-SW da linha de costa do continente. Três cinturões orogênicos compõem a Província Mantiqueira, sendo eles: Araçuaí, Tijuca e Ribeira (HASUI, 2012). É, ainda, considerada a feição orográfica mais representativa da borda atlântica do continente sul-americano (ALMEIDA e CARNEIRO, 1998).

Figura 2 - Mapa de localização da área de estudo em relação ao Brasil e ao Estado de São Paulo.

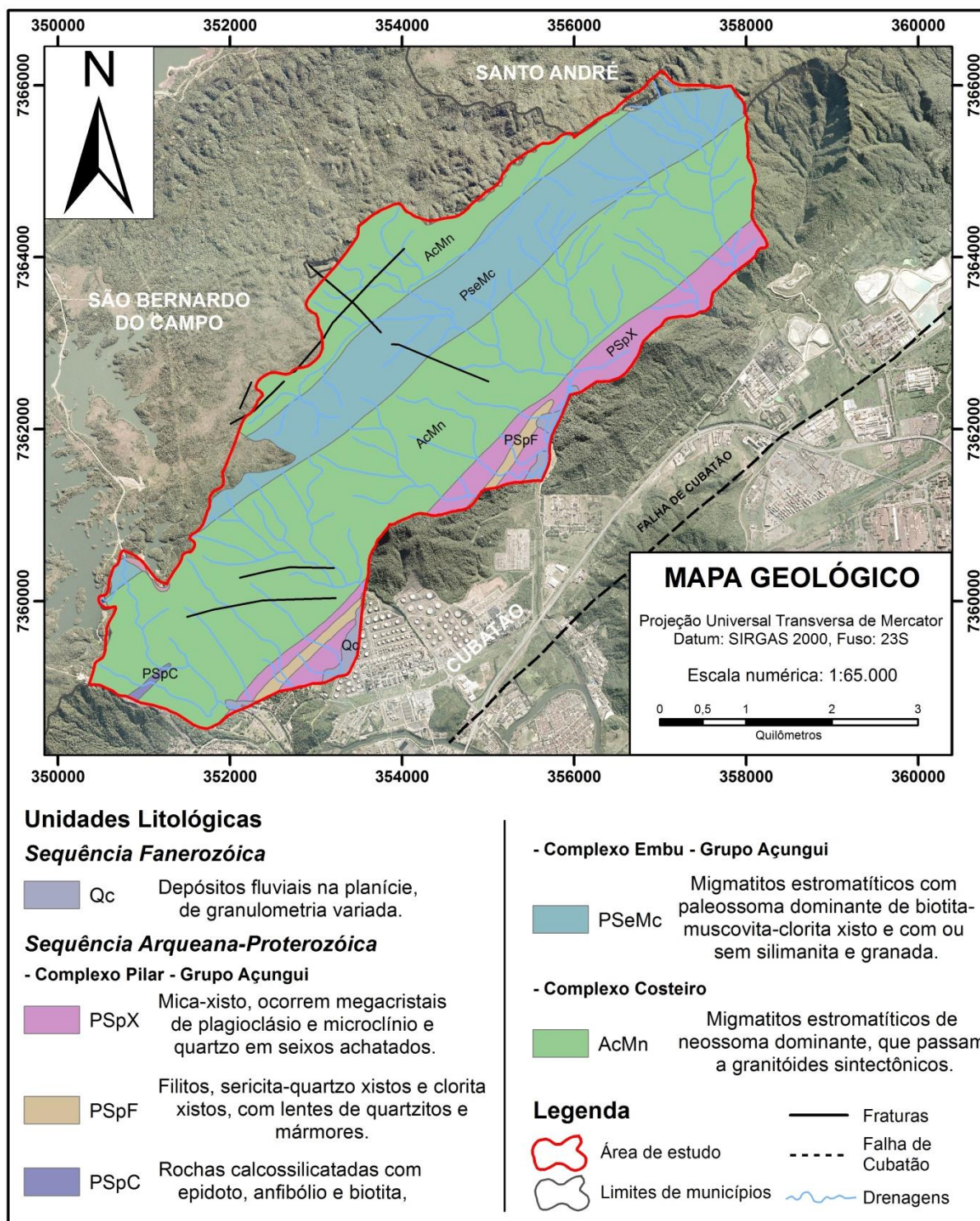


Fonte: Elaborado pela autora.

A evolução geológica destes relevos da margem passiva do Sudeste do Brasil foi associada aos períodos Mesozóico e Cenozóico e são marcados tanto por fatores tectônicos e isostáticos, quanto climáticos (RIBEIRO et al., 2011).

A figura 3 apresenta o mapa geológico baseado nos apontamentos do IPT (1986), onde são apresentadas as unidades litológicas pertencentes ao Cinturão Ribeira, no qual se insere a área de estudo.

Figura 3 - Mapa Geológico da área de estudo.



Fonte: IPT (1986), modificado pela autora.

O IPT (1986) subdivide o Cinturão Ribeira em Bloco Juquitiba (Grupo Açungui) a norte e Complexo Costeiro a sul, e estes estão basicamente separados pela zona

de falhamentos transcorrentes denominada de Falha de Cubatão. O Grupo Açungui é pertencente ao éon Proterozóico e o Complexo Costeiro ao Arqueano (IPT, 1986).

O Grupo Açungui também se divide, na área, em Complexo Pilar e Complexo Embu. O Complexo Embu é composto por migmatitos estromatíticos e o Complexo Pilar por mica-xistos, filitos e rochas calcossilicatadas (IPT, 1986). No Complexo Costeiro foram mapeados os migmatitos que passam a granitóides e migmatitos gnáissicos, conforme pode ser consultado na figura 3 (IPT, 1986). Existem, ainda, algumas coberturas recentes de idade Cenozóica compostas por depósitos fluviais, areias e argilas e depósitos flúvio-lagunares (IPT, 1986).

Tectonicamente a área possui uma grande zona de falhamentos transcorrentes designada como Falha de Cubatão, a qual também pode ser observada na Figura 3. Trata-se de uma zona bastante extensa, com aproximadamente 300 km de largura e possui direções principais como sendo N50E e N70E (SADOWSKI, 1991). Ainda, de acordo com o mesmo autor, o tipo de falhamento é transcorrente dextral, com algumas ocorrências de cavalgamentos nas regiões mais próximas de Santos. Almeida (1986) ainda cita a presença de enxames de diques de diabásio que se dispõem nas direções principais de NE-ENE. Wolle (1988) salienta a existência bastante evidente de xistosidade nas rochas, além de sistemas de juntas e fraturas, que são bastante comuns na região.

3.3. Geomorfologia

Geomorfologicamente a área de estudo está inserida no contexto da Serra do Mar, que se localiza na borda geográfica do litoral Atlântico brasileiro.

A Serra do Mar se estende desde o Planalto Atlântico até a fronteira com a Baixada Marinha. Sua extensão chega a 1.000 km de comprimento e 10 km de largura e compreende desde o Estado de Santa Catarina até o Rio de Janeiro, acompanhando a direção NE-SW, conforme o litoral sudeste do país (SANTOS et al., 2009).

Ponçano et al. (1981) caracteriza a região em três compartimentos. São eles:

(1) Planalto: relevo de morros suaves e espigões, com altitudes na faixa de 715 a 900 m. Na parte norte deste planalto localiza-se a bacia sedimentar de São Paulo e a parte sul já se encontra próxima das Serras do Mar e de Paranapiacaba.

Almeida (1958) denomina este compartimento como “Província Geomorfológica do Planalto Atlântico”.

(2) Serraria Costeira: este compartimento representa a porção que interliga a região drenada do Estado para o oceano. Mais conhecido como Serra do Mar, é constituído de um seu relevo predominantemente de escarpas abruptas e festonadas. O desnível varia de 800 até 1.200 m entre a borda do Planalto até a baixada litorânea. Possui vertentes com altos graus de inclinação, estes variando entre 35 e 55°, o que faz com que haja um gradiente hidráulico bastante elevado. Geomorfológicamente, a área de estudo concentra-se neste compartimento, o qual também é denominado de “Província Costeira” por Almeida (1958). Ademais, é possível observar neste compartimento anfiteatros que se separam entre si por espigões.

(3) Planície Costeira: composto por localidades com relevos aplainados e presença de possíveis oscilações de marés. Podem ser encontrados pequenos morros isolados, onde as altitudes chegam a variar de 80 a 120 m.

Ainda, pode-se destacar nas proximidades da área estudada a feição geomorfológica onde se encaixa o Rio Cubatão, denominada de Falha de Cubatão, formando-se, assim, vales que acompanham a direção geral da falha, NE-SW (LOPES, 2006).

Almeida (1964) classifica a evolução da Serra de Cubatão como um processo de erosão bastante intenso e demorado, que induziu o relevo e as formas topográficas a se adaptarem aos diferentes tipos litológicos, como, por exemplo, os vales dos rios Cubatão e Mogi, que foram originados a partir da erosão de uma faixa de xistos e se mantiveram preservados por se encontrarem encaixados entre gnaisses e migmatitos.

3.4. Clima

A área de estudo está localizada numa faixa do estado de São Paulo que possui características climáticas bastante individualizadas causadas principalmente pelo relevo bem característico da região, que influencia diretamente nas correntes de circulação atmosféricas do Sudeste (RIBEIRO, 2003). Ainda de acordo com o mesmo autor, o município de Cubatão, por compor a região da Baixada Santista,

está associado ao clima litorâneo, possuindo, assim, alta umidade que, juntamente como o fator orográfico eleva os índices pluviométricos da área.

Wolle (1988) menciona que há registros que atingem 1.000 em um único mês do ano; sendo assim, Lopes (2006) acrescenta que esta região é a que possui os maiores índices pluviométricos do Brasil, podendo chegar à margem dos 3.000 mm ao ano para os meses de novembro a março. Ainda, de acordo com Lopes (2006), a distribuição chuvosa possui picos bastante variáveis, indo de 50 mm/h a 100 mm/h, podendo-se considerar intensas e rápidas.

Em relação às temperaturas, a média mensal é de 18 °C nos meses mais frios e 25 °C nos meses mais quentes e a umidade do ar normalmente se encontra acima dos 85% (LOPES, 2006).

3.5. Cobertura Vegetal

A área de estudo está localizada no bioma de Mata Atlântica, constituindo uma floresta tropical úmida, também denominada de Floresta Ombrófila Densa ou Floresta Atlântica de Encostas (SANTOS et al., 2009). A Mata Atlântica encontra-se distribuída ao longo de toda margem litorânea do Oceano Atlântico (LOPES, 2006).

O respectivo bioma é caracterizado por possuir uma ampla diversidade de ecossistemas e biosistemas, entretanto, existe menos de 7% de sua cobertura original preservada, e aproximadamente 3% faz parte de Unidades de Conservação como, por exemplo, o Parque Estadual da Serra do Mar (RIBEIRO, 2003).

De acordo com Joly et al. (1991), a Mata Atlântica se divide em floresta da planície costeira, florestas de encostas e florestas de altitudes. De acordo com essa classificação, o município de Cubatão se insere na região de florestas de encostas. Lopes (2006) menciona, também, que devido à ocupação industrial da região, a cobertura vegetal é considerada bastante crítica, principalmente nos vales dos Rios Mogi e Cubatão, onde se concentra esta pesquisa.

Segundo Ab'Saber (1987) os eventos catastróficos que ocorrem na região, como deslizamentos e corridas, são influenciados pela perda da cobertura florestal natural das encostas da Serra do Mar, fazendo com que houvesse um aceleração no processo e que os eventos atingissem maiores dimensões.

4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo é composto pela revisão bibliográfica e nele são apresentados fundamentos e conceitos acerca da temática da pesquisa; como, definições de movimentos de massa, como os escorregamentos; porém com foco principal nas corridas de detritos, acompanhados de um histórico nacional e internacional de suas ocorrências, além de algumas classificações importantes sobre o fenômeno. Ademais, também são apresentados os conceitos referentes aos índices e parâmetros morfométricos.

4.1. Movimentos de massa

Movimentos de massa são processos naturais bastante estudados em todo mundo, pois tratam-se de fenômenos modeladores da paisagem. Entretanto, passou a se tornar um grande problema para a sociedade devido ao avanço populacional em áreas consideradas inabitáveis e pouco estáveis. Hutchinson (1968) definiu movimentos de massa como processos de movimentos induzidos pela aceleração da gravidade. Segundo Rahn (1986), estes eventos influenciam bastante na evolução geomorfológica da paisagem, pois atuam diretamente nas vertentes.

De acordo com Selby (1982), não existe contribuição direta de outros fatores, além da gravidade, para que haja movimentações de massa. Crozier (1986) também exclui a água corrente como um agente de transporte. Já Guidicini & Iwasa (1976) e o IPT (2007) colocam a água como sendo um agente efetivo, ou seja, que influencia diretamente no mecanismo que dá início ao movimento, assim como a erosão e as ações antrópicas.

Leroueil et al. (1996) definiram alguns estágios para que os movimentos de massa ocorram, são eles:

1. Pré-ruptura: momento em que ocorrem os processos de deformações que levam à ruptura;
2. Ruptura: há a formação da superfície de cisalhamento da massa de solo;
3. Pós-ruptura: inclui a fase de ruptura até o final da movimentação, onde há a diminuição da velocidade do movimento;

4. Reativação: quando ocorre novamente o processo numa superfície já existente.

Segundo a bibliografia, existem diversas classificações que englobam os movimentos de massa, sendo que a mais utilizada mundialmente é a proposta por Varnes (1958, 1978), conforme o quadro 1. Augusto Filho (1992), ainda, divide os movimentos gravitacionais de massa em quatro categorias: quedas, rastejos, escorregamentos e corridas (Quadro 02).

Para o embasamento deste trabalho, foram considerados os conceitos relacionados a escorregamentos e corridas de detritos.

Quadro 1 - Classificação dos tipos de movimentos de massa mais utilizada mundialmente, elaborada por Varnes.

Tipo de Movimento			Tipo de Material		
			Rocha	Solo (engenharia)	
				Grosseiro	Fino
Quedas (“fall”)			de rocha	de detritos	de terra
Tombamentos (“topples”)			de Rocha	de detritos	de terra
Escorregamentos (“slides”)	Rotacionais	poucas unidades	abatimento de rocha	abatimento de detritos	Abatimento de terra
	Translacionais	muitas unidades	de blocos rochosos	de blocos de detritos	de blocos de terra
			de rocha	de detritos	de terra
Expansões Laterais			de rocha	de detritos	de terra
Corridas/Escoamentos (*) (“flows”)			de rocha (rastejo profundo)	de detritos	de terra
Complexos: combinação de 2 ou mais tipos de movimento, ação de vários agentes (simultâneos ou sucessivos)					
(*) – o autor subdivide os diferentes tipos de corridas de acordo com a velocidade e conteúdo de água dos materiais					

Destaque com * para os movimentos de corridas de detritos. Fonte: Varnes (1978).

Quadro 2 - Classificação dos tipos de movimentos de massa por Augusto Filho.

PROCESSOS	DINÂMICA / GEOMETRIA / MATERIAL
Quedas (<i>falls</i>)	<ul style="list-style-type: none"> • Sem planos de deslocamento • Movimentos tipo queda livre ou em plano inclinado • Velocidades muito altas (vários m/s) • Material rochoso • Pequenos a médios volumes • Geometria variável: lascas, placas, blocos, etc. * Rolamento de matacão * Tombamento
Rastejos (<i>creeps</i>)	<ul style="list-style-type: none"> • Vários planos de deslocamento • Velocidade muito baixa (da ordem de cm/ano) a baixa e decrescente com a profundidade • Movimentos constantes, sazonais ou intermitentes • Solo, depósitos, rocha alterada/fraturada
Escorregamentos (<i>slides</i>)	<ul style="list-style-type: none"> • Poucos planos de deslocamento (externos) • Velocidades médias (m/h) a altas (m/s) • Pequenos a grandes volumes de material • Geometria e materiais variáveis: <ul style="list-style-type: none"> * Planares: solos pouco espessos, solos e rochas com um plano de fraqueza * Circulares: solos espessos, homogêneos e rochas muito fraturadas * Cunha: solos e rochas com dois planos de fraqueza
Corridas (<i>flows</i>)	<ul style="list-style-type: none"> • Muitas superfícies de deslocamento • Movimento semelhante ao de um líquido viscoso • Desenvolvimento ao longo das drenagens • Velocidades médias a altas • Mobilização de solos, rochas, detritos e água • Extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas

Fonte: Augusto Filho (1992).

4.1. Escorregamentos

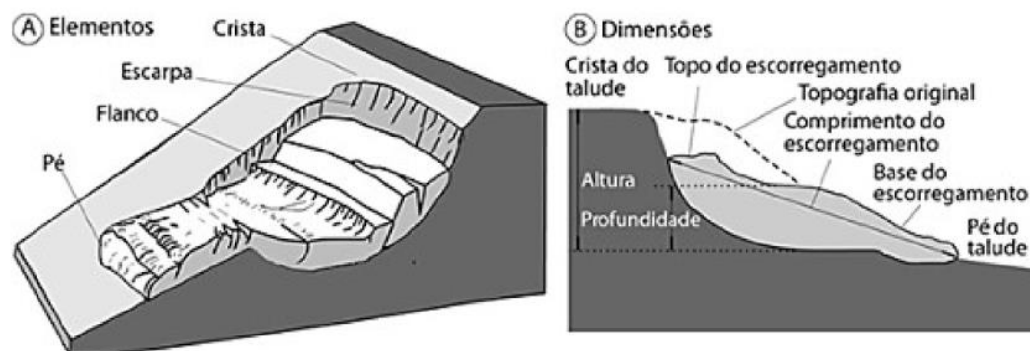
Este tipo de evento é definido por Guidicini e Nieble (1984) e IPT (1991) como sendo movimentos rápidos, que podem atingir a ordem de metros por hora (m/h) a metros por segundo (m/s), ou seja, possuem uma curta duração. Segundo Augusto

Filho e Wolle (1996), é necessário que haja um plano de ruptura bem definido, para que seja possível fazer a distinção do material que foi movimentado (deslizado) com o material que permaneceu no local. Na figura 4 observa-se os elementos que compõem uma massa que sofreu processo de escorregamento.

Para que se ocorra o movimento de deslizamento do material, Gerscovich (2012) aponta que as tensões cisalhantes no solo mobilizado precisam atingir o mesmo valor da resistência de cisalhamento do material.

Guidicini e Nieble (1984), ainda, classificam os tipos de escorregamentos em três categorias, e são definidos conforme os planos de ruptura; são eles: planares ou translacionais, circulares ou rotacionais e em cunha (Figura 5). Em relação ao material envolvido, em todos os casos podem ser solo, solo e rocha, somente rocha e também incluem os depósitos de lixos (FERNANDES; AMARAL, 1996).

Figura 4 - Elementos de uma massa escorregada.

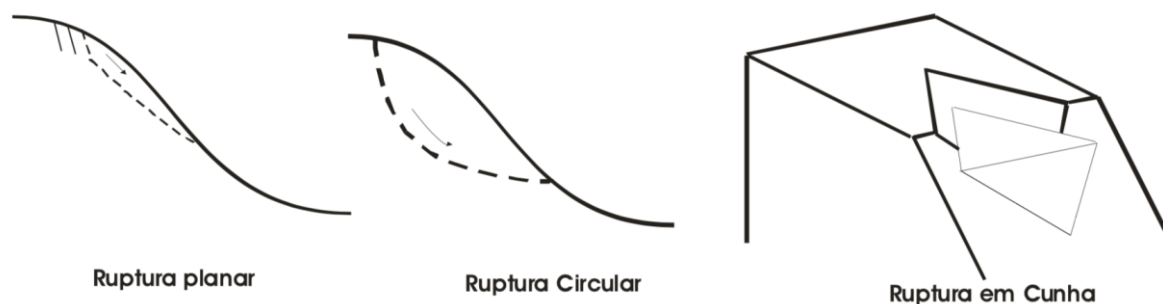


Fonte: NBR 11682 (ABNT, 2008).

De acordo com Wolle (1988), os movimentos planares/translacionais em solo são os mais predominantes na Serra do Mar e ocorrem ao longo de uma superfície plana de ruptura, sendo que essa superfície necessita ser preexistente, como por exemplo, uma feição estrutural, ou até mesmo o contato entre diferentes horizontes de alterações de solos; e conseqüentemente sofrer algum tipo de condicionamento. São mais comumente encontrados em ambientes com fortes alterações do solo, porém são associados a perfis de alterações mais rasos, variando de 0,5 a 5,0 metros (LOPES, 2006). Infanti Jr e Filho (1998) também frisam que os movimentos

estão associados com as feições geológicas e exemplificam com a foliação, xistosidade, fraturas, falhas e etc (Figura 6).

Figura 5 - Desenho esquemático das superfícies de rupturas dos escorregamentos.



Fonte: Modificado de IPT (1991).

Os escorregamentos rotacionais ou circulares são caracterizados por Guidicini e Nieble (1984) e IPT (1991) como responsáveis por movimentarem grandes massas de materiais e por possuírem uma superfície de ruptura côncava. Este tipo de movimento está associado a solos mais espessos ou até mesmo a locais onde se depositam grandes aterros de diversas naturezas (Figura 7), e ainda podem ser considerados escorregamentos de maiores dimensões. Por se tratar de deslocamentos mais profundos e com aportes de materiais mais expressivos, a base da encosta (jusante) pode sofrer uma espécie de soerguimento em relação ao solo, uma vez que o material se desloca por uma superfície de ruptura circular.

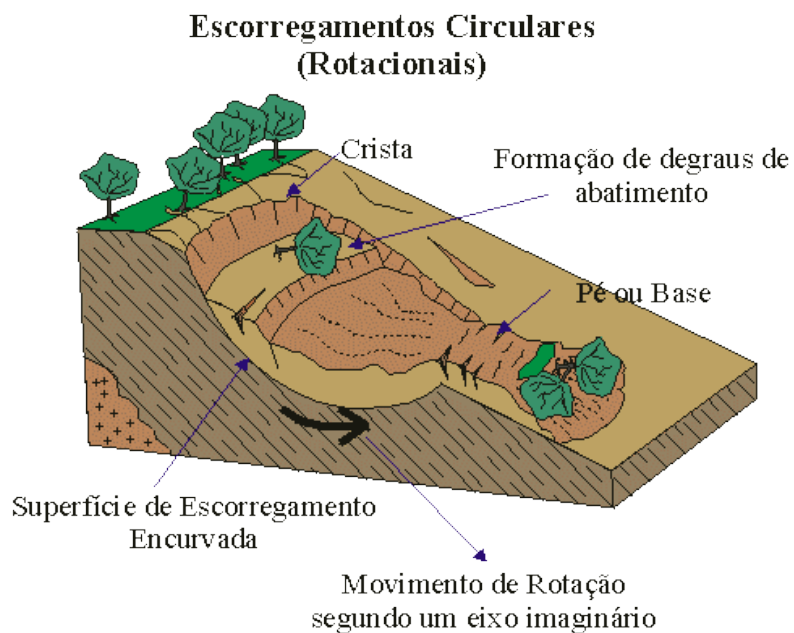
Por fim, os escorregamentos em cunha são caracterizados assim devido à forma de prisma que fica visível quando há a mobilização dos materiais; portanto, é necessário que haja a junção de duas estruturas planares instáveis e que o material se movimente ao longo do eixo de intersecção destes planos (INFANTI JR e FILHO, 1998), figura 8.

Figura 6 - Escorregamento do tipo planar ou translacional, Nova Friburgo – Rio de Janeiro.



Fonte: extraído da internet: <http://www.ramblainfra.com.br/servicos-drenagem-urbana> (acesso em 26 de janeiro de 2018).

Figura 7 - Desenho esquemático de um escorregamento do tipo circular ou rotacional.



Fonte: extraído da internet: <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/interacao/inter09c.html> (acesso em 26 de janeiro de 2018).

Figura 8 - Imagem de um escorregamento em forma de cunha no município de Cubatão – São Paulo, na Estrada Caminhos do Mar.



Em destaque na cor vermelha pode-se observar as demarcações de dois planos de fraqueza nas rochas, denominadas de Plano 1 e Plano 2. Fonte: acervo pessoal (fevereiro de 2017).

4.2. Corridas de detritos (*debris flows*)

4.2.1. Definições

De acordo com Fernandes e Amaral (1996); Hungr et al. (2001, 2014); as corridas de detritos podem ser definidas também como fluxo de detritos, e são caracterizadas como movimentos de massa gravitacionais onde há deslocamento de materiais contendo solo, rocha, detritos e água; os quais ocorrem de maneira rápida devido à perda de atrito entre as partículas, podendo assim, atingir velocidades bastante elevadas. Guidicini e Nieble (1976) mencionam que os materiais mobilizados nas corridas tendem a se comportar como fluidos altamente viscosos, por isso, são considerados processos que sofrem influência direta dos fatores hidrológicos. Posto isto, são também considerados como processos hidrológicos.

De acordo com Gramani (2001), as corridas de detritos ocorrem principalmente nos cursos de drenagens e se manifestam através de escoamentos concentrados e

hiperconcentrados, por isso é composta de duas fases: líquida (a água) e sólida (areia, pedaços de rocha, grandes blocos e outros detritos orgânicos, como galhos). Lima e Amaral (2011) e Rodrigues et al. (2011) salientam que o fluxo mobilizado de material tende a encontrar o eixo principal da drenagem e ao longo de seu trajeto, vai acumulando as águas superficiais provenientes dos taludes dos arredores e também incorpora materiais sólidos do leito e dos taludes marginais.

Por causa da sua magnitude de escoamento, é considerado um tipo de evento altamente destrutivo (Figura 9), pois, como mencionado por Watanabe e Ikeya (1981) citado por Gramani (2001), inicialmente tem-se a fase de aceleração e ocorre um intenso processo de erosão, fazendo com que a força de impacto seja comparável a uma avalanche; já no momento da desaceleração, ocorre deposição do material e conseqüente espriamento, causando inundação das áreas e gerando um aporte muito grande de sedimentos misturados com outros materiais.

Varnes (1978) subdivide as corridas de detritos, que é o assunto principal da pesquisa, em “*debris flow*” e “*mud flow*”, sendo que a diferença se dá devido ao tamanho das partículas, ou seja, o “*debris*” contém mais de 50% composto por partículas mais grosseiras (acima da classe areia) e o “*mud*” apresenta menos do que 50% das partículas grosseiras.

Ainda no âmbito internacional, Hutchinson (1968) também diferencia o “*debris flow*” do “*mud flow*”, porém de forma diferente. Para este autor, o “*debris*” é caracterizado como um material de comportamento parecido a um fluido e que possui a forma de escoamento subaquosa; já o “*mud*” trata-se de um processo de escorregamento do tipo translacional e subdivide-se em vulcânicos (materiais vulcânicos que se deslocam na própria encosta dos vulcões) e climáticos (através da mobilização do material devido à pluviometria excessiva).

No Brasil as classificações dos movimentos de massa foram motivadas devido ao grande número de acidentes no litoral paulista, principalmente na Serra do Mar (Gramani, 2001). Para o fenômeno de corridas de detritos, Freire (1965) subdivide em: (1) corridas de terra, (2) areia ou silte, (3) lama e (4) avalanche de detritos; sendo que todos os casos possuem caráter predominantemente hidrodinâmico, onde as partículas perdem a estabilidade com a presença de excesso de água e o atrito entre elas se torna nulo. Em 1969, Costa Nunes classificou os eventos ocorridos no Rio de Janeiro (Serra das Araras) como “processos de erosão violenta

das encostas” e associou o ocorrido não somente às chuvas excessivas, mas também à inclinação dos taludes, a composição do solo, a espessura das camadas e à hidrologia da região.

Vargas (1985) classifica as corridas como ‘avalanches de massa’ e engloba neste termo duas subdivisões, são elas: corridas de lama (“*mud flows*”) e corridas de blocos (“*debris flows*” e “*boulders flows*”).

Vale, ainda, complementar que Vargas (1985) e Freire (1965) colocam os eventos de corridas como sendo processos naturais que não podem ser controlados pelos humanos, sendo assim, não é possível propor medidas preventivas, podendo-se dizer que são fenômenos complexos e de alto risco para diversos ambientes.

Figura 9 - Imagens de duas corridas de detritos. A parte A é no Rio de Janeiro, em 1996 e a parte B é na Região Serrana (também Rio de Janeiro) em 2011.



Fonte: (A - esquerda) Fundação GeoRio e (B - direita) Bianca C. Vieira. Extraído da internet: <https://journals.openedition.org/confins/11444?lang=fr> (acesso no dia 26 de janeiro de 2018).

Posto isto, as corridas de detritos podem ser reconhecidas no ambiente conforme a morfologia do seu depósito; elas podem deixar no caminho alguns

depósitos laterais (em relação à drenagem principal) e no seu término apresenta um grande lóbulo frontal (VAN STEIJN, 1996; IPT, 2002). Segundo IPT (2002), as corridas ocorrem na forma de pulsos (ou ondas) e podem ter o tempo de concentração desde minutos até algumas horas.

Nery (2016) ainda cita alguns aspectos geomorfológicos que podem influenciar na ocorrência de movimentos de massa do tipo corridas de detritos, como por exemplo, a orientação, o ângulo e a curvatura das encostas. Ainda sobre os fatores geomorfológicos, Augusto Filho (1993) menciona que características morfométricas podem influenciar na geração de corridas de detritos, podendo-se citar os seguintes exemplos: declividade do talvegue (que está diretamente ligada com a erosão e a mobilização deste material ao longo do canal) e o índice de circularidade (quanto mais próximo de 1,0, maior a possibilidade de geração de corridas).

Outro aspecto que pode agir como um fator condicionante na ocorrência de corridas de detritos é o tamanho da bacia, por isso, Mizuyama (1982) menciona que bacias com áreas entre 0,1 e 10 km² possuem maior propensão para geração deste tipo de evento, pois possuem um menor tempo de retorno e maior vazão.

4.2.2. Corridas de detritos no mundo

Em todas as partes do mundo existem registros de ocorrências de movimentações de massa do tipo corridas de detritos.

Este tipo de evento é considerado natural em locais de relevos íngremes, como, por exemplo, as regiões serranas (MIDRIAK, 1985; TAKAHASHI, 1994).

Gramani (2001) menciona que a ocupação desenfreada das encostas, das áreas terminais de morros e até mesmo de cursos d'água ao redor do mundo, contribuem para que a ocorrência desse tipo de processo seja cada vez mais frequente, chegando muitas vezes a uma situação fora de controle.

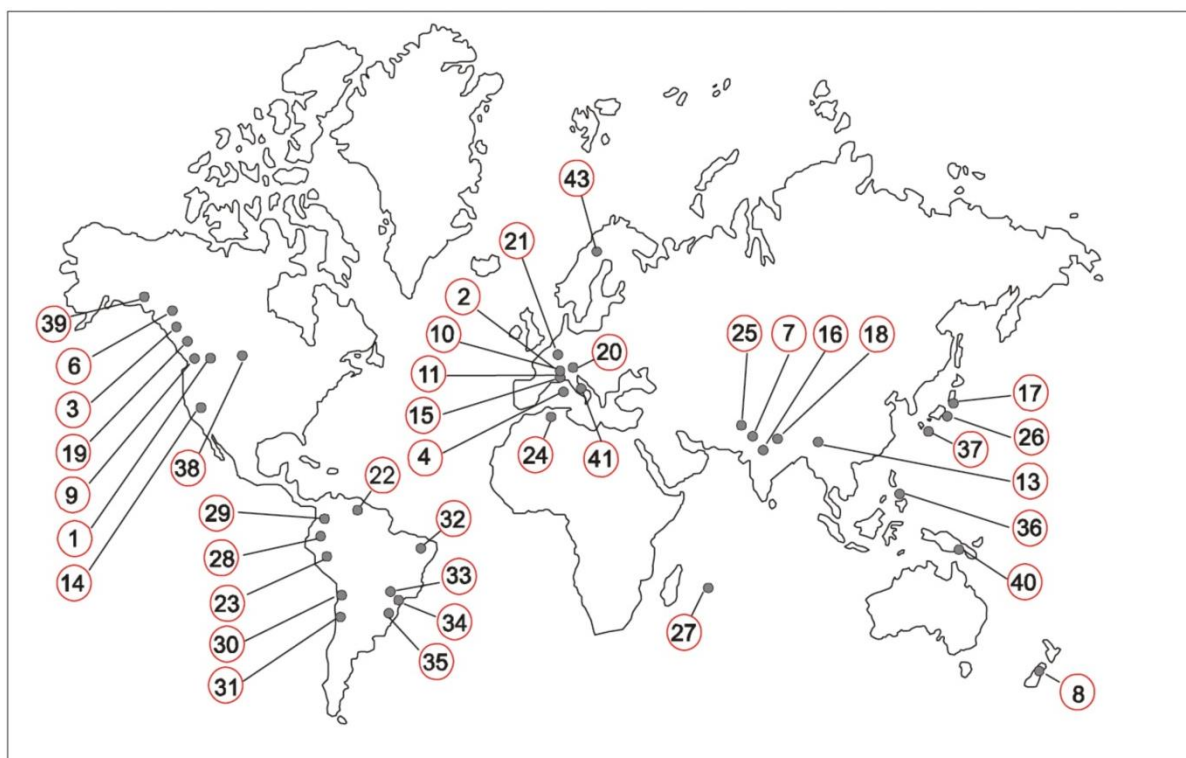
Na Figura 10 observa-se um mapa pontuando as principais localizações de ocorrências de corridas de massa ao redor do mundo.

Em 1970 há registros de um evento de grande magnitude denominado de "*debris avalanche*", que é uma corrida de detritos com velocidade mais elevada, na cidade de Yungay, no Peru; que acarretou na morte de 18.000 pessoas e um

depósito de detritos de 5 metros de altura – este evento foi deflagrado a partir de um sismo (GRAMANI, 2001).

Ujueta e Mojica (1995) também citam um caso ocorrido na cidade de Armero, Colômbia em 1985, onde foram registradas 25.000 mortes e inúmeras propriedades destruídas; esse evento espalhou material de depósito numa área de 3.450 hectares. O agente deflagrador deste evento foi o derretimento do gelo após o aquecimento da cratera do vulcão Nevado Del Ruiz, gerando, assim, uma percolação de água muito forte que levou ao fluxo de materiais na sequência (GRAMANI, 2001).

Figura 10 - Distribuição das corridas de massa* ao redor do mundo.



* Neste mapa foram consideradas as corridas de massa como sendo: fluxo de detritos, fluxo de lama, *lahar*, avalanches e outros. Fonte: Sauret (1987), modificado por Gramani (2001). Os números representam os eventos que estão listados no quadro 3.

O Japão, mesmo sendo um país bem desenvolvido em termos de estudos do tema e prevenção de desastres, ainda contabiliza em torno de 90 mortes anuais decorrentes de corridas de detritos (TAKAHASHI, 1981; SAURET, 1987). De acordo com Fujita (1985) isso se deve ao fato do país conter aproximadamente 73% de seu

território em áreas de morros e cordilheiras e ainda, contam com sismos, atividades vulcânicas e altos índices pluviométricos.

Alguns eventos ao redor do mundo são bastante expressivos, no quadro 3 é possível consultar outros exemplos.

Quadro 3 - Corridas de massa no mundo*. Alguns casos descritos na literatura.

n ^o	Local	Tipo	Volume (m ³)	n ^o	Local	Tipo	Volume (m ³)
1	Ten Mile Rouge, Colorado	mf	17x10 ³	23	Cordilheira Branca, Peru	Daf	10 ⁸
2	Charmaix à Modane, França	df	18x10 ³	24	Maghteb, Norte da África	?	-
3	Port Alice, British Columbia	df	22x10 ³	25	Alma-Ata, Cazaquistão	Df	-
4	Punta Ferriate, Córsega	df	22x10 ³	26	Bacias Janponesas	Df	-
5	Moyenne Quest, Canadá	df	5x10 ⁴	27	Déboulés de la Réunion	?	-
6	Spiral Tunnels, B.Columbia	df	1,75x10 ⁵	28	Lahar du Cotopaxa, Equador	Lhr	-
7	Reshun, Hindu Kusk, Paquistão	df	10 ⁵	29	Nevado del Ruiz, Colômbia	lhr/df	-
8	Monte Thomas, Nova Zelândia	df	2x10 ⁵	30	Antofagasta, Chile	Df	-
9	Slide Mountain, Nevada	df	2x10 ⁵	31	Hidroelétrica Alfalfal, Chile	Df	-
10	Bourg-Saint-Maurice, França	?	3x10 ⁵	32	Serra de Maranguape, Ceará	Df	-
11	Saint-Gervais, França	df	8x10 ⁵	33	Serra da Mantiqueira, SP/ MG	df	-
13	Torrent Dachao, China	mf	3-5x10 ⁵	34	Serra do Mar, SP/ RJ/ SC	df-mf	-
14	Wrightwood, Califórnia	mf	1,2x10 ⁵	35	Timbé do Sul, Santa Catarina	df	>2x10 ⁶
15	Pontamatre, França	mf	3x10 ⁵	36	Mayon Vulcano, Filipinas	lhr	-
16	Pokhara, Nepal	mdf	5,5x10 ⁶	37	Monte Unzen, Japão	lhr	-
17	Japão, diversos casos	lhr	9,6x10 ⁶	38	Monte Santa Helena, U.S.A.	lhr/df	>2,8x10 ⁹
18	Szechuan, Tibet	mf	1,9x10 ⁵	39	NE Chicagof Island, Alaska	df	-
19	Mte Rainier, Washington	lhr	500x10 ⁶	40	M ^{te} Nakanai, N. Guiné	df	-
20	Alpes Austriacos	?	-	41	Diversos casos - Itália	mdf	-
21	Rabioux, Alpes	?	-	42	La Josephina, Equador	df	-
22	Caracas, Venezuela	df	-	43	Noruega	mdf	-

mf=mud flow

df=debris flow

lhr=lahar

mdf=mf+df

daf=debris avalanche-flow

* Os números na tabela correspondem aos números representados na figura 10.

Fonte: Sauret (1987), modificado por Gramani (2001).

4.2.3. Corridas de detritos no Brasil

Polanco (2010) define que os estados brasileiros mais atingidos por eventos de corridas de detritos são: Santa Catarina, São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Espírito Santo, Bahia, Alagoas e Pernambuco; e que as regiões destes estados que mais registram ocorrências de escorregamentos e corridas de detritos são as que se localizam na Serra Geral, Serra do Mar e Serra da Mantiqueira.

Alguns trabalhos relatam de maneira bem ampla os mais expressivos eventos de corridas de detritos no Brasil, dentre eles podem-se destacar: Gramani (2001),

Nery (2016), Kobiyama e Michel (2014), Sakai (2014) e Polanco (2010). O quadro 4 apresenta alguns exemplos de importantes eventos de corridas de detritos ocorridos no Brasil.

Cubatão foi o cenário de um evento de grande porte ocorrido em janeiro de 1985, onde houve uma grande mobilização em volume de solo causada por inúmeros escorregamentos; os cursos dos Rios Perequê e Mogi foram afetados de forma generalizada, fazendo com que o material fosse canalizado e por consequência se transformasse em corridas de detritos de alto poder destrutivo e que colocou em risco diversas instalações industriais (LOPES, 2006).

Em 1967 aconteceu em Caraguatatuba um enorme evento deflagrado a partir das chuvas que ocorreram em março deste ano (CORRÊA, 2018). Gramani (2001) menciona que este evento ocorreu na drenagem do Rio Santo Antônio, e arrastou por quilômetros expressivas quantidades de materiais como troncos de árvores e galhos. Ainda de acordo com o último autor, até a presente data da pesquisa do mesmo, tratava-se do maior desastre natural ocorrido no Brasil e um dos mais expressivos movimentos de massa no mundo.

Ainda de acordo com Gramani (2001), no dia 12 de janeiro de 1999, a Via Anchieta foi atingida no km 42 por uma corrida de detritos decorrente de um grande escorregamento registrado no local, além de muitos outros no Sistema Anchieta-Imigrantes (em torno de 30). O autor ainda pontua que o agente deflagrador deste evento foi a intensa chuva registrada por um pluviômetro no km 47 da mesma rodovia.

O evento de maior destaque para esta pesquisa é o ocorrido nos dias 06 e 07 de fevereiro de 1994 em Cubatão e será abordado com mais detalhes no item 4.4.

Mais recentemente têm-se os registros de alguns casos de grande repercussão que ocorreram no Brasil e causaram grandes danos e perdas, onde se coloca o desastre da Região Serrana do Rio de Janeiro como o mais expressivo do Brasil. Estes exemplos podem ser observados no quadro 5.

Quadro 4 - Eventos expressivos de corridas de detritos no Brasil (* foco da pesquisa).

LOCAL	DATA	OBSERVAÇÕES
Santos – SP (Mt. Serrat)	1928	60 mortes, destruição de parte da Santa Casa de Santos
Vale do Paraíba – RJ/MG	1948 (Dezembro)	250 mortes, centenas de casas destruídas
Santos – SP (Mt. Serrat)	1956	43 mortes, 100 casas destruídas
Rio de Janeiro – RJ	1966 (Janeiro)	100 mortes
Serra das Araras – RJ	1967 (Janeiro)	1200 mortes, dezenas de casas destruídas, usina hidrelétrica destruída e rodovia avariada
Caraguatatuba – SP	1967 (Março)	120 mortes, 400 casas destruídas
Salvador – BA	1971 (Abril)	104 mortes, milhares de desabrigados
Campos do Jordão – SP	1972 (Agosto)	Mais de 10 mortes, 60 casas destruídas
Tubarão – SC	1974	199 mortes, inundação, deposição de areia e lama
Maranguape – CE	1974 (Abril)	12 mortes, dezenas de casas destruídas
Lavrinhas – SP	1986 (Dezembro)	11 mortes, casas e pontes destruídas
Cubatão – SP	1988 (Janeiro)	10 mortes
Petrópolis – RJ	1988 (Fevereiro)	171 mortes, 5000 desabrigados e 1100 casas interditadas
Rio de Janeiro – RJ	1988 (Fevereiro)	Mais de 30 mortes, dezenas de casas destruídas
Salvador – BA	1989 (Junho)	100 mortes, dezenas de morarias destruídas
São Paulo – SP	1989 (Outubro)	14 mortes
Recife – PE	1990 (Julho)	Em torno de 10 mortes
Blumenau – SC	1990 (Outubro)	10 mortes, moradias, pontos e vias destruídas
São Paulo – SP	1990 (Outubro)	Em torno de 10 mortes
Belo Horizonte – MG	1992 (Janeiro e Fevereiro)	Mais de 10 mortes
Contagem – MG	1992 (Março)	36 mortes, centenas de casas destruídas e centenas de desabrigados
Salvador – BA	1992 (Março)	11 mortes
Cubatão – SP *	1994 (Fevereiro)	Inundação da RPBC e interrupção na produção de derivados de petróleo. Estima-se perdas de 40 milhões de dólares.
Timbé do Sul – SC	1995 (Dezembro)	28 mortes, perda de área agrícola e casas destruídas
Ubatuba – SP	1996 (Dezembro)	Muitos pontos da Rodovia Taubaté-Ubatuba destruídos
Via Anchieta (km 42)	1999 (Dezembro)	Vários pontos na rodovia destruídos
Campos do Jordão – SP	2000 (Janeiro)	Muitas casas destruídas
Lavrinhas – SP	2000 (Janeiro)	Casas, rodovias e pontes destruídas
Fazenda Mato Quieto – SP	2000 (Janeiro)	Erosão do leito do rio, alterações na topografia

Fonte: modificado de Augusto Filho (1992) e Gramani (2001).

Quadro 5 - Casos mais recentes de eventos de movimentos de massa ocorridos no Brasil.

LOCAL	DATA	TIPO DO EVENTO	DANOS/PERDAS
Vale do Iatajá - SC	2008 (Novembro)	Escorregamentos translacionais, rotacionais e corrida de detritos e de lama	78.000 pessoas desalojadas, 135 mortes, 2 desaparecidos
Nova Friburgo – RJ	2011 (Janeiro)	Escorregamentos e corridas de detritos	429 mortes, 3.220 desalojados, 2.031 desabrigados e pessoas desaparecidas, inúmeros prejuízos
Teresópolis – RJ	2011 (Janeiro)	Escorregamentos translacionais e corridas de detritos	343 mortes, 9.110 desalojados, 6.727 desabrigados e pessoas desaparecidas, inúmeros prejuízos
Petrópolis – RJ	2011 (Janeiro)	Escorregamentos translacionais, rotacionais, corridas de detritos e lama	71 mortes, 6.223 desalojados, 191 desabrigados e pessoas desaparecidas, inúmeros prejuízos
Morretes e Paranaguá – PR	2011 (11/Março)	Escorregamentos e corridas de detritos	1 morte, 21 feridos, danos em plantações, moradias, pontes, estradas
Cubatão – SP	2013	Escorregamentos e corridas de detritos	Danos na adutora da Sabesp
Itaoca – SP	2014 (Janeiro)	Escorregamentos e corridas de detritos	25 mortes, 2 desaparecidos, danos em plantações, moradias, pontes, estradas

Estes exemplos focam principalmente nos escorregamentos (translacionais e rotacionais) e nas corridas de detritos. Fonte: modificado de Corrêa (2018).

4.3. O evento de 1994

Este evento teve sua ocorrência registrada no dia 06 de fevereiro do ano de 1994 e afetou principalmente a região onde se localiza a Refinaria de Presidente Bernardes (RPBC) em Cubatão (SP). Segundo Gramani (2001), tal fenômeno teve início a partir de um número bastante elevado de escorregamentos nas encostas das proximidades, mais precisamente no terço superior das vertentes, local este, que é considerado de maior potencialidade para a ocorrência deste tipo de processo. Ainda de acordo com o autor, houve rupturas tanto no contato entre solo residual-rocha sã, como nos maciços rochosos fraturados da Estrada Caminhos do Mar, gerando assim, material para se deslocar ao longo das drenagens; e a alta declividade é um fator importante que torna o evento ainda mais significativo.

Massad et al. [2000] cita que o local mais afetado foi a Vertente Norte da RPBC (Figura 11) e faz uma síntese a respeito dos danos causados pelo evento de corrida de detritos deste ano, e o classificaram como catastrófico, pois houve ruptura de oito das nove barragens feitas de gabião devido à inundação da área onde ocorre o processamento dos produtos na refinaria, além da destruição total das tubulações de combate a incêndios (Figura 12).

Houve um grande deslocamento de materiais de composições e tamanhos variados, como por exemplo, blocos de rochas de diversas dimensões (chegando até 6 metros), partículas finas de solo e vegetação (Figura 13); além do material existente no próprio leito das drenagens, que acarretou em uma grande energia de deslocamento para o fluxo (GRAMANI, 2001). Massad et al. (1997) ainda complementa que o volume total de lama que invadiu as dependências da Refinaria foi da ordem de 300.000 m^3 e o fluxo atingiu a velocidade de 10 m/s.

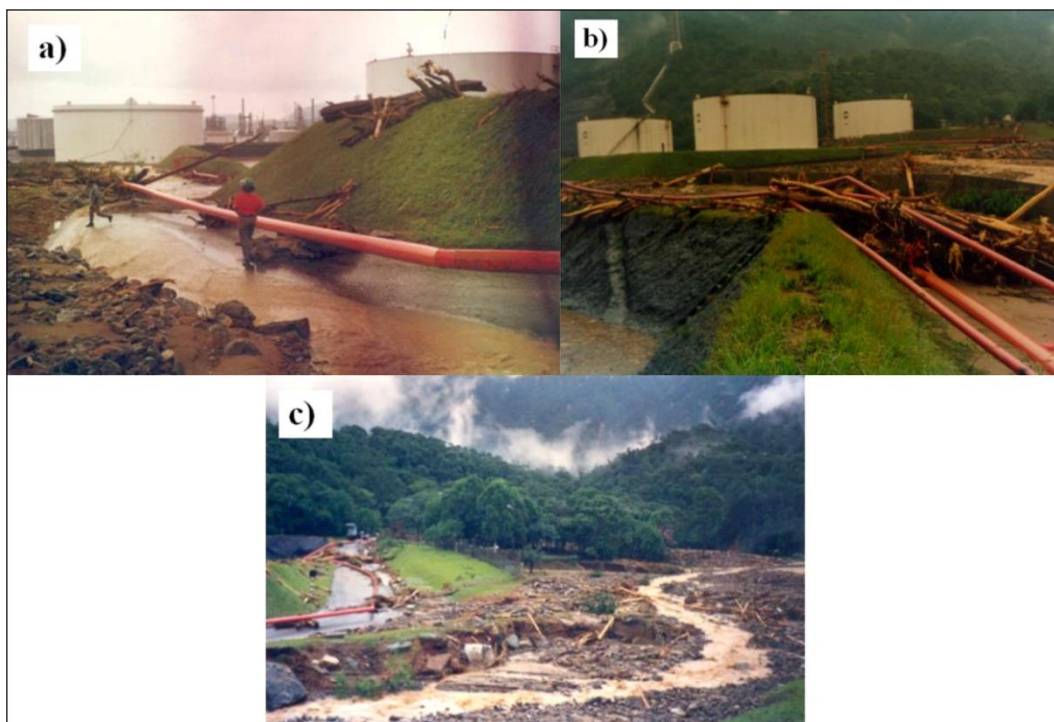
De acordo com o IPT (1994) no dia do evento os valores pluviométricos acumulados registrados na encosta da Serra do Mar foram da ordem de 280 mm, o que é considerado bastante alto.

Figura 11 - RPBC e sua unidade de processamento de produtos inundada (Vertente Norte) – fevereiro de 1994.



Fonte: Massad et al. [2000].

Figura 12 - Tubulações de combate a incêndios destruídas na Vertente Norte.



Fonte: Massad et al. [2000].

Figura 13 - Galhos que ficaram depositados na Área Norte – fevereiro de 1994.



Fonte: Massad et al. [2000].

Na Figura 14 são apresentadas fotos aéreas de antes e depois do local e ilustram as modificações nas drenagens após o evento.

Por fim, salienta-se que a RPBC, devido ao desastre ocorrido, precisou paralisar totalmente a produção durante 10 dias, gerando um prejuízo de US\$ 44 milhões em sua receita, além de gastos com limpeza da ordem de US\$ 2 milhões [Massad et al., 2000].

Figura 14 - Vista aérea de antes (esquerda - 1987) e depois (direita – março de 1994) do evento de 1994.



Fonte: Massad et al. (1998).

4.4. Índices e parâmetros morfométricos

Existem fatores que podem interferir diretamente e indiretamente na modificação da paisagem, como por exemplo, os de origem natural (climáticos/meteorológicos, geomorfológicos e geológicos) e os antrópicos (que envolvem o uso e a ocupação inadequada das áreas, assim como a ação direta do homem). Além destes fatores, algumas características relacionadas à morfologia das bacias podem ter grande influência na dinâmica e na potencialidade para a geração de corridas de detritos, conforme o objetivo principal desta pesquisa.

Os primeiros estudos quantitativos relacionados às bacias foram feitos por Horton (1945) e este definiu os índices e parâmetros morfométricos como sendo processos sistemáticos e racionais que visam medir as formas do relevo, considerando como principal fator a geometria das bacias de drenagem. Estes índices e parâmetros têm a finalidade de fornecer informações importantes, como a forma e o comprimento, que relacionados entre si, fornecem dados bastante relevantes para a dinâmica e compreensão dos processos (CHAMBERLIN, 1982; FONSECA e AUGUSTIN, 2014).

De acordo com Christofolletti (1982), para se estabelecer os índices e parâmetros morfométricos, é necessário que seja feita a análise de dados lineares, areais e hipsométricos (relevo) das bacias.

Alguns trabalhos na literatura têm como foco o estudo dos índices e parâmetros morfométricos diretamente aplicados a corridas de detritos, como por exemplo, Kovanen e Slaymaker (2008), Dias (2014), Gomes et al. (2015), Nery (2016), Dias et al. (2016) e Cerri et al. (2018).

Nery (2016) abordou os índices e parâmetros morfométricos aplicando-os no evento de corrida de detritos ocorrido em 1967 no município de Caraguatatuba (SP), com o objetivo principal de hierarquizar as sub-bacias de acordo com a magnitude das corridas. O autor, ainda, menciona a dificuldade de mensurar os processos de corridas de detritos em campo; e sendo assim, os índices e parâmetros morfométricos se tornam uma importante ferramenta de análise e contribui amplamente na avaliação do potencial de geração desse tipo de fenômeno. Nesta mesma temática, Cerri et al. (2018) abordaram os parâmetros como forma de

analisar a suscetibilidade e potencialidade para a ocorrência de corridas de massa no mesmo município.

Além destes fatores, algumas características relacionadas à morfologia das bacias podem ter forte influência no desenvolvimento, na dinâmica e na potencialidade de bacias hidrográficas à ocorrência desses processos.

Assim, nos itens a seguir serão abordados a conceituação de alguns dos principais índices e parâmetros morfométricos que podem contribuir no entendimento da potencialidade e dinâmica das corridas de detritos no evento de 1994 em Cubatão (SP). Cabe salientar que não foram descritos todos os índices e parâmetros existentes, mas apenas alguns que tenham maior importância na compreensão dos eventos.

4.4.1. Análise linear das bacias

Os dados de caráter linear de uma bacia compreendem o **comprimento total das drenagens** (L_t) e o **comprimento da drenagem principal** (L_p). O comprimento do rio principal é estabelecido por Christofolletti (1982) como a distância da nascente até sua desembocadura. Na metodologia de Horton (1945) o rio principal é definido com sendo o de ordem mais elevada. O rio principal, no caso de um processo de corrida de detritos, se torna a linha de escoamento que receberá todo o aporte de material.

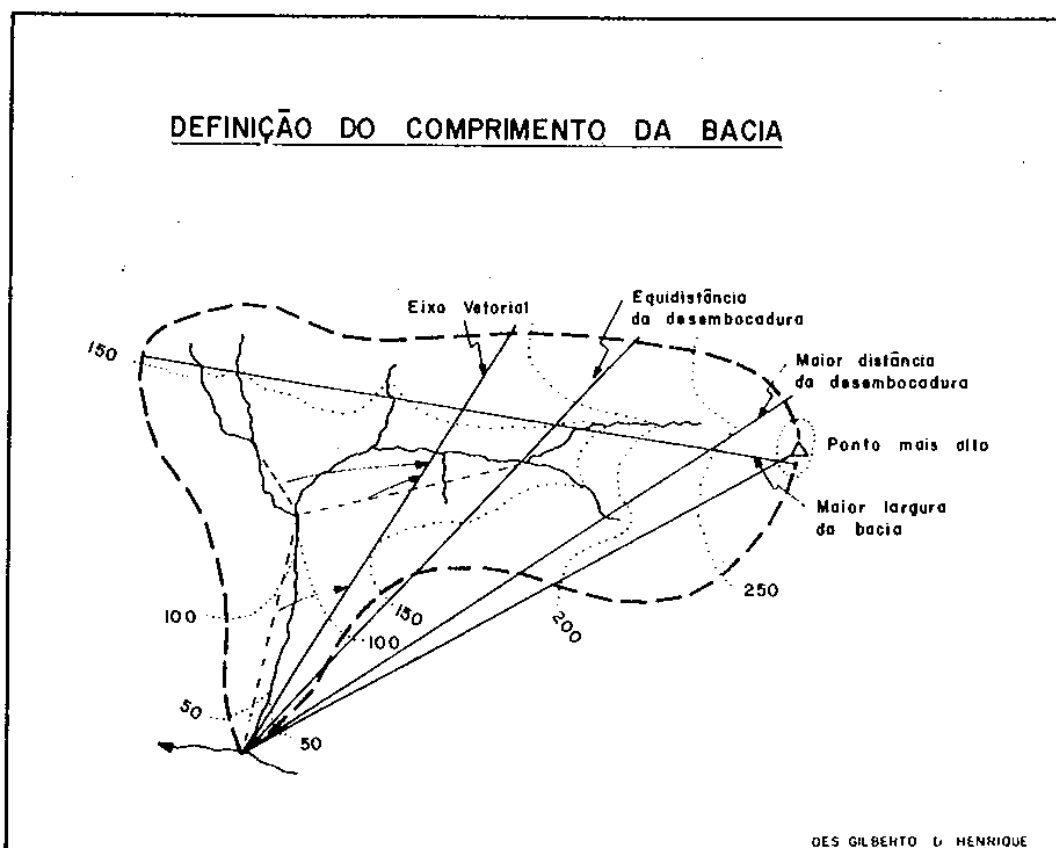
4.4.2. Análise areal das bacias

Este item é composto por dados como **área** (A) e **comprimento da bacia** (L). A área pode ser considerada toda a parte drenada da bacia, ou seja, que engloba toda a rede de drenagem da mesma (CHRISTOFOLETTI, 1982). Para seu cálculo, também é necessário obter o valor do **perímetro** (P). O comprimento da bacia, de acordo com Christofolletti (1982) pode ser calculado de diversas formas, conforme figura 15, e nesta pesquisa adotou-se a seguinte forma: distância medida em linha reta através de uma reta paralela à drenagem principal. Também é necessário calcular a **área pertencente ao círculo de mesmo perímetro da bacia** (A_c).

4.1.1. Análise hipsométrica ou do relevo

Christofolletti (1982) faz a relação das unidades verticais, ou seja, altimétricas, com as unidades horizontais, ou de espaço; para com isso se estabelecer a proporção ocupada por determinada área da superfície terrestre. A **amplitude altimétrica máxima da bacia** (H_m e H) é definida como sendo a diferença altimétrica entre o ponto mais alto e o ponto de desembocadura (CHRISTOFOLETTI, 1982). Estes dados podem contribuir na análise da potencialidade e no comportamento das corridas de detritos, uma vez que relevos mais acentuados podem tornar a região mais suscetível a deslocamento de materiais. Nery (2016) ainda menciona que a amplitude da bacia pode estar relacionada com a energia potencial que fará com que todo o material seja mobilizado num possível evento de corrida de detritos.

Figura 15 - Representação das diversas formas de se calcular o comprimento da bacia.



Fonte: Christofolletti (1982).

4.1.2. Densidade de drenagem

Este parâmetro faz a correlação do comprimento total dos canais de drenagem com a área da bacia em questão (CHRISTOFOLETTI, 1982). Pode ser calculado a partir da seguinte equação:

Equação 1:

$$Dd = \frac{Lt}{A}$$

Onde:

Dd = densidade de drenagem;

Lt = comprimento total dos canais (km) e

A = área da bacia (km²).

Segundo Hajam et al. (2013), o emprego deste índice é fundamental, pois reflete na resposta hidrológica da bacia em eventos de precipitação, ou seja, um valor alto indica uma rápida resposta (no sentido de escoamento) e um valor baixo, numa lenta e gradual resposta. Sendo assim, segundo Nery (2016), na análise de sub-bacias, a densidade de drenagem pode influenciar na geração de corridas de detritos porque pode ser relacionada ao tempo deslocamento da água nos canais, juntamente com a vazão e o potencial de inundação. O mesmo autor ainda pontua que nos dados obtidos, quanto maior o valor da densidade de drenagem, maior é a contribuição na geração de processos de corridas.

4.1.3. Índice de circularidade

Rogelis e Werner (2014) definem este índice como sendo a relação estabelecida entre a área da bacia e a área do círculo de mesmo perímetro que a bacia:

Equação 2:

$$Ic = \frac{A}{Ac}$$

Onde:

Ic = índice de circularidade;

A = área da bacia (km²) e

Ac = área do círculo de mesmo perímetro (km²).

Segundo Christofolletti (1982), o valor máximo a ser obtido é 1,0, sendo que quanto mais próximo deste valor, mais circular é a bacia. Com este parâmetro pode-se definir o comportamento do escoamento da água no decorrer das drenagens que estão presentes na bacia. Isto posto, adota-se que valores entre 0 e 0,51 favorecem o escoamento e valores entre 0,52 e 1,0 prejudicam o escoamento, favorecendo, assim, as cheias (ALVES e CASTRO, 2003). Sendo assim, sub-bacias com escoamento de água menos eficazes, podem ter uma disposição maior para gerar movimentos de massa que levem a eventos de corridas de detritos.

4.1.4. Relação de relevo

Para este índice, Christofolletti (1982) faz a relação entre a amplitude altimétrica máxima de uma bacia com o comprimento da bacia (esta medida de acordo com forma que foi adotada na pesquisa). A equação é a seguinte:

Equação 3:

$$Rr = \frac{Hm}{Lh}$$

Onde:

Rr = relação de relevo;

Hm = amplitude altimétrica máxima (m) e

Lh = comprimento da bacia (km).

A importância deste cálculo, segundo Schumm (1956) e Hajam et al. (2013), é devido à associação deste com o processo erosional que pode atuar nas encostas da bacia. Com isso, os valores obtidos representarão a capacidade de transporte de

sedimentos que a sub-bacia pode apresentar, ou seja, quanto maior o número, maior é a possibilidade de deflagração de corridas de detritos.

4.1.5. Índice de rugosidade

Este índice faz a relação entre a amplitude altimétrica com a densidade da drenagem (CHRISTOFOLETTI, 1969). Utiliza-se a seguinte equação:

Equação 4:

$$I_r = H * D_d$$

Onde:

I_r = índice de rugosidade;

H = amplitude altimétrica (m) e

D_d = densidade de drenagem.

Nesta análise, é necessário observar que quanto mais elevado o índice de rugosidade, mais longas e íngremes serão as vertentes (STRAHLER, 1958 citado por CHRISTOFOLETTI, 1982). Por o resultado estar relacionado com o grau da inclinação das vertentes, pode-se concluir que quanto maior o valor obtido, maior será a possibilidade de ocorrência de corridas de detritos. Ainda, Patton e Baker (1976) citado por Christofolletti (1982) associam este valor, quando mais alto, com a possibilidade de ocorrência de cheias relâmpago.

4.1.6. Índice de força do canal

Em inglês este parâmetro é denominado como *stream power index* (SPI) e Nefeslioglu et al. (2008) classificam como sendo um dos mais importantes, pois controlam diretamente os processos erosivos e as inclinações das encostas. Moore et al. (1991) e Conforti et al. (2011) definem como sendo a medida da força erosiva do fluxo da água, sendo esta relacionada diretamente com a área da bacia (A_s). Tem-se a seguinte equação:

Equação 5:

$$SPI = As * \tan\beta$$

Onde:

SPI = índice de força do canal

As = área da bacia

Tan β = declividade da encosta em graus.

O resultado desta equação mostra que os locais com maiores valores para este índice possuem maior potencial de erosão (KAKEMBO et al., 2009). Além disso, este índice também está relacionado com a inclinação das encostas, por isso, pode-se dizer que maiores valores estão associados com as bacias mais suscetíveis a ocorrência de processos de corridas de detritos.

4.1.7. Frequência de Drenagem

Este índice também pode ser nomeado de 'densidade de rios' (Dr) e Horton (1945) o define como sendo a relação entre o número de canais existentes em uma determinada bacia com a área da mesma, segundo a equação abaixo:

Equação 6:

$$Fs = Dr = \frac{N}{A}$$

Onde:

Fs = frequência de drenagem

Dr = densidade de rios

N = número total de rios (contabilizados de acordo com o número de segmentos)

A = área da bacia

O resultado deste cálculo, para Alves e Castro (2013), é importante, pois com ele é possível analisar o potencial hídrico da bacia em questão, e a partir daí fazer

uma associação com a capacidade de infiltração, relevo, cobertura vegetal, permeabilidade e etc.

Para Christofolletti (1982) o parâmetro ainda é bastante relevante porque representa o comportamento hidrográfico do local em um dos seus aspectos mais importantes: a capacidade de geração de novos cursos hídricos. Este autor ainda complementa que este índice e a densidade de drenagem analisam aspectos distintos da textura topográfica, sendo assim, existe a possibilidade de sub-bacias possuírem densidades de drenagens com valores próximos, mas com frequências de drenagens distintas e vice-versa.

4.1.8. Gradiente do canal

Este dado é obtido através do cálculo da diferença máxima de altitudes entre a nascente e a foz e relacionado com a extensão do respectivo canal, sendo assim, obtém-se a declividade dos cursos d'água (ALVES e CASTRO, 2013). Segundo a equação:

Equação 7:

$$G_c = \frac{a_{\max}}{L}$$

Onde:

G_c = gradiente do canal

a_{\max} = altitude máxima

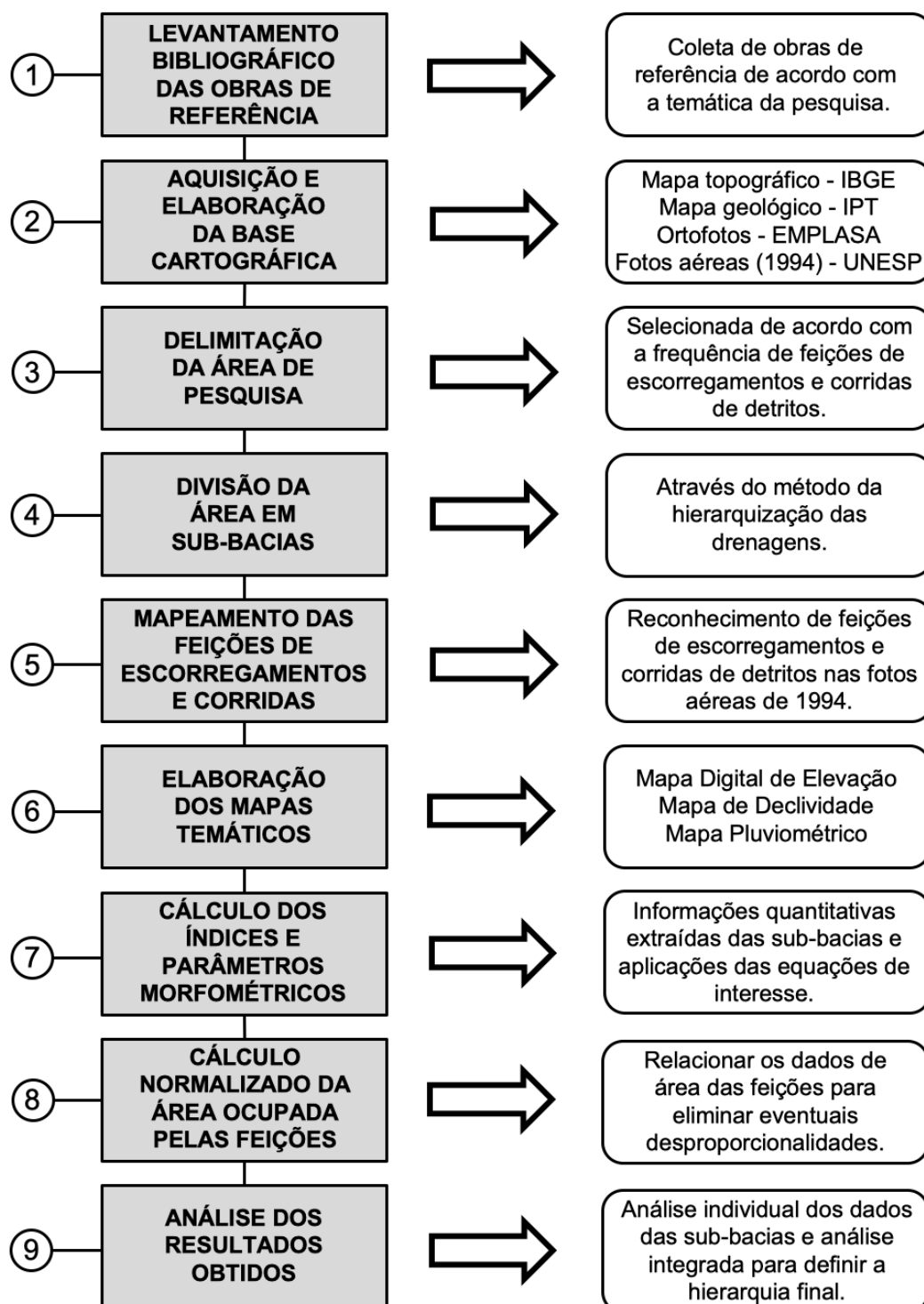
L = comprimento do canal principal.

Segundo Nery (2016), este índice auxilia no reconhecimento de possíveis locais de deposições de sedimentos ou locais que possam ser definidos como áreas fonte para corridas de detritos.

5. MATERIAL E MÉTODOS

Neste capítulo serão apresentadas as discussões dos principais métodos empregados na realização desta pesquisa, conforme esquematizado na figura 16.

Figura 16 – Fluxograma representativo das etapas metodológicas realizadas na pesquisa.



5.1. Levantamento bibliográfico das obras de referência

Esta etapa se fundamenta na pesquisa bibliográfica referente à temática do trabalho, que é índices e parâmetros morfométricos aplicados na avaliação da potencialidade para a geração de corridas de detritos (*debris flow*). Assim sendo, foram feitas análises de trabalhos encontrados na literatura com a mesma temática e que abrangessem a região sudeste do Brasil, onde é bastante comum a ocorrência do citado processo, assim como outros processos associados que possam influenciar ou desencadear estes movimentos de massa.

Para tal, foi utilizada a ferramenta de busca sistemática de artigos na plataforma de dados do Portal Capes, assim como teses e dissertações em outras plataformas de renome, como, por exemplo, as bibliotecas virtuais de universidades, como a Universidade de São Paulo (USP), a Universidade Estadual Paulista (Unesp) a Universidade de Campinas (Unicamp), dentre outras. De modo a facilitar as buscas, foram utilizadas palavras-chaves como: movimentos de massa, corridas de detritos, *debris flows*, parâmetros morfométricos, índices morfométricos, potencialidade a corridas de detritos, escorregamentos, Serra do Mar, e outras de acordo com a necessidade e os andamentos da pesquisa.

5.2. Aquisição e elaboração da base cartográfica

Nesta fase foram adquiridos os dados que compuseram a base cartográfica da pesquisa, como por exemplo, os mapas, as fotografias aéreas, as cartas topográficas e as ortofotos.

Cabe, neste momento, salientar que todos os mapas confeccionados a partir destes dados e apresentados nesta pesquisa estão no sistema de projeção “Universal Transversa de Mercator” (UTM), *datum* SIRGAS2000, Fuso 23S.

O mapa topográfico utilizado é disponibilizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), e através do *site* www.ibge.gov.br foi possível fazer o download da folha SF-23-Y-D, denominada Folha Santos, em escala 1:50.000 e datada do ano de 1972. Inicialmente o mapa foi georreferenciado no sistema de projeção UTM WGS84, e portanto foi necessário aplicar a transformação geodésica no mesmo. Para isto utilizou-se a ferramenta ‘*Project*’ disponível no *software* *ESRI*[®] *ArcGIS* 10.1 localizada no seguinte caminho: *ArcToolbox – Data Management Tools*

– *Projection and Transformatios – Feature – Project*. O mapa geológico, também em escala 1:50.000, foi elaborado pelo IPT com data de 1985 e inicialmente estava georreferenciado na projeção SAD69, por isso foi convertido conforme citado acima para o *datum* SIRGAS 2000.

Em seguida foram solicitadas, através de um ofício, as Ortofotos da região diretamente à Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano – Emplasa, as quais se encontram na escala de 1:25.000 e datam do ano de 2011. Estas Ortofotos são ortorretificadas (X, Y e Z) e também foram recebidas no sistema de coordenadas WGS84 e, portanto, também foram submetidas ao mesmo procedimento de conversão geodésica para o *datum* SIRGAS2000.

As fotografias aéreas possuem escala de 1:25.000, são referentes ao ano de 1994 e fazem parte do acervo da UNESP – Campus de Rio Claro. Estas foram digitalizadas através de scanner com resolução de 600 dpi em 8 bits de coloração monocromática (LOPES, 2006), também foram georreferenciadas no sistema de coordenadas SAD69 e também foi necessário passar pelo procedimento de transformação geodésica.

5.3. Delimitação da área de pesquisa

A escolha da área de pesquisa foi conduzida após a análise de ocorrências de eventos de escorregamentos e corridas de detritos na região onde aconteceu o desastre em fevereiro de 1994. Também foram utilizadas as fotografias aéreas deste mesmo ano para a identificação das feições de escorregamentos e de corridas de detritos, e a partir disso, delimitar o trecho com maior frequência das mesmas. O local escolhido situa-se, em sua maior parte, no município de Cubatão (SP), porém também engloba pequenas porções dos municípios de São Bernardo do Campo e Santo André.

Para a delimitação do polígono que engloba a área de estudo, foram utilizadas ferramentas de *softwares* como o *Google Earth Pro* e o *ESRI® ArcGIS 10.1*. O traçado da área foi realizado com base nas curvas de níveis e nas drenagens das cartas topográficas do IBGE, em escala 1:50.000.

5.4. Divisão da área em sub-bacias

Para a delimitação das sub-bacias, utilizou-se inicialmente o método da hierarquização das drenagens definido por Strahler em 1952, citado por Christofolletti (1982). Estas drenagens foram extraídas do mapa topográfico do IBGE em escala 1:50.000 e na sequência foram numerados os cursos d'água conforme o número de tributários que este possui; como por exemplo, uma drenagem sem tributários recebe a numeração 1, sendo assim de primeira ordem, quando se encontra com outra sem tributários formando uma bifurcação, esta recebe a numeração 2, ou segunda ordem, e assim por diante, até que seja finalizada a numeração na drenagem principal. Esta classificação foi importante para englobar em cada sub-bacia todas as drenagens que deságuam em um mesmo rio, podendo este ser considerado o rio principal da sub-bacia (o de maior ordem hierárquica).

Após definido quais as drenagens que iam compor cada sub-bacia, foi necessário delimitar o traçado das mesmas, e para isso foram observados os divisores de águas através das cartas topográficas do IBGE em escala 1:50.000, sempre respeitando a hierarquização das drenagens, conforme feito anteriormente.

Esta subdivisão foi importante, pois foi a partir dela que foram calculados os índices e parâmetros morfométricos que será discutido no item 5.7.

5.5. Mapeamento das feições de escorregamentos e corridas de detritos

Para a execução desta etapa foram utilizadas as fotografias aéreas do ano de 1994 logo após o evento que atingiu a RPBC. Com esta análise foi possível realizar o mapeamento das feições de escorregamentos utilizando-se de critérios fotointerpretativos para a identificação das mesmas, que são: ausência de vegetação, textura, posicionamento na encosta e forma (LOCH, 1984; LOPES et al., 2007). As feições de corridas de detritos também foram mapeadas seguindo os mesmos critérios fotointerpretativos, porém, também foram baseados na morfologia do depósito, cor (geralmente esbranquiçada), localização (ao longo dos canais de drenagens) e formato dos depósitos na região onde a mesma se espria (GUZZETTI et al., 2012; SESTINI e FLORENZANO, 2014). Ainda, foi acrescida a análise comparativa com as ORTOFOTOS de 2011, podendo-se, assim, observar que

houve um alargamento nos canais das drenagens que foram atingidas pelas corridas de detritos juntamente com a ausência bem marcada de vegetação.

Cabe salientar que, por se tratar de um evento de grande magnitude e bastante generalizado, muitas das feições analisadas nas fotos aéreas ficaram impossíveis de serem distinguidas entre cicatriz de escorregamento ou cicatriz de corrida de detrito, por isso adotou-se o termo 'feição' como uma forma de englobar ambas as cicatrizes; uma vez que, muitas vezes os depósitos provenientes dos escorregamentos se tornam suprimentos que serão mobilizados num evento de corrida de detritos.

A partir disto, dentro do *software ESRI® ArcGIS 10.1*, foi criado um *shapefile* de polígono e, as feições foram extraídas.

Esta etapa teve como finalidade principal os cálculos das áreas ocupadas pelas feições tanto em relação a cada uma das sub-bacias, como em relação à área total de estudo.

5.6. Elaboração de mapas temáticos

Com base nos dados adquiridos anteriormente, alguns mapas de interesse foram confeccionados, são eles:

5.6.1. Modelo Digital de Elevação (MDE)

Este tipo de mapa fornece uma visão topográfica geral da área e transforma as curvas de nível em faixas topográficas. Corrêa (2018) classifica este tipo de mapa como sendo a representação tridimensional real de uma região.

Para elaboração deste modelo, inicialmente, foi necessário realizar a vetorização das curvas de nível de toda a área. O mapa base utilizado foi a folha topográfica do IBGE em escala 1:50.000. Neste caso foram adotados intervalos de 100 em 100 metros (pois o relevo da área sofre variação de próximo de 0 até 1000 metros do nível do mar), totalizando 10 faixas de relevos e esta divisão permitiu uma melhor visualização da topografia da área de estudo como um todo; além de facilitar a observação da amplitude topográfica em cada sub-bacia, uma vez que a mesma pode influenciar no potencial para geração de corridas de detritos.

A elaboração deste mapa foi viabilizada a partir da ferramenta de interpolação denominada '*Topo to Raster*' do software *ESRI*[®] *ArcGIS* 10.1. Seguindo-se o caminho: *ArcTool Box – 3D Analyst Tools – Raster Interpolation – Topo to Raster*. Além disso, também foi empregado um método de correção para possíveis erros, utilizando a ferramenta '*Spatial Analyst Tool – Hydrology – Fill*'. O MDE foi utilizado posteriormente como dado de *input* para a confecção do Mapa de Declividade que vai ser tratado logo abaixo.

5.6.2. Mapa de Declividade

A finalidade deste mapa é fornecer uma visão dos locais onde as declividades das encostas são mais acentuadas, por isso, o mapa é subdividido em classes de declividade. A declividade, neste caso, foi estabelecida em graus (°), e para isso foram utilizados os seguintes intervalos propostos por De Biasi (1970) e Lepsch (1983): de 0 a 5°, de 5° a 15°, de 15° a 30°, de 30° a 45° e acima de 45°; estes intervalos foram adotados, pois trazem uma visão geral da distribuição das classes de declividade da área de estudo. Outros intervalos foram testados, porém apareceram algumas incoerências principalmente nas regiões de maior declividade.

A ferramenta utilizada para a elaboração deste mapa foi a '*Slope*' do software *ESRI*[®] *ArcGIS* 10.1; seguindo-se o caminho: *ArcTool Box – 3D Analyst Tools – Raster Surface – Slope*. O dado de entrada para este mapa foi o MDE citado acima.

Este mapa teve como principal finalidade o cálculo das porcentagens (com base nas áreas) de cada sub-bacia que estão situadas em cada classe de declividade, para posteriormente associar com as áreas ocupadas pelas feições de escorregamentos e corridas de detritos em cada sub-bacia.

5.6.3. Mapa pluviométrico

Foi elaborado este mapa com a finalidade de analisar a distribuição das chuvas acumuladas nos dias próximos ao evento. Para isso, utilizou-se de dados fornecidos pelo DAEE referentes aos dias 06 e 07 de fevereiro de 1994.

Para a geração deste, o primeiro passo foi adicionar a tabela contendo os dados de precipitação (*File – Add Data – Add XY Data*) para que as isolinhas pudessem ser geradas; em seguida, utilizou-se a ferramenta '*Topo to Raster*', que pode ser encontrada no seguinte caminho do ESRI® ArcGIS 10.1: *ArcTool Box – Spatial Analyst Tools – Interpolation – Topo to Raster*.

5.7. Cálculo de índices e parâmetros morfométricos

Para a realização dos cálculos dos índices e parâmetros morfométricos, primeiramente, foi necessário extrair as informações de interesse diretamente das cartas topográficas do IBGE em escala 1:50.000, assim como alimentar a "*Attribute Table*" (tabela de atributos). As informações citadas são: a drenagem e as curvas de nível, estas foram extraídas totalmente de forma manual através da criação de um *shapefile* do tipo *Polyline*, e posteriormente realizando o traçado em cima da carta original. A "*Attribute Table*" foi alimentada com os valores de cada cota, no caso do *shapefile* de curvas de nível e com valores de ordem de grandeza da drenagem, no caso do *shapefile* de drenagem. Todas as informações processadas nesta etapa foram executadas diretamente no software ESRI® ArcGIS 10.1.

Visto que as sub-bacias já haviam sido definidas em etapas anteriores, os primeiros dados obtidos foram os valores referentes à área (A) e ao perímetro (P) de cada sub-bacia da seguinte forma para cada índice: abriu-se a '*Attribute Table*' para cada uma delas e clicou-se em '*Table Options – Add Field*'; no campo '*Name*' foi escrito '*perimetro*' e '*area*', e em '*Type*' escolheu-se a opção '*Double*'. Com isso foram criadas duas colunas na tabela de atributos referente aos valores buscados. Após isso, na parte de cima de cada coluna clicou-se com o botão direito do *mouse* e foi escolhida a opção '*Calculate Geometry*', selecionando a opção '*square kilometers [sq km]*' e '*kilometers [km]*' para área e perímetro, respectivamente. Com isso foi possível se obter os valores necessários.

Em seguida foram calculados os comprimentos (Lh) de cada sub-bacia utilizando a ferramenta '*Measure*'. Para isso foi traçada uma linha paralela à drenagem principal de cada sub-bacia utilizando esta ferramenta, e a mesma, automaticamente, já forneceu os valores em quilômetros.

Para o cálculo da altitude topográfica/altimétrica (Hm e H) foi necessário a utilização dos dados hipsométricos extraídos da carta do IBGE, os quais já haviam sido alimentados os dados da “*Attribute Table*”. A partir daí foi possível estabelecer uma ordem decrescente aos valores referentes às cotas, para finalmente subtrair a maior cota da menor cota. Para que o cálculo fosse mais preciso em cada sub-bacia, aplicou-se a ferramenta ‘*Clip*’ em cada uma delas, com isso, ficaram visíveis apenas a hipsometria pertencente a cada uma das bacias.

No cálculo do comprimento das drenagens (Lt) foi utilizado o *shapefile* criado anteriormente. E este item, assim como o anterior, foi calculado, inicialmente, aplicando-se a ferramenta ‘*Clip*’ em cada uma das sub-bacias, para que ficassem isoladas exatamente as drenagens pertencentes àquela bacia. Após isto, seguiu-se o mesmo procedimento do cálculo do perímetro, porém criando a coluna ‘comprimento’. Já no cálculo do comprimento da drenagem vetorizada utilizou-se novamente a ferramenta ‘*Measure*’ traçando-se uma linha reta ligando o início da drenagem ao final desta mesma.

A área do círculo correspondente ao perímetro (Ac) foi calculada a partir do dado de perímetro já obtido anteriormente. Com este dado, aplicou-se a fórmula do perímetro ($P = 2 \cdot \pi \cdot R$) para se obter o valor do raio (R), e a partir daí aplicar a fórmula da área do círculo ($A = \pi \cdot R^2$).

Todos esses dados mencionados anteriormente foram considerados pela autora como sendo os parâmetros morfométricos. Com estes dados dos parâmetros morfométricos obtidos, passou-se para as aplicações das equações (Tabela 1), as quais foram denominadas de índices morfométricos, pois tratam-se da relação de dois ou mais parâmetros morfométricos, e assim foi possível obter a Densidade de drenagem (Dd), Índice de circularidade (Ic), Relação de relevo (Rr), Índice de rugosidade (Ir), Índice de força do canal (SPI), Gradiente do canal (Gc), Índice de sinuosidade (Is) e Frequência de drenagem (Fs).

Tabela 1 - Equações utilizadas nos cálculos dos índices morfométricos.

ÍNDICES MORFOMÉTRICOS	SIGLA	UNIDADE	FÓRMULA
Densidade de drenagem	Dd	$\frac{\text{km}}{\text{km}^2}$	$Dd = \frac{L_t}{A}$
Índice de circularidade	Ic	$\frac{\text{km}^2}{\text{km}^2}$	$Ic = \frac{A}{Ac}$
Relação de relevo	Rr	$\frac{\text{m}}{\text{km}}$	$Rr = \frac{Hm}{Lh}$
Índice de rugosidade	Ir	Adimensional	$Ir = HxDd$
Índice de força do canal	IFC (SPI)*	Adimensional	$SPI = As * \tan\beta$
Gradiente do canal	Gc	$\frac{\text{m}}{\text{km}}$	$Gc = \frac{amax}{L}$
Índice de sinuosidade	Is	$\frac{\text{km}}{\text{km}}$	$Is = \frac{Lp}{dv}$
Frequência de drenagem	Fs = Dr	Adimensional	$Fs = Dr = \frac{N}{A}$

* Sigla em inglês: *Stream Power Index*

5.8. Cálculo normalizado da área ocupada pelas feições de escorregamentos e corridas de detritos

Para a realização do cálculo normalizado da área das feições, inicialmente foi aplicado o cálculo das áreas em cada sub-bacia individualmente e também para a área total; após isso, foi possível relacionar os valores obtidos com os dados das

áreas das sub-bacias e a da área total de estudos, fazendo com que fosse obtido um valor normalizado (adimensional), de acordo com a equação abaixo:

Equação 8:

$$\text{Normalização} = \frac{AC(x)/AC(t)}{AB(x)/A(t)}$$

Onde:

AC(x) = área ocupada pelas feições na bacia x

AC(t) = área total das feições (em todas das bacias)

AB(x) = área da bacia x

A(t) = área total de estudos.

Este cálculo tem a finalidade de corrigir possíveis desproporcionalidades causadas pela relação das áreas ocupadas pelas feições em cada uma das respectivas sub-bacias, uma vez que a incidência do evento não pode ser considerada o mesmo em toda a área de estudo. E por fim, possibilitar a comparação destes dados com os dados obtidos nos cálculos dos índices e parâmetros morfométricos.

5.9. Análise dos resultados obtidos

Após a aquisição de todos os dados através das etapas anteriores, iniciaram-se as últimas etapas da pesquisa, que consistiu na análise dos resultados e conclusões.

As análises dos resultados foram feitas inicialmente de forma individual para cada etapa; como, por exemplo, a discussão de cada mapa temático, interpretando-os para que fosse definida a influência de determinados fatores na potencialidade para a geração de corridas de detritos em cada sub-bacia.

Os índices e parâmetros morfométricos também foram primeiramente interpretados individualmente, e para isso cada parâmetro e índice morfométrico teve seus valores separados em **3 classes** de potencialidade; sendo elas: **baixa**, **média** e **alta**. Essa etapa da análise é derivada da aplicação em cálculos estatísticos

para representar a distribuição da frequência que os dados obtidos podem possuir (BATTISTI e BATTISTI, 2008). Segundo estes mesmos autores é necessário que se defina o **número de intervalos** que será utilizado e após isso realizar o cálculo da amplitude destes intervalos com a seguinte fórmula:

Equação 9:

$$hi = \frac{At}{\sqrt{n}}$$

Onde:

hi = tamanho do intervalo

At = amplitude total

\sqrt{n} = número de intervalos (classes)

Após esta etapa, é possível determinar os limites utilizados na separação dos intervalos. Ou seja, a primeira classe possui o limite inferior como sendo o valor mais baixo encontrado nos dados e a este valor soma-se o resultado obtido em *hi*, estabelecendo-se, assim, o limite superior desta classe; e assim sucessivamente até finalizar o número de classes escolhidos (BATTISTI e BATTISTI, 2008).

No caso dos dados obtidos na pesquisa, o valor referente à amplitude total equivale à subtração do valor maior pelo valor menor (de cada índice e parâmetro trabalhado). Este valor conseguido na subtração foi dividido em 3 (que é o número de intervalos utilizados na análise) e obteve-se, assim, o *hi* (tamanho do intervalo). O *hi* é somado primeiramente ao menor valor do dado e obtém-se, assim, o primeiro intervalo. A partir deste valor, soma-se novamente e obtém-se o segundo e mais uma vez, tendo o terceiro e último intervalo. Salienta-se que algumas aproximações nos valores podem ser necessários.

Para a classe que representa a **maior** potencialidade foi atribuída a cor vermelha, para a **média** potencialidade, a cor amarela e para a **baixa** potencialidade, a cor verde.

Após isso, os valores foram distribuídos nestas classes para que cada sub-bacia fosse identificada de acordo com uma classe a que pertencem.

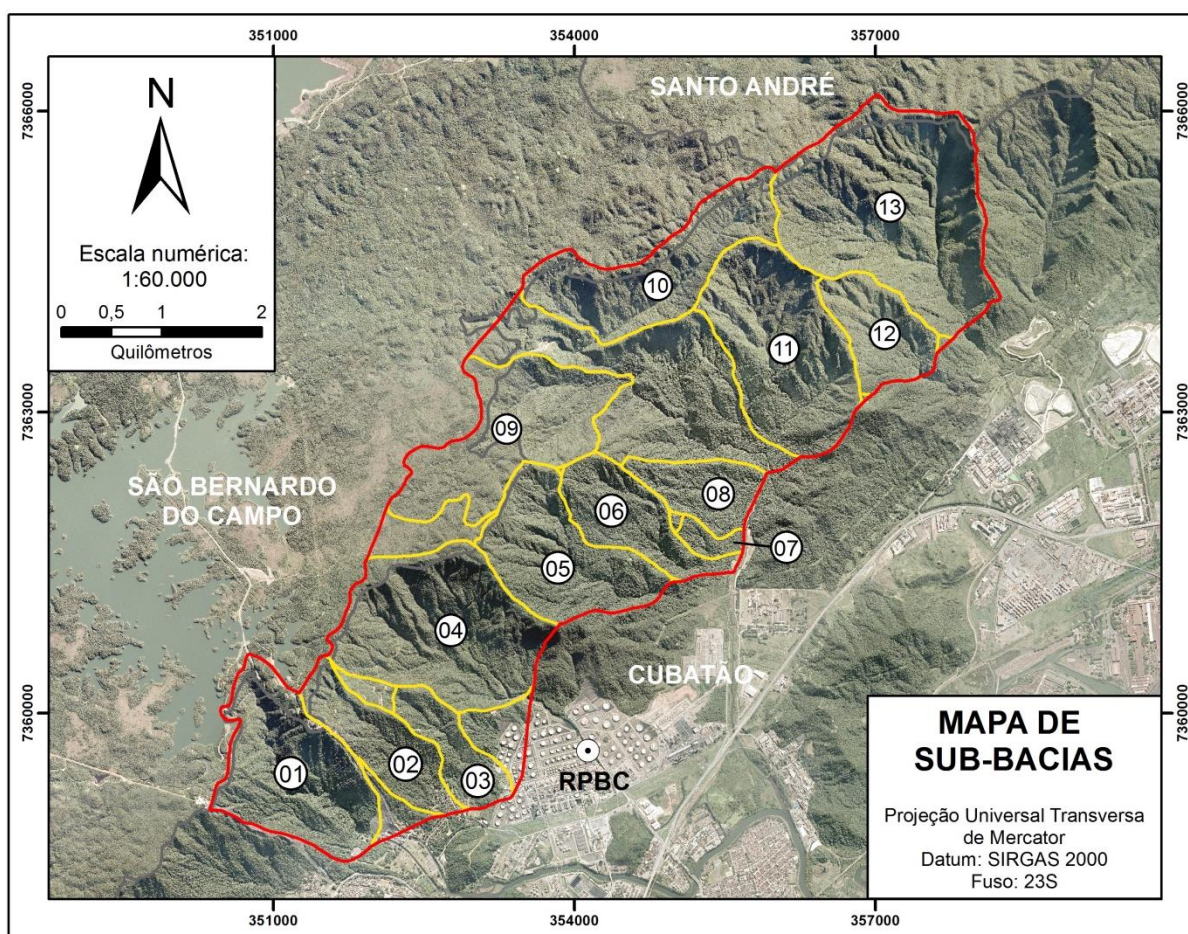
Por fim, a interpretação dos resultados passou pela análise integrada dos valores de índices e parâmetros morfométricos; a qual teve a finalidade de classificar a hierarquia das sub-bacias e depois a potencialidade de cada uma delas para a ocorrência de corridas de detritos na área de estudo. Esta etapa foi fundamental para o resultado final, pois além dos índices e parâmetros morfométricos; que fornecem dados quantitativos em relação à morfologia da bacia; foi considerado o fator externo 'pluviosidade', que está relacionado com o índice acumulado de precipitação intenso que a região passou nos dias 6 e 7 de fevereiro de 1994.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A área de estudo foi dividida em um total de 13 sub-bacias, as quais foram numeradas de 01 a 13 sequencialmente, conforme figura 17.

Estas sub-bacias correspondem às regiões que possuem a maior frequência de feições de escorregamentos e corridas de detritos relativas ao evento ocorrido em fevereiro de 1994 no município de Cubatão (SP).

Figura 17 - Mapa com a localização e delimitação das sub-bacias analisadas na pesquisa.



Fonte: Elaborado pela autora.

6.1. Mapeamento das feições e normalização dos dados referentes à área

Esta etapa tem como objetivo analisar a abrangência espacial do evento de fevereiro de 1994 em Cubatão (SP) e foi realizado através do mapeamento das feições de escorregamentos e corridas de detritos nas fotos aéreas de 1994. Cabe-

se ressaltar, novamente, que por se tratar de um evento de grande magnitude, a diferenciação entre as cicatrizes de escorregamentos e as cicatrizes de corridas de detritos tornou-se impossível em muitos trechos; por isso, foi feita a integração entre elas e utilizou-se a denominação de feição (Figura 18).

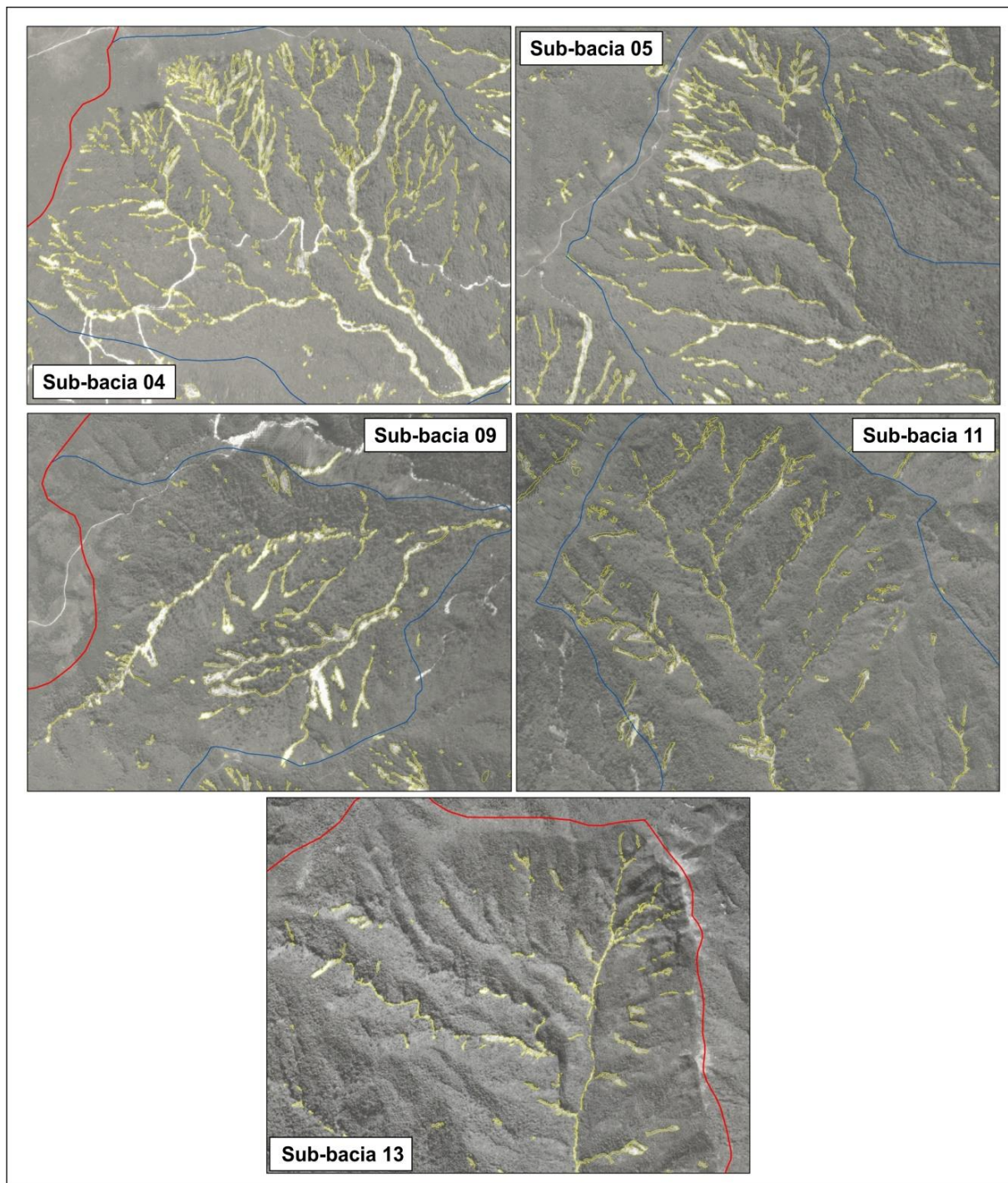
Na figura 18, ainda, observam-se em detalhes algumas das sub-bacias que mais foram atingidas pelos escorregamentos e corridas de detritos no evento analisado.

Como resultados obtidos nesta etapa têm-se os mapas de feições (Figura 19 e Figura 20) que serviram como ferramentas para a realização dos cálculos das áreas (em km²) que as mesmas representam em cada sub-bacia (Tabela 2).

O valor normalizado consistiu na aplicação da fórmula citada no item 5.8, e fez com que se identificassem desproporcionalidades nos dados obtidos. Sendo assim, nota-se que os valores em destaque na tabela 2 (última coluna) estão abaixo de 1,0, isso quer dizer que, proporcionalmente, as sub-bacias em questão não deveriam apresentar uma alta potencialidade para ocorrência de corridas de detritos, no entanto, as sub-bacias de números 01, 11 e 13 possuem uma porcentagem considerável em área de feições, sendo elas: 2,30%, 3,07% e 2,16%, respectivamente. Isso pode ser interpretado de modo que estas sub-bacias sofreram influência de algum outro fator condicionante, como, por exemplo, um alto índice de precipitação nos dias próximos ao evento em questão juntamente com a influência da topografia. Estas correlações serão analisadas no decorrer do texto.

Na figura 21 pode ser observado o gráfico que apresenta os resultados normalizados das áreas das sub-bacias analisadas na pesquisa.

Figura 18 - Detalhe das feições de escorregamentos e corridas de detritos mapeadas nas sub-bacias 04, 05, 09, 11 e 13 a partir do método descrito no item 5.5.

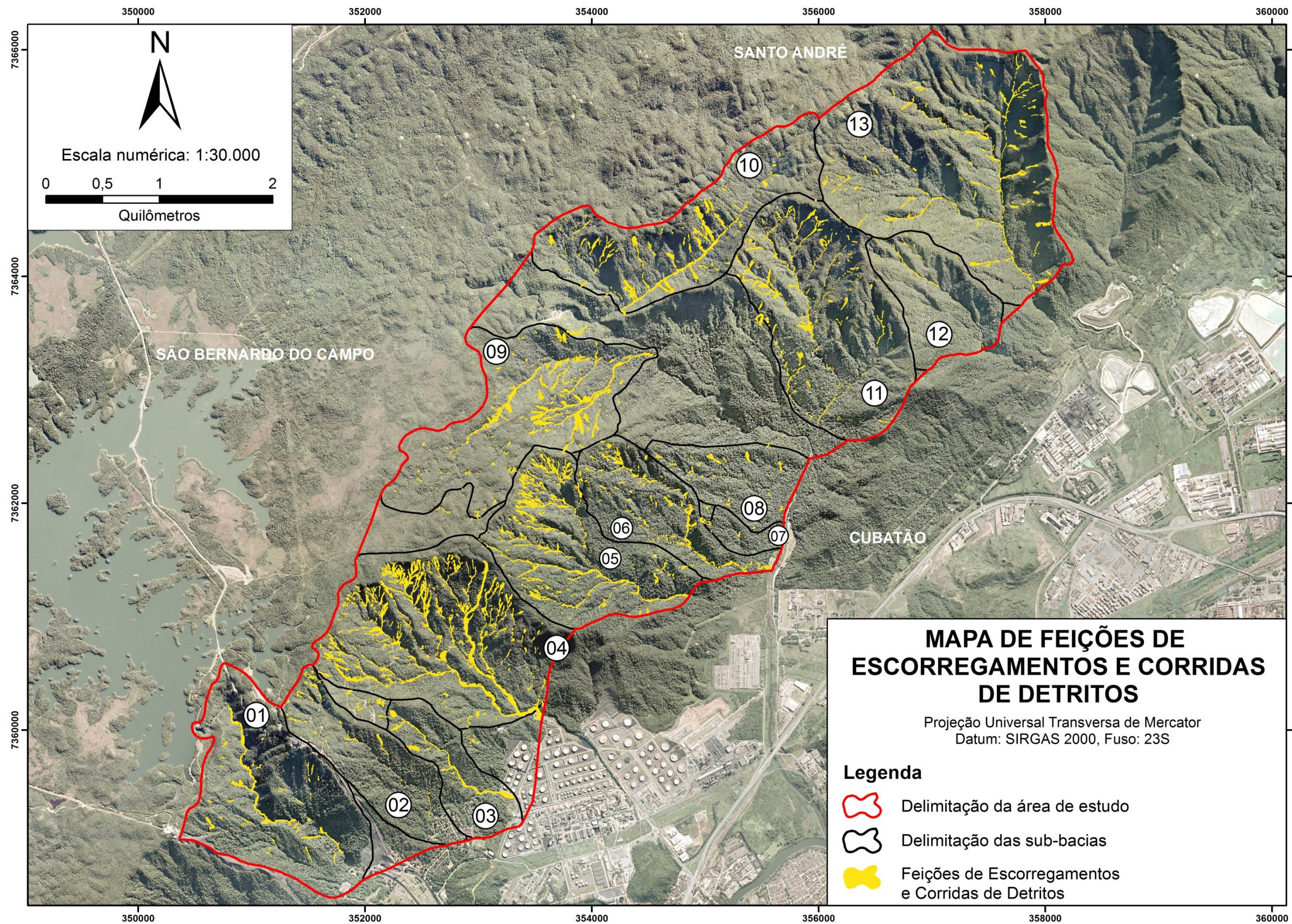


Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 2 - Área, porcentagem e valor normalizado da área ocupada pelas feições em cada sub-bacia.

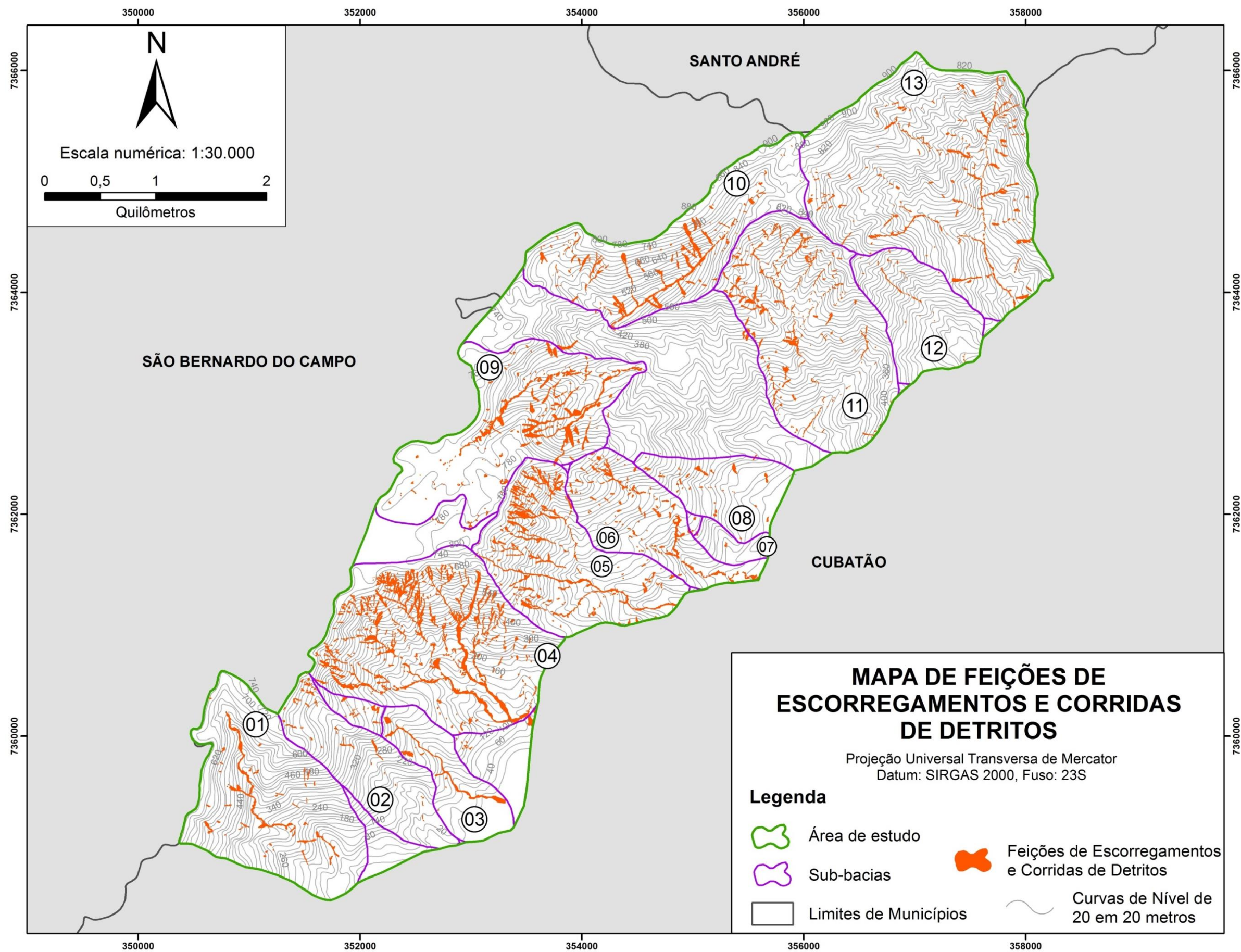
SUB-BACIA	Área da sub-bacia (km²)	Área das feições na sub-bacia (km²)	% em relação à área da sub-bacia	% em relação à área de estudos	Normalização (adimensional)
01	1,98	0,05	2,30	0,19	0,62
02	0,96	0,01	1,17	0,05	0,32
03	0,63	0,03	4,16	0,11	1,13
04	2,54	0,25	9,85	1,07	2,68
05	1,61	0,12	7,23	0,50	1,97
06	0,99	0,05	4,85	0,20	1,32
07	0,17	0,00	0,56	0,00	0,15
08	0,67	0,01	1,80	0,05	0,49
09	1,97	0,12	5,91	0,50	1,61
10	1,75	0,09	5,02	0,37	1,37
11	2,27	0,07	3,07	0,30	0,83
12	0,86	0,00	0,42	0,02	0,11
13	3,49	0,08	2,16	0,32	0,59

Figura 19 - Mapa de feições de escorregamentos e corridas de detritos.



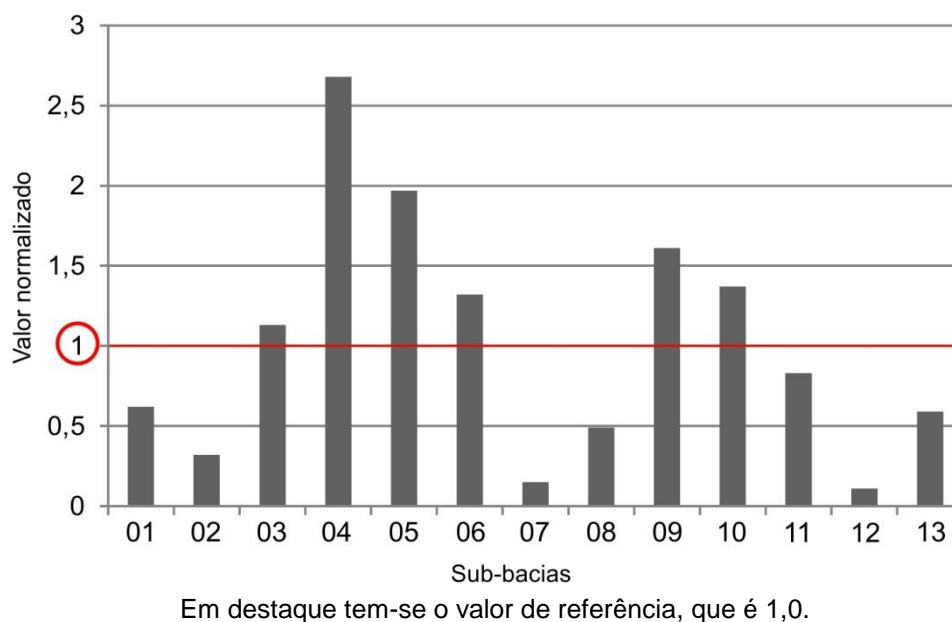
Feições de escorregamentos e corridas de detritos sobrepostas na base fotográfica. Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 20 - Mapa de feições de escorregamentos e corridas de detritos.



Feições de escorregamentos e corridas de detritos sobrepostas na base topográfica. Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 21 - Representação gráfica dos valores normalizados das áreas para cada sub-bacia.



Observa-se que a sub-bacia 04 possui um valor normalizado (2,68) mais discrepante em relação às outras sub-bacias; essa desproporcionalidade foi influenciada devido a maior incidência de feições de escorregamentos e corridas de detritos na bacia, pois foi esta que sofreu o maior dano no evento de 1994, que é o local onde está situada a RPBC ao pé da encosta.

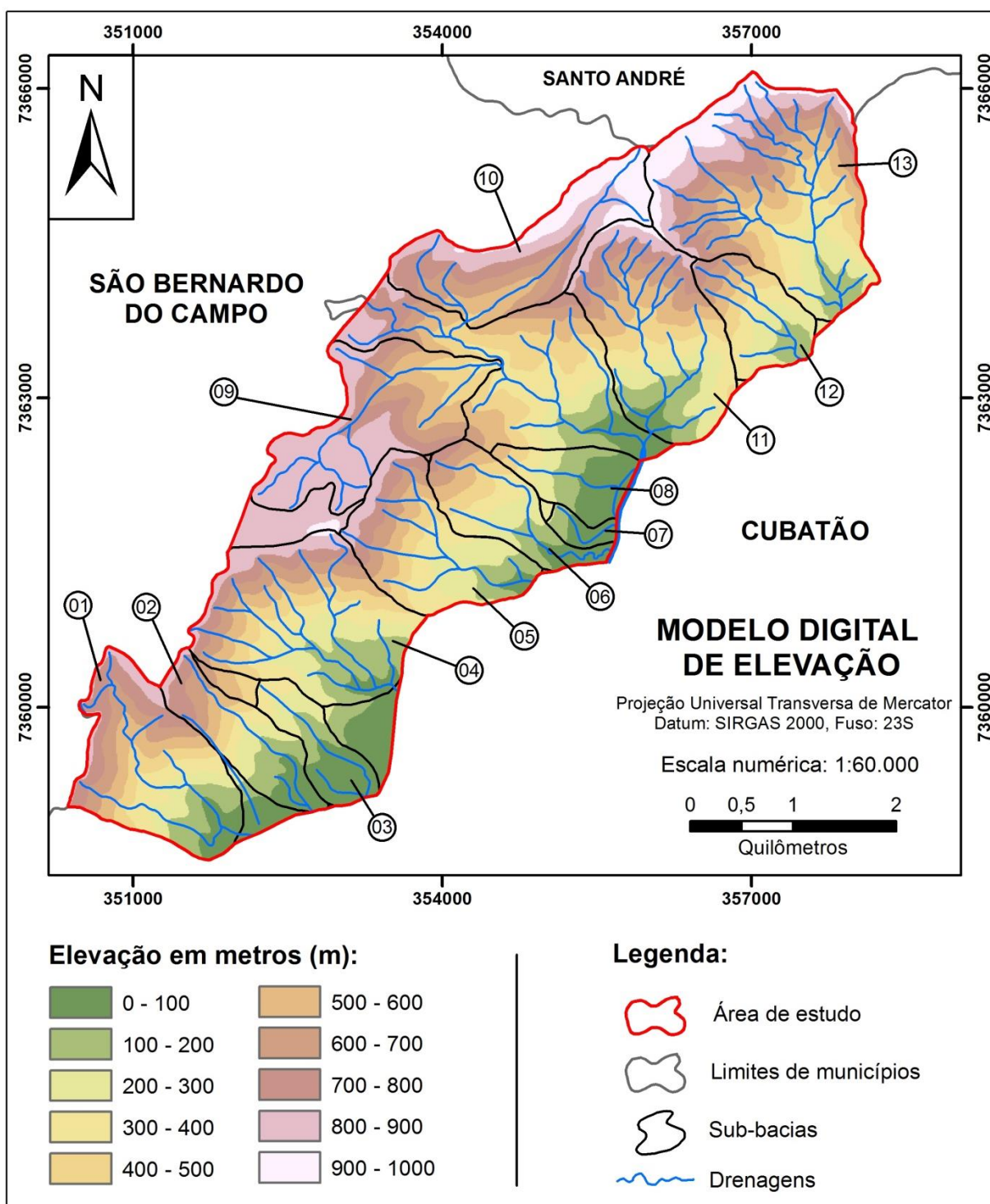
Em termos de hierarquia em relação a área das feições, tem-se a seguinte classificação: 04, 05, 09, 10, 06, 03, 11, 01, 13, 08, 02, 07 e 12.

6.2. Análise do relevo

A figura 22 ilustra o modelo digital de elevação (MDE) do terreno e traz uma visão geral da topografia que a área de estudo possui. Para facilitar a compreensão, o mapa foi dividido em 10 faixas e cada faixa corresponde a 100 m de desnível de uma para outra.

Neste mapa, juntamente com os dados de amplitude topográfica (Hm) e altitude máxima (a_{max}) (Tabela 10), pode-se observar que o relevo na região é bastante expressivo, podendo chegar a aproximadamente 1000 metros. Na figura 23 têm-se a representação gráfica dos valores de Hm e a_{max} .

Figura 22 - Modelo Digital de Elevação (MDE) do terreno das sub-bacias estudadas.



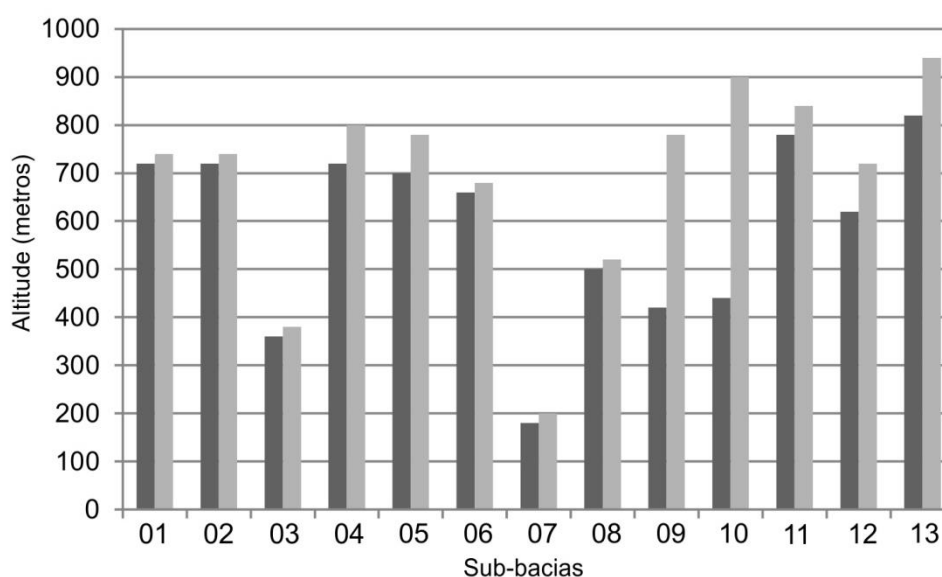
Fonte: Elaborado pela autora.

A sub-bacia com a maior amplitude topográfica e que possui a maior altitude máxima é a de número 13, e ela compõe na presente análise uma das sub-bacias com maior potencialidade para geração de corridas de detritos (no parâmetro de Hm), uma vez que a energia potencial acumulada nesta bacia (juntamente com as

de números 11, 04, 02, 01, 05, 06 e 12) pode ser maior e com isso mobilizar os materiais com mais facilidade.

De acordo com os dados interpretados até este momento, nota-se que não necessariamente as sub-bacias com maiores amplitudes topográficas (Hm) foram as mais atingidas por escorregamentos e corridas de detritos (comparando-se com os valores das áreas ocupadas pelas feições em cada sub-bacia). A sub-bacia 13, que é a que possui a maior Hm ocupa a posição 9 em termos de hierarquização das áreas das feições (valor normalizado), assim como a sub-bacia 12 – que também está dentre as que possuem maiores Hm – trata-se da que possui menos feições, proporcionalmente. Já a sub-bacia número 04 é a 3ª com maior Hm e a mais afetada pelos eventos de 1994 (esta trata-se da sub-bacia que engloba a RPBC).

Figura 23 - Representação gráfica de Hm (mais escuro) e a_{max} (mais claro).

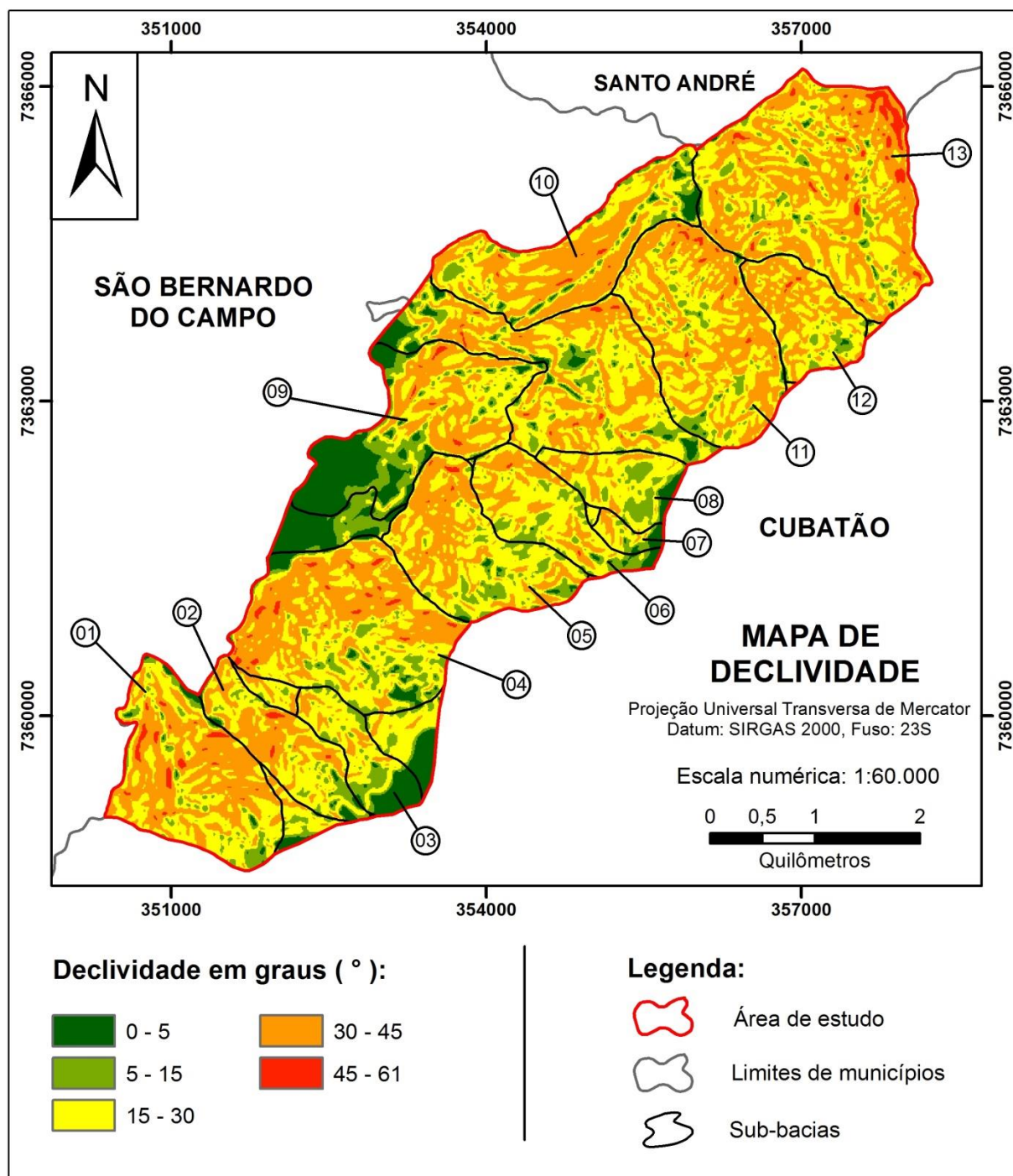


6.3. Análise da declividade

A figura 24 ilustra o mapa de declividade em graus da área estudada, onde são observados 5 intervalos distintos de classificação, que foram definidos por De Biasi (1970) e Lepsch (1983), são eles: 0 – 5°, 5° – 15°, 15° – 30°, 30° – 45° e 45° – máximo.

De acordo com essas classes de declividades, pôde-se mensurar as porcentagens que cada uma delas ocupam na área de estudo, conforme a tabela 3. Além disso, também foi possível analisar a porcentagem de cada classe em cada uma das sub-bacias em particular (Tabela 4).

Figura 24 - Mapa de Declividade das sub-bacias analisadas.



Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 3 - Porcentagem que cada classe de declividade ocupa na área de estudo.

Classes de declividade		%
1	0 – 5°	7,40
2	5 – 15°	12,07
3	15 – 30°	40,19
4	30 – 45°	39,00
5	45° – máx	1,35
% total acima de 30°		40,35

Wolle (1988) classifica as altas declividades das encostas como sendo aquelas que possuem valores acima de 35°; entretanto, bibliografias mais atuais colocam as declividades críticas no valor de 30° (GRAMANI, 2001). Cruz (1990) também observou escorregamentos em encostas com declividade a partir de 22°. No caso das corridas de detritos, a mobilização do material pode acontecer nos canais de drenagens com declividades a partir de 15° e que possuam acúmulos de sedimentos ao longo da drenagem (TAKAHASHI, 1981).

Tabela 4 - Porcentagem que cada classe de declividade ocupa em cada uma das sub-bacias analisadas.

Sub-bacia	% por classes de declividade					% acima de 30°
	1	2	3	4	5	
	0 – 5°	5 – 15°	15 – 30°	30 – 45°	45° - max	
01	2,44	8,59	37,25	48,90	2,82	51,72
02	4,09	10,60	44,34	39,52	1,45	40,97
03	21,96	19,96	44,43	13,65	0,00	13,65
04	4,03	10,76	36,59	46,52	2,09	48,61
05	1,55	13,61	45,25	39,00	0,60	39,60
06	3,50	16,75	50,06	29,40	0,29	29,69
07	20,41	17,93	43,31	18,35	0,00	18,35
08	6,92	23,09	50,46	19,49	0,03	19,52
09	29,43	16,51	27,08	26,24	0,74	26,98
10	5,50	12,85	34,36	46,67	0,62	47,29
11	0,85	7,66	43,36	47,21	0,92	48,13
12	0,85	8,33	45,49	44,81	0,52	45,33
13	0,96	6,59	39,94	49,00	3,51	52,51

De acordo com as tabelas 3 e 4, observa-se que grande parte da área pesquisada (tanto em termos gerais como em nível de sub-bacias) se concentra nas declividades entre 15 – 30° e acima de 30°, podendo-se, assim, considerar que a declividade em quase todas as sub-bacias analisadas varia de média a alta. Nas sub-bacias de números 03, 07, 08 e 09, as declividades se concentram nas classes baixa e média (são os valores destacados em negrito na tabela 4).

Nota-se, ainda, que a sub-bacia onde mais se encontram feições é na de número 04, e nesta observa-se que 48,61% de sua área está distribuída nas classes de declividades acima de 30°. Ainda, de acordo com o que foi mencionado anteriormente, a deflagração de corridas de detritos pode ocorrer em canais de drenagem que possuem declividades acima de 15°; por isso, pode-se justificar a ocorrência de eventos nas sub-bacias que possuem grande parte de suas áreas no intervalo de declividade de 15 – 30°; como, por exemplo, nas sub-bacias 03 e 09, sendo que nesta última há uma frequência bastante expressiva de feições relativas ao evento de fevereiro 1994, que coloca a mesma na posição 3 se for considerado a área de feições na sub-bacia.

6.4. Análise da pluviosidade

Neste item será apresentada a análise do índice pluviométrico acumulado da área de estudo. A pluviometria é uma das formas de agravar as ocorrências de eventos do tipo corridas de detritos e pode estar fortemente relacionada com o desastre de fevereiro de 1994.

No entorno da área selecionada para estudo, encontram-se 5 pluviômetros (Tabela 5) que captaram os índices pluviométricos acumulados dos dias 06 e 07 de fevereiro de 1994, dias estes que ocorreu o evento de corrida de detritos em Cubatão (SP). De acordo com os dados obtidos pelo DAEE - SP, dos dias 01 a 07 de fevereiro deste ano, o acumulado de chuvas foi de 379,92 mm, sendo que a maior parte foi registrada entre os dias 05 e 06, somando 337 mm.

Na tabela 6 tem-se apresentados os dados relativos à pluviosidade acumulada nos meses de verão (dezembro a março) nos mesmos pluviômetros mencionados na tabela 5. Afim de se comparar com os dados dos dias 06 e 07, considerou-se apenas os valores destes meses por se tratarem dos meses com os mais altos

índices de chuvas na região. Já na tabela 7, têm a média histórica (de 1936 até 2000), referentes aos mesmos meses de verão (dezembro a março), e nota-se que no verão de 1994 houve um registro bem superior de precipitação acumulada em relação ao valor histórico para o mesmo período.

Tabela 5 - Coordenadas da localização dos pluviômetros analisados.

Pluviômetro	Coordenadas	
	X	Y
E3-038	358026	7358605
E3-101	355769	7357967
E3-109	346113	7361559
E3-143	347850	7357886
E3-149	362434	7370953

Fonte: DAEE-SP.

Tabela 6 - Registro acumulado das chuvas relativas aos meses de verão (dezembro de 1993 a março de 1994).

Pluviômetro	Valor acumulado (mm)
E3-038	368,80
E3-101	597,75
E3-109	607,68
E3-143	551,60
E3-149	370,18

Fonte: DAEE-SP.

Tabela 7 - Médias históricas das chuvas relativas aos meses de verão (dezembro a março) com dados de 1936 até 2000.

Pluviômetro	Média histórica (mm)
E3-038	325,62
E3-101	317,16
E3-109	401,42
E3-143	381,93
E3-149	323,13

Fonte: DAEE-SP.

Santos (2004) menciona que quando existem níveis elevados de precipitação contínua durante 3 ou 4 dias, a probabilidade de ocorrências de movimentos de massa é maior, pois ocasiona na saturação do solo a níveis críticos. O evento de 1994 em Cubatão (SP) aconteceu as 21 horas do dia 06 de fevereiro e registrou um acúmulo de 140 mm num período de 03 horas (KANJI et al., 2008). No dia 07, segundo Massad et al. (2000), houveram registros de 70 mm por hora no período da manhã.

Na figura 25 tem-se o mapa pluviométrico com os dados acumulados obtidos dos dias 06 e 07 de fevereiro de 1994, com base nos 05 pluviômetros que listados na tabela 5 e nos registros de precipitações acumuladas da tabela 8. É importante frisar que nenhum dos pluviômetros encontra-se exatamente dentro da área de estudo, sendo impossível obter um valor exato de precipitação, então utilizou-se estes valores aproximados e projetados para os arredores da área. Posto isto, nota-se que a distribuição das chuvas vai aumentando no sentido NE-SW e que a sub-bacia 04 (a mais atingida pelo evento) se localiza na faixa entre 173,0 e 184,4 mm de precipitação.

As sub-bacias 01, 02 e 03, que também se localizam nas faixas de maior precipitação, não fazem parte das sub-bacias com maiores incidências de feições; sendo que, as de número 01 e 02 estão inclusas nas que possuem baixa potencialidade para geração de corridas de detritos, segundo os valores normalizados da área das feições. Entretanto, existem evidências de corridas de detritos nestas sub-bacias, podendo concluir que outros fatores possam ter influenciado na ocorrência dos processos nas mesmas. Ademais, a sub-bacia de número 09 encontra-se em uma faixa de precipitação mais baixa, entretanto esta possui uma alta frequência de feições mapeadas, evidenciando a influência de outros fatores, também.

Tabela 8 - Dados da precipitação dos dias 06 e 07 de fevereiro de 1994 e a média pluviométrica para os 2 dias.

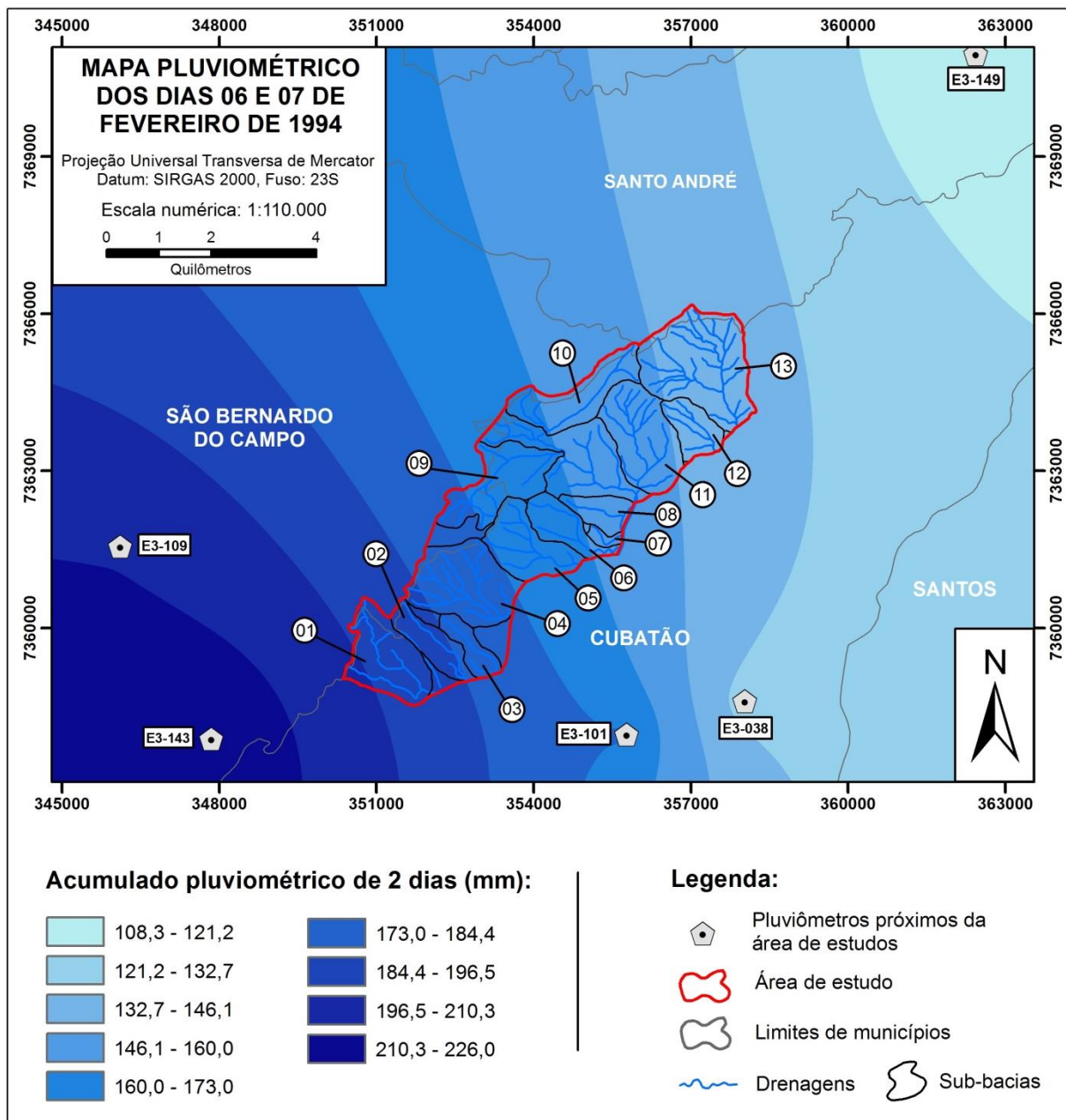
Pluviômetro	Dia 06/02/1994 (mm)	Dia 07/02/1994 (mm)	Média (mm)
E3-038	0,00*	249,00	124,50
E3-101	150,00	200,00	175,00
E3-109	75,90	342,00	208,95
E3-143	127,00	325,10	226,05
E3-149	41,00	175,50	108,25

Fonte: DAEE-SP. * Não houve registro de dados neste pluviômetro para o dia 06.

Na figura 26 elaborou-se um mapa integrado que consiste na junção das feições de escorregamentos e corridas de detritos mapeadas do evento de 1994, com o mapa pluviométrico exibido anteriormente. Neste pode ser observado exatamente o posicionamento de cada sub-bacia com suas respectivas feições de acordo com a distribuição das chuvas na região. Nota-se que a sub-bacia 04, que foi a que apresentou maior cálculo de área em relação à feições, faz parte do trecho com precipitações relativamente altas.

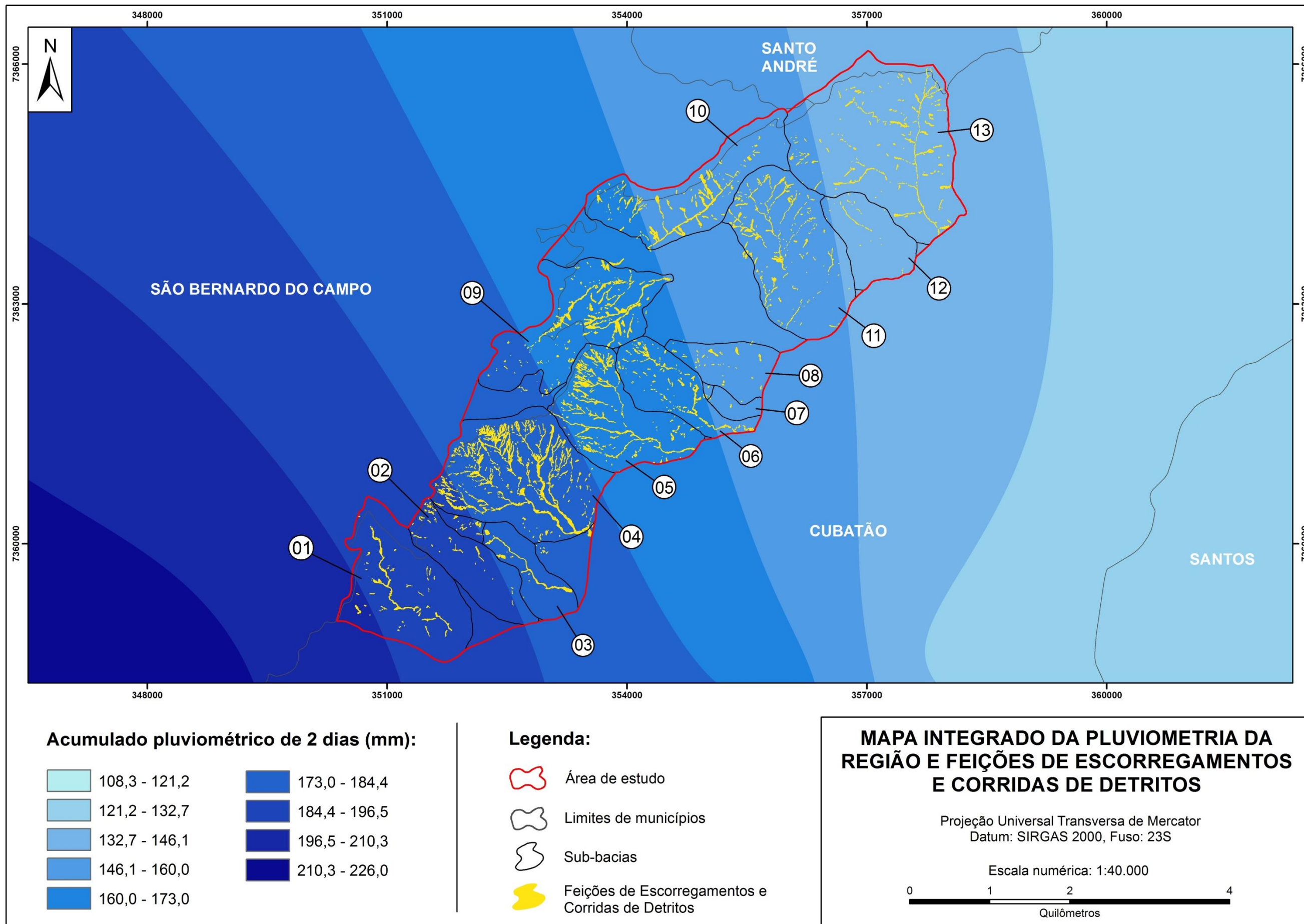
Já as sub-bacias 05 e 09, que estão posicionadas em 3 e 4 na hierarquia das frequências de feições mapeadas, encontram-se posicionadas na faixa de média precipitação. Podendo-se concluir, então, que outros fatores estão atuando de forma mais direta nestas sub-bacias, como por exemplo os parâmetros e índices morfométricos, que serão discutidos na sequência.

Figura 25 - Mapa pluviométrico elaborado a partir dos dados acumulados de chuvas obtidos para os dias 06 e 07 de fevereiro de 1994.



Fonte: DAEE - SP, elaborado pela autora.

Figura 26 - Mapa integrado dos índices pluviométricos juntamente com o mapeamento das feições em cada sub-bacia analisada.



Fonte: DAEE - SP, elaborado pela autora.

6.5. Análise dos parâmetros morfométricos

Para que fosse possível a realização dos cálculos dos índices morfométricos, necessitou-se inicialmente a realização dos cálculos dos parâmetros morfométricos (Tabela 10). Salienta-se que alguns parâmetros foram analisados de acordo com as classes de potencialidades definidas anteriormente no procedimento metodológico e que a cor representada em verde é baixo potencial, em amarelo é médio potencial e vermelho é alto potencial

A **área** (A) das sub-bacias é um parâmetro bastante importante. Para Mizuyama (1982), as sub-bacias mais propensas a desenvolverem eventos de corridas de detritos, são as que possuem áreas de até 10 km². Analisando-se desta forma, têm-se que todas as bacias estudadas estão propensas a desenvolver eventos de corridas, pois possuem valores em quilômetros quadrados (km²) que compreendem de 0,17 a 3,49. Entretanto, dentre os valores obtidos, analisou-se as potencialidades de acordo com as três classes que foram estabelecidas anteriormente; ou seja, as sub-bacias foram classificadas na pesquisa como pequenas, médias e grandes; podendo-se também avaliar as mesmas como baixo, médio e alto potenciais. Posto isto, tem-se que as sub-bacias 07, 03, 08, 12, 02 e 06 são as menores, com valores de 0,17 < 0,63 < 0,67 < 0,86 < 0,96 < 0,99; respectivamente; e estas são as que apresentam menores potenciais para geração de corridas de detritos. Na sequência tem-se que as sub-bacias 05, 10, 09, 01 e 11 são as médias, possuindo valores de 1,61 < 1,75 < 1,97 < 1,98 < 2,27, respectivamente e possuem potencial médio para eventos de corridas. E por fim as maiores são as de números 04 e 13, com áreas de 2,54 < 3,49; respectivamente; que são classificadas com altas potencialidades para geração de corridas de detritos.

Tabela 9 - Valores de referência para a área (A) com base nas classes de potencialidades para geração de corridas de detritos adotadas.

Valores	> 2,27		0,99 a 2,27					< 0,99					
Sub-bacias	13	04	11	01	09	10	05	06	02	12	08	03	07

" > " = maior e " < " = menor.

Tabela 10 - Valores dos parâmetros morfométricos que foram obtidos em cada sub-bacia analisada na pesquisa.

Sub-bacia	A (km ²)	P (km)	Ac (km ²)	Lh (km)	H = Hm (m)	a _{max} (m)	Lt (km)	Lp (km)	dv (km)	tg β (°)	N
01	1,98	6,20	3,06	2,21	720	740	5,51	2,60	2,16	13,90	6
02	0,96	4,89	1,90	2,02	720	740	2,55	2,07	1,96	20,25	3
03	0,63	3,54	1,18	1,58	360	380	2,20	1,61	1,48	15,44	2
04	2,54	6,52	3,39	2,03	720	800	9,99	2,13	2,06	19,00	16
05	1,61	5,66	2,55	1,94	700	780	5,28	2,10	1,78	21,80	7
06	0,99	5,01	2,00	1,86	660	680	3,53	2,58	1,91	16,30	4
07	0,17	1,93	0,30	0,67	180	200	1,05	0,97	0,60	12,50	1
08	0,67	3,67	1,08	1,35	500	520	1,86	1,50	1,19	21,40	3
09	1,97	7,95	5,03	2,76	420	780	6,43	2,83	2,67	12,90	10
10	1,75	7,29	4,23	2,43	440	900	4,71	2,44	2,38	10,50	6
11	2,27	6,08	2,94	2,25	780	840	8,89	2,39	1,99	18,00	15
12	0,86	3,92	1,22	1,43	620	720	3,54	1,49	1,39	24,40	5
13	3,49	7,72	4,74	2,49	820	940	14,55	2,69	2,40	16,50	23

A = Área; P = Perímetro; Ac = Área do círculo correspondente ao perímetro; Lh = Comprimento da bacia; H = Hm = Amplitude topográfica; a_{max} = Altitude máxima; Lt = Comprimento das drenagens; Lp = Comprimento da drenagem principal; dv = Comprimento da drenagem principal vetorial; tg β = inclinação média da drenagem principal; N = número de drenagens (contabilizados de acordo com o número de segmentos).

Para Jackson (1987) a área da bacia está relacionada com a largura média e a declividade média da mesma, ou seja, bacias maiores tendem a ser mais largas e possuem menores declividades em seus canais, ao passo que isso se inverte nas bacias menores. Sendo assim, poderia se dizer que as bacias menores deveriam ser mais suscetíveis para geração de processos de corridas de detritos; no entanto, isso não pode ser observado nos dados obtidos nesta pesquisa (comparando-se com a porcentagem de feições presentes em cada sub-bacia – Tabela 2, coluna 4).

A **amplitude topográfica** ($H = H_m$) também é parâmetro morfométrico bastante importante, pois está diretamente associado ao potencial que a sub-bacia possui em fornecer energia para que as águas das chuvas e outros materiais possam se mobilizar, fazendo com que estes adquiriram velocidades de deslocamento maiores. Posto isto, pode-se dizer que quanto maior é a H_m , maior é o potencial energético da sub-bacia (IPT, 2002). Este dado se torna muito importante quando associado a declividades altas e densidades de drenagens altas.

Alguns autores analisaram as amplitudes das bacias e associaram com a ocorrência de corridas de detritos no Brasil e ao redor do mundo. Nery (2016) obteve em seus resultados a variação entre 900 e 1070 metros em Caraguatatuba (SP). Chen e Yu (2011) obtiveram o intervalo entre 882 e 1761 metros em Taiwan. Já na Itália, Melelli e Tamarelli (2004) notaram valores menores, indo de 310 a 731 metros.

Posto isto, os dados obtidos nesta pesquisa compreendem valores de H_m que variam de 180 até 820 metros, e estes foram classificados pela autora como baixo, médio e alto potenciais para geração de corridas de detritos, conforme definido anteriormente. As sub-bacias 07 e 03 são as que possuem os menores H_m , e seus valores são 180 e 360 metros; estas são as de menor potencial energético e consequentemente de baixo potencial para deflagrar corridas. As consideradas médias são as de números 09, 10 e 08, com amplitudes de $420 < 440 < 500$ metros; respectivamente e possuem potencial médio. Por fim, as sub-bacias 12, 06, 05, 01, 02, 04, 11 e 13 são as de maiores amplitudes, com números de $620 < 660 < 700 < 720 < 720 < 720 < 780 < 820$ metros; respectivamente e foram consideradas de alto potencial para gerar corridas (Tabela 11).

Tabela 11 - Valores de referência para a amplitude topográfica (Hm) com base nas classes de potencialidades para geração de corridas de detritos adotadas.

Valores	> 610							390 a 610			< 390		
Sub-bacias	13	11	04	02	01	05	06	12	08	10	09	03	07

“ > “ = maior e “ < “ = menor.

A soma dos **comprimentos das drenagens** (Lt) de uma bacia, segundo o IPT (2002), pode influenciar na quantidade de material que será mobilizado em caso de ocorrência de corridas de detritos, porque quanto mais drenagens uma bacia possui, mais sedimentos são depositados ao longo das mesmas. Os dados captados das sub-bacias analisadas mostram que as redes de drenagens variam de 0,97 a 2,83 quilômetros. A classificação, da maior para a menor Lt, das sub-bacias para este parâmetro é a seguinte: 09, 13, 01, 06, 10, 11, 04, 05, 02, 03, 08, 12 e 07 (os valores podem ser consultados na tabela 10).

A **inclinação média da drenagem principal** ($\text{tg } \beta$) é um valor importante, pois segundo Augusto Filho (1993), se relaciona com a mobilidade do material que se encontra depositado ao longo do leito do canal e conseqüentemente com a capacidade de erosão; e isto faz com que o fluxo e a energia na drenagem sejam maiores. Ainda, de acordo com Takahashi (1981), a partir de 15° de inclinação, já é possível que haja deflagração de corridas de detritos nos canais de drenagens.

Posto isto, observa-se que a área de estudo apresenta inclinações médias nas drenagens principais que variam de 10,50° a 24,40°. Sendo assim, tem-se que as sub-bacias que apresentam menores potencialidades são as de números 10, 07, 09 e 01; com inclinações médias de 10,50°; 12,50°; 12,90° e 13,90°. As que apresentam potencialidades médias são as sub-bacias 03, 06, 13, 11 e 04, com valores de 15,44°; 16,30°; 16,50°; 18,00° e 19,00°. As sub-bacias com maiores potenciais de geração de corridas de detritos são as de números 02, 08, 05 e 12, com inclinações de 20,25°; 21,40°; 21,80° e 24,40°.

6.6. Análise dos índices morfométricos

Neste item será abordada a análise referente aos cálculos dos índices morfométricos, e os resultados dos cálculos pode ser consultado na tabela 12. Salienta-se que para cada índice calculado é apresentado uma tabela com os valores de referência, sendo que a cor representada em verde é baixo potencial, em amarelo é médio potencial e vermelho é alto potencial.

Em relação à **densidade de drenagem** (Dd), Yildiz (2004) menciona que os valores mais altos são referentes às bacias que possuem uma resposta hidrológica mais rápida, principalmente quando associadas aos valores de precipitação. Nesta pesquisa, os valores obtidos para este parâmetro se encontram entre 2,65 e 6,35. Por se tratar de resposta hidrológica, conclui-se que uma sub-bacia com a Dd elevada, tem maior potencialidade de desenvolver um evento de corrida de detritos, uma vez que a energia para dissipar o acúmulo de água e sedimentos nas drenagens será maior.

Posto isto, de acordo com as classes adotadas, as sub-bacias numeradas de 02, 10, 01, 08, 09, 05, 03 e 06 possuem a Dd baixa, com valores de: $2,65 < 2,70 < 2,79 < 2,79 < 3,26 < 3,28 < 3,50 < 3,58$ – o que indica que estas são as de menor potencial para o desenvolvimento de corridas de detritos. Já as sub-bacias 11, 04, 12 e 13 podem ser classificadas com a Dd média e possuem $3,92 < 3,93 < 4,10 < 4,17$ como resultados dos cálculos e possuem potencialidade média. Por fim, a sub-bacia 07 foi a única que se enquadrou na faixa de maior potencial para este parâmetro, apresentando o valor de Dd como sendo 6,35 (Tabela 13).

Entretanto, observou-se que a sub-bacia 07 apresentou o valor da Dd um pouco discrepante em relação às outras, visto as características que a mesma apresenta. Nela notam-se pouquíssimos registros de feições (tanto que a mesma aparece posicionada em penúltimo (12) na classificação hierárquica das áreas das feições em relação à área das sub-bacias). Este valor discrepante para a sub-bacia 07 pode-se justificar pelo fato dela ser uma bacia muito pequena, isso fez com que os comprimentos das drenagens ficassem destacados em relação à área (uma vez que esse parâmetro relaciona o comprimento total das drenagens com a área da bacia).

Tabela 12 - Índices morfométricos calculados para as 13 sub-bacias analisadas.

Sub-bacia	Dd (km/km ²)	Ic (km ² /km ²)	Rr (m/km)	Ir	SPI	Gc (m/km)	Is (km/m)	Fs
01	2,79	0,65	325,21	2005,48	27,52	284,82	1,20	3,03
02	2,65	0,51	357,08	1906,82	19,49	357,64	1,06	3,12
03	3,50	0,53	228,41	1258,73	9,70	236,05	1,09	3,18
04	3,93	0,75	354,85	2829,61	48,30	376,34	1,03	6,29
05	3,28	0,63	360,25	2294,54	35,15	371,57	1,18	4,34
06	3,58	0,49	354,50	2364,72	16,06	263,25	1,35	4,06
07	6,35	0,55	268,49	1142,94	2,06	205,35	1,63	6,05
08	2,79	0,62	371,31	1395,50	14,29	345,60	1,27	4,49
09	3,26	0,39	152,05	1369,29	25,42	275,29	1,06	5,07
10	2,70	0,41	180,96	1187,55	18,33	368,28	1,03	3,44
11	3,92	0,77	347,42	3059,03	40,78	350,82	1,21	6,62
12	4,10	0,71	434,30	2541,11	21,07	482,88	1,07	5,79
13	4,17	0,74	329,60	3418,74	57,60	349,59	1,12	6,59

Dd = densidade de drenagem; Ic = índice de circularidade; Rr = relação de relevo; Ir = índice de rugosidade; SPI = índice de força do canal; Gc = gradiente do canal; Is = índice de sinuosidade; Fs = frequência de drenagem.

Portanto, conclui-se que, para a análise da sub-bacia 07, a Dd não é um índice confiável, uma vez que gerou essa incerteza nos dados obtidos. Já para as outras sub-bacias analisadas, trata-se de um parâmetro bastante coerente e importante.

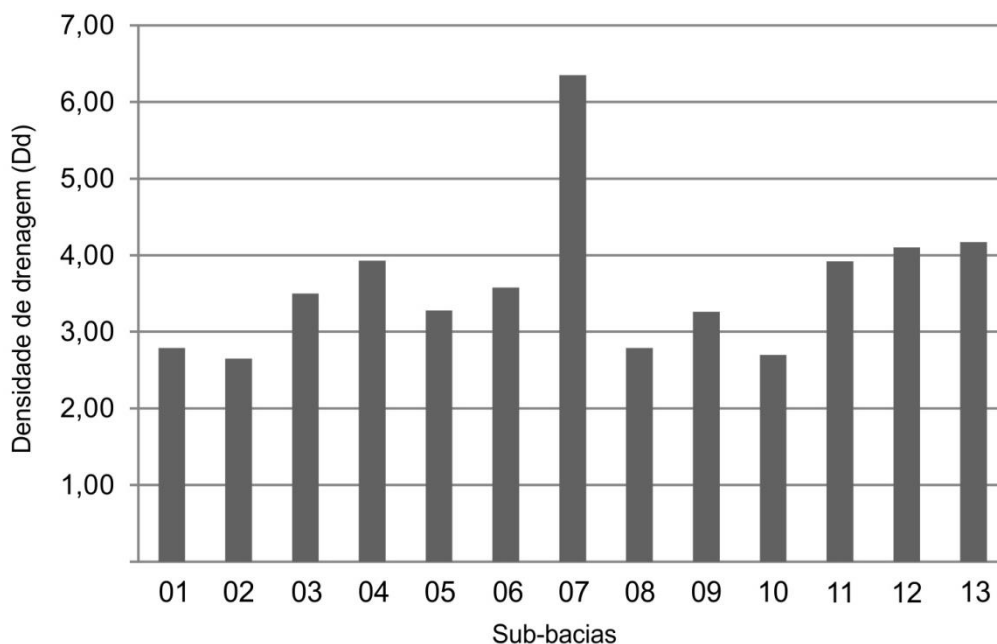
Hasegawa et al. (2013) associam a densidade de drenagem com a precipitação e mencionam que uma bacia com maior valor de Dd necessita de um menor índice de precipitação, ou seja, trata-se de valores inversamente proporcionais. Comparando-se com os índices acumulados de chuvas dos dias 06 e 07 de fevereiro de 1994, nota-se que nenhuma das sub-bacias com potencialidade alta (13, 12, 04 e 11) se encontram nas regiões de maior precipitação, salvo a sub-bacia 04, que está localizada mais próxima da região com mais altos índices. Sendo assim, uma bacia com alta resposta hidrológica, tem a tendência de escoar mais rapidamente a água da chuva fazendo com que aumente a possibilidade de geração de uma corrida de detritos com maiores magnitudes, mesmo não tendo os maiores índices pluviométricos; com isto posto, é possível justificar a magnitude do evento de 1994 na RPBC, uma vez que a sub-bacia correspondente (número 04) não apresenta o maior valor de Dd (este sendo 3,93), mas sim devido à proximidade da bacia com região de mais alto índice pluviométrico. A figura 27 representa os dados da densidade de drenagem de forma gráfica para as sub-bacias analisadas.

Tabela 13 - Valores de referência para a densidade de drenagem (Dd) com base nas classes de potencialidades para geração de corridas de detritos adotadas.

Valores	> 5,13	5,13 a 3,88				3,89 a 0,0							
Sub-bacias	07	13	12	04	11	06	03	05	09	08	01	10	02

“ > “ = maior.

Figura 27 - Representação gráfica dos valores da densidade de drenagem (Dd).



O próximo índice abordado é o **índice de circularidade** (Ic) que, segundo De Matauco (2004), se estão acima de 0,5 existe uma maior potencialidade de deflagração de corridas de detritos. Augusto Filho (1993) também menciona que as bacias com maiores potenciais são as que possuem o número próximo de 1,0. Os dados obtidos na pesquisa estão classificados entre 0,39 e 0,77, sendo que apenas três sub-bacias possuem valores abaixo de 0,5; sendo elas as de número 09, 10 e 06 com índices $0,39 < 0,41 < 0,49$. Portanto, todas as outras sub-bacias possuem, de acordo com o Ic, alto potencial para geração de corridas de detritos (11, 04, 13, 12, 01, 05, 08, 07, 03 e 02 – conforme tabela 14).

Christofolletti (1982) ainda cita que o Ic influencia na forma da bacia, sendo que quanto mais próxima de 1,0, mais circular ela é, e isso faz com que haja uma diferenciação no comportamento da água no momento do escoamento, dificultando este processo quando o valor ultrapassa 0,5. Nota-se que tanto a sub-bacia 04 como a 13 possuem formas mais circulares em relação as outras, e a sub-bacia 04 ainda se localiza nas proximidades dos índices pluviométricos mais elevados, ao passo que, as sub-bacias 11, 13 e 12 localizam-se em regiões de menores precipitações.

As sub-bacias 06, 10 e 09, por possuírem valores abaixo de 0,5 são consideradas bacias alongadas e, segundo os valores do Ic teriam baixas potencialidades de sofrerem corridas de detritos de grandes magnitudes, entretanto,

a normalização das áreas ocupadas pelas feições nestas sub-bacias, mostra que estas ocupariam as posições 5, 4 e 3 no quesito frequência de feições, colocando-as numa posição bastante elevada.

Tabela 14 - Valores de referência para o índice de circularidade (Ic) com base nas bibliografias que apontam o $Ic > 0,5$ como alta potencialidade.

Valores	> 0,5										< 0,5		
Sub-bacias	11	04	13	12	01	05	08	07	03	02	06	10	09

" > " = maior e " < " = menor.

Ao contrário disto, alguns trabalhos mostram a alta potencialidade para a ocorrência de corridas de detritos em bacias com Ic menores que 0,5 e pode-se citar Sterling e Slaymaker (2007) apud. Nery (2016) e Chen e Yu (2011) – onde os autores verificaram que houve deflagrações de eventos em bacias com Ic baixo devido a altas precipitações nos locais.

Por se tratar de um índice que foca no tempo de escoamento da água da bacia até o canal principal, quanto mais circular uma bacia se apresenta, maiores quantidades de fluxos irão se deslocar para esta drenagem e maior será o tempo necessário para que haja o total escoamento do material; isto faz com haja uma tendência maior para que se intensifique o entulhamento de água no exutório.

A autora, nesta pesquisa, para fins de comparação entre os índices e parâmetros morfométricos de acordo com as classes definidas (baixa, média e alta), adotou que os valores acima de 0,7 são os de maiores potenciais para geração de corridas de detritos na área analisada; sendo as seguintes sub-bacias, 11, 04, 13 e 12. Para os valores abaixo de 0,5 se manteve a classificação de baixo potencial e, por fim, valores entre 0,5 e 0,7 se encontram como médio potencial (Tabela 15).

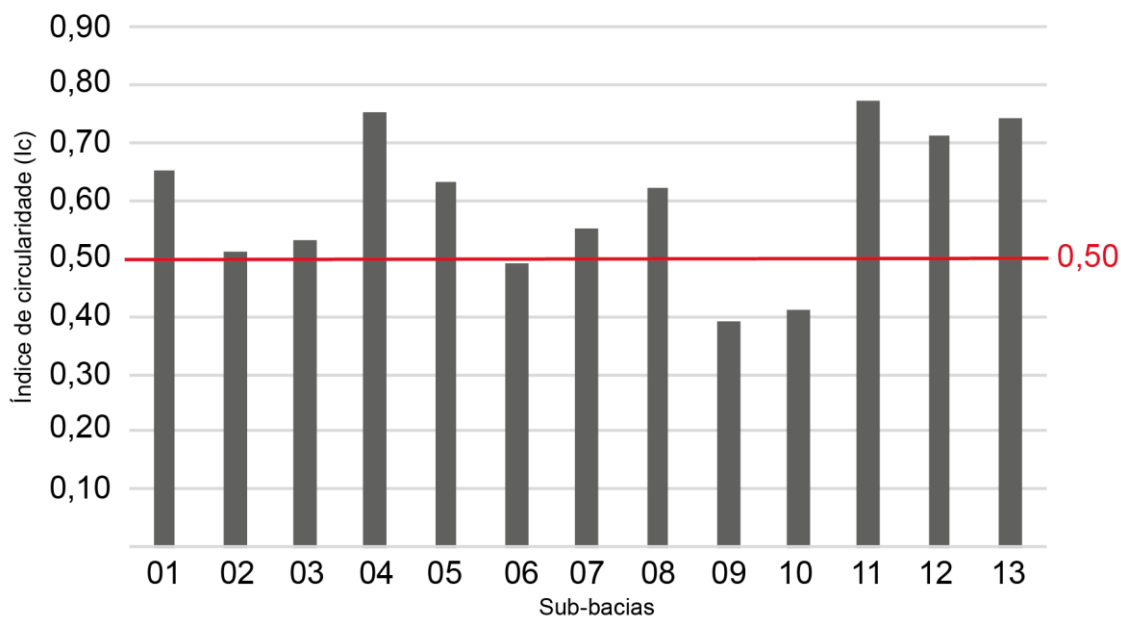
Tabela 15 - Valores de referência para o índice de circularidade (Ic) de acordo com as classes de potencialidades para geração de corridas de detritos adotadas pela autora.

Valores	> 0,7				0,7 a 0,5						< 0,5		
Sub-bacias	11	04	13	12	01	05	08	07	03	02	06	10	09

" > " = maior e " < " = menor.

Por fim, conclui-se que o I_c por si só não é capaz de determinar com exatidão, na área de estudo, a potencialidade que uma sub-bacia possui para gerar um evento de corrida de detritos. A figura 28 apresenta de forma gráfica os dados obtidos para o índice de circularidade (I_c) em cada sub-bacia.

Figura 28 - Representação gráfica dos valores dos índices de circularidade (I_c).



A linha vermelha representa o valor de 0,50 utilizado como referência para este parâmetro.

O índice nomeado de **relação de relevo** (R_r) é definido por Christofolletti (1982) como sendo a relação entre a amplitude máxima da bacia e a máxima extensão da mesma, sendo que essa extensão máxima deve ser medida paralelamente à linha de drenagem principal. Sendo assim, têm-se que quanto maior é o número, maior pode ser o potencial de transporte de sedimentos que ocorre nela, e por consequência, maior pode ser a distância alcançada pela corrida de detritos. Cerri (2018) define como sendo a capacidade que a sub-bacia possui para armazenar e transportar sedimentos. Os resultados, então, expressam que quanto maior o número, maior pode ser a potencialidade para gerar corridas de detritos.

Posto isto, de acordo com as três classes adotadas na pesquisa, tem-se que as sub-bacias de números 09, 10 e 03 são as que possuem potencialidades mais baixas para geração de corridas de detritos, e obteve-se os seguintes valores: $152,05 < 180,96 < 228,41$. Na classe com potencial médio, encontram-se as sub-bacias de número 07, 01 e 13; com valores de $268,49 < 325,21 < 329,60$. E as com

alto potencial para geração de corridas são as de números 11, 06, 04, 02, 05, 08 e 12, com resultados de $347,42 < 354,50 < 354,85 < 357,08 < 360,25 < 371,31 < 434,30$ (Tabela 16).

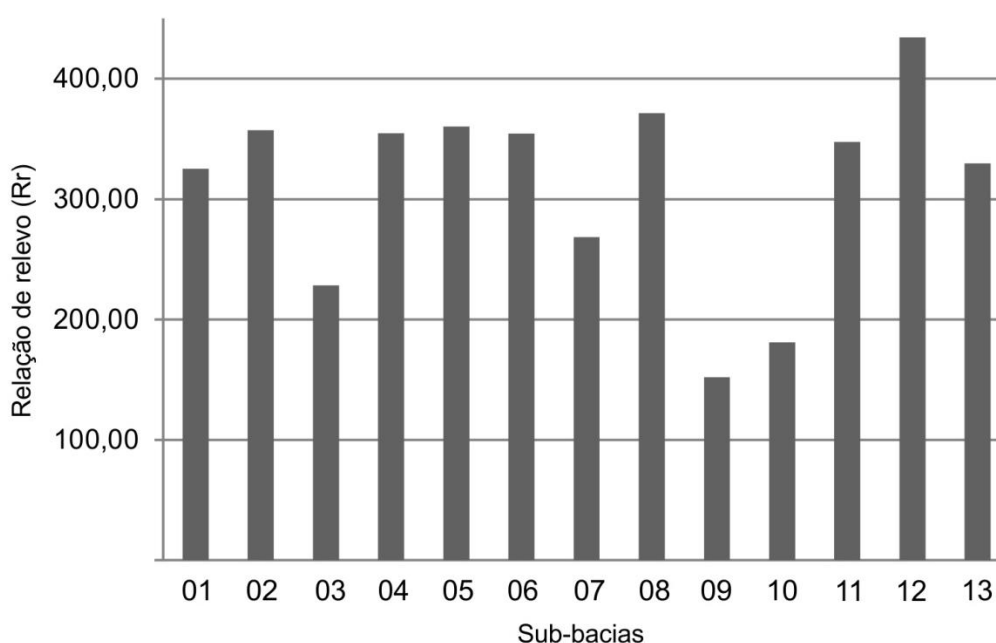
A figura 29 ilustra graficamente os valores obtidos. Nota-se que novamente a sub-bacia 04 está dentre as mais suscetíveis a processos de corridas de detritos, conforme o esperado, podendo esta mobilizar uma quantidade muito grande de material (sedimentos e outros). Ao oposto da sub-bacia 10, que é uma das que possui a maior frequência em área ocupada por feições (posição 4), e na análise deste parâmetro apresenta-se como uma das menos suscetíveis.

Tabela 16 - Valores de referência para a relação de relevo (Rr) de acordo com as classes de potencialidades para geração de corridas de detritos adotadas.

Valores	> 340,25							246,15 a 340,25			< 246,15		
Sub-bacias	12	08	05	02	04	06	11	13	01	07	03	10	09

“ > ” = maior e “ < ” = menor.

Figura 29 - Representação gráfica dos valores da relação de relevo (Rr).



O **índice de rugosidade** (Ir) é um dado que relaciona a amplitude altimétrica com a densidade de drenagem. De acordo com Chen e Yu (2011) e Jakob (1996) a disponibilidade de material que será transportada está diretamente relacionada com

este índice, uma vez que quanto maior for o valor, maior será o potencial erosivo que gerará este suprimento. Sendo assim, tem-se que as bacias com os maiores I_r , possuem maior potencialidade para desenvolver corridas de detritos.

Nas análises dos resultados encontrados na pesquisa, tem-se que o I_r varia de 1142,94 a 3418,74; assim, podem-se observar que as sub-bacias numeradas de 07, 10, 03, 09 e 08 são as que possuem os menores valores para I_r e conseqüentemente são menos potenciais para a geração de corridas de detritos; os valores das mesmas são: $1142,94 < 1187,55 < 1258,73 < 1369,29 < 1395,50$. Já as sub-bacias 02, 01, 05, 06 e 12, com resultados de $1906,82 < 2005,48 < 2294,54 < 2364,72 < 2541,11$; respectivamente, foram classificadas com média potencialidade. Por fim, as sub-bacias 04, 11 e 13 são as que apresentam maiores potencialidades para gerar um evento de corrida de detritos; e seus valores são: $2829,61 < 3059,03 < 3418,74$ (Tabela 17).

Por se tratar de um importante parâmetro na avaliação da deflagração de corridas de detritos, novamente pode-se notar que a sub-bacia 04 está dentre os casos com maiores suscetibilidades de ocorrência de eventos de grandes magnitudes, conforme acontecido em 1994. Nota-se, ainda, que assim como no parâmetro anterior, a sub-bacia 10 apresenta-se com baixo potencial para deflagração deste tipo de evento.

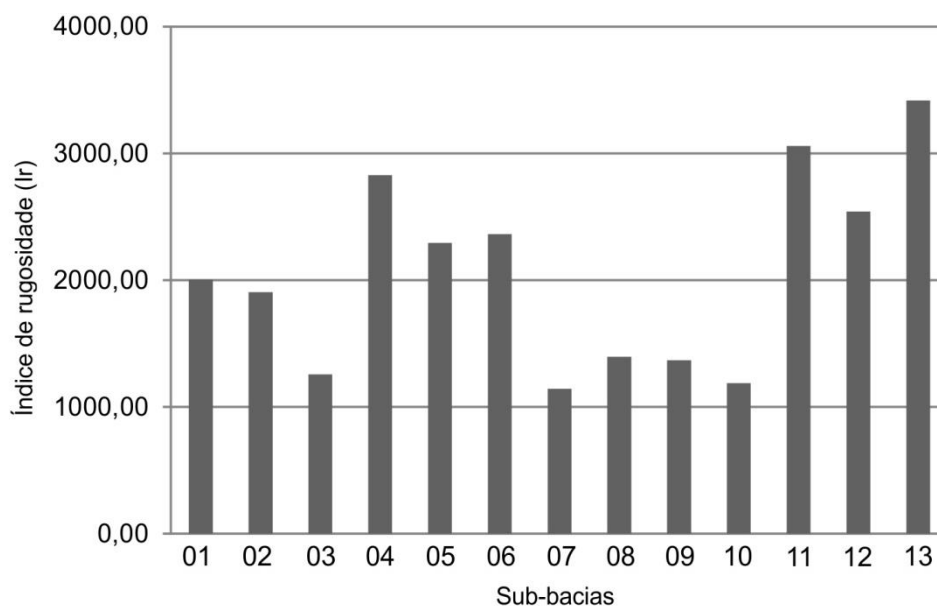
A figura 30 apresenta os valores obtidos para o índice de rugosidade (I_r) representados de forma gráfica.

Tabela 17 - Valores de referência para o índice de rugosidade (I_r) de acordo com as classes de potencialidades para geração de corridas de detritos adotadas.

Valores	> 2660,14			1901, 54 a 2660,14					< 1901,54				
Sub-bacias	13	11	04	12	06	05	01	02	08	09	03	10	07

" > " = maior e " < " = menor.

Figura 30 - Representação gráfica dos valores do índice de rugosidade (Ir).



O **índice de força do canal (SPI)** é um resultado bastante importante, pois trata-se de uma forma de mensurar os fatores erosivos de uma bacia. Neste item são considerados a área da bacia e o ângulo da declividade da encosta. Por se tratar de corridas de detritos e estas ocorrerem diretamente nas drenagens, o ângulo utilizado foi o ângulo de inclinação média do canal principal de cada sub-bacia. Com isso, tem-se como resultado que as bacias com maiores valores, possuem um potencial de erosão mais alto.

Posto isso, os resultados obtidos através dos cálculos mostram uma variação entre 2,06 e 57,60. Sendo assim, tem-se que as sub-bacias numeradas de 07, 03, 08, 06, 10 e 02 são as que possuem menores potencialidades para geração de corridas de detritos e os valores obtidos para as mesmas são: $2,06 < 9,70 < 14,29 < 16,06 < 18,33 < 19,49$. Já as sub-bacias consideradas com médias potencialidades para este índice são as de números 12, 09, 01 e 05; com valores de $21,07 < 25,42 < 27,52 < 35,15$. Por fim, as sub-bacias com maiores potencialidades são as de número 11, 04 e 13, com valores de $40,78 < 48,30 < 57,60$ (Tabela 18).

Tabela 18 - Valores de referência obtidos para o índice de força do canal (SPI) de acordo com as classes de potencialidades para geração de corridas de detritos adotas.

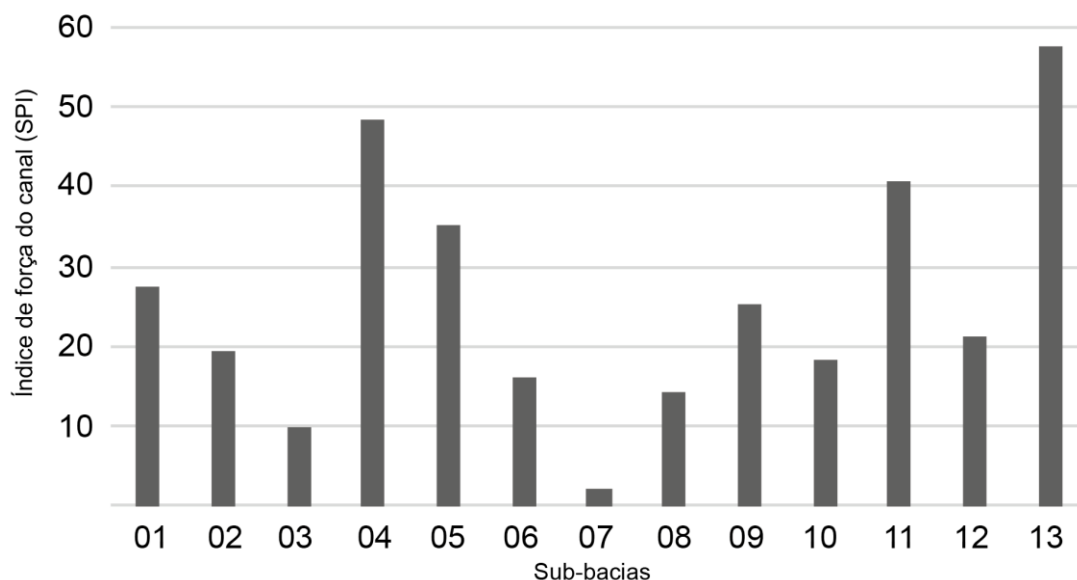
Valores	> 39,10			20,57 a 39,10				< 20,57					
Sub-bacias	13	04	11	05	01	09	12	02	10	06	08	03	07

“ > “ = maior e “ < ” = menor.

A sub-bacia 04 mostrou um resultado bastante coerente, uma vez que ela vem se comportando como a mais suscetível até o presente momento. Já a sub-bacia 13 apresenta o maior valor, se tornando a mais favorável em relação ao potencial de gerar corridas de detritos para este parâmetro, entretanto na hierarquia das áreas das feições esta ocupa apenas a posição 9; então conclui-se que este fator não exerceu muita importância nesta bacia no evento de 1994.

A figura 31 mostra os valores obtidos para o índice de força do canal representados graficamente.

Figura 31 - Representação gráfica dos valores do índice de força do canal (SPI).



O índice analisado aqui trata-se do **gradiente do canal** (G_c), o qual se relaciona a altitude máxima da bacia com o comprimento do canal principal. Este dado pode mostrar as bacias que possuem maior probabilidade de servir como áreas fontes para as corridas de detritos, assim como as bacias que podem

apresentar mais rupturas nos perfis longitudinais das drenagens principais em questão.

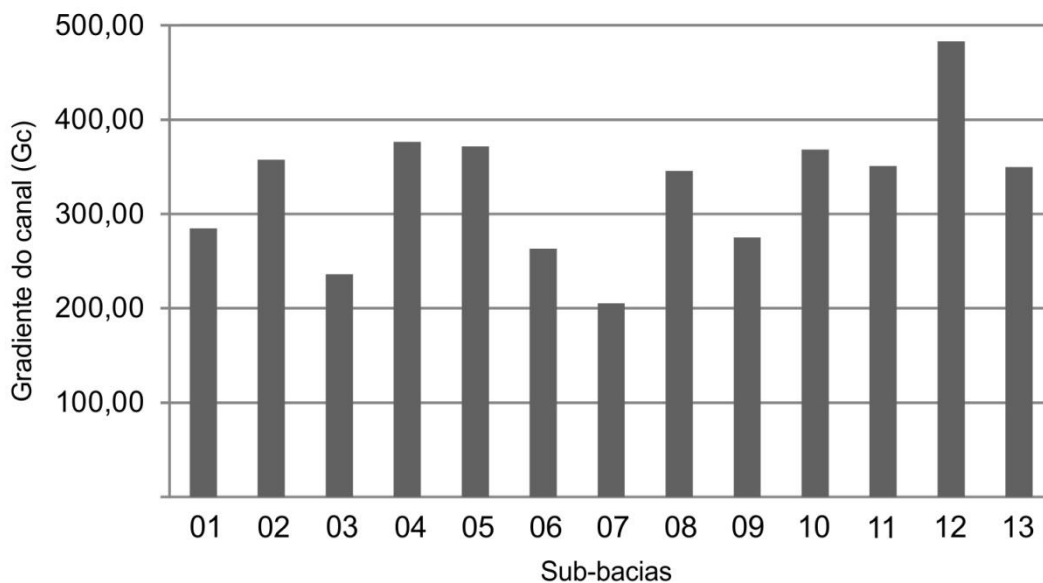
Sendo assim, de acordo com os resultados obtidos nesta análise, têm-se que a variação dos valores vai de 205,35 até 482,88. Posto isto, as sub-bacias que apresentam menor potencialidade para geração de corridas de detritos são as de números 07, 03, 06, 09 e 01, com resultados de $205,35 < 236,05 < 263,25 < 275,29 < 284,82$. Já as sub-bacias com médios potenciais são as numeradas de 08, 13, 11, 02, 10, 05 e 04, com valores de $345,60 < 349,59 < 350,82 < 357,64 < 368,28 < 371,57 < 376,34$. Por fim, tem-se que a única sub-bacia apontada com alto potencial para geração de corridas de detritos de acordo com este parâmetro é a de número 12, apresentando o resultado de 482,88 (Tabela 19).

Tabela 19 - Valores de referências obtidos para o gradiente do canal (G_c) de acordo com as classes de potencialidades para geração de corridas de detritos adotadas.

Valores	> 390,37	297,86 a 390,37							< 297,86				
Sub-bacias	12	04	05	10	02	11	13	08	01	09	06	03	07

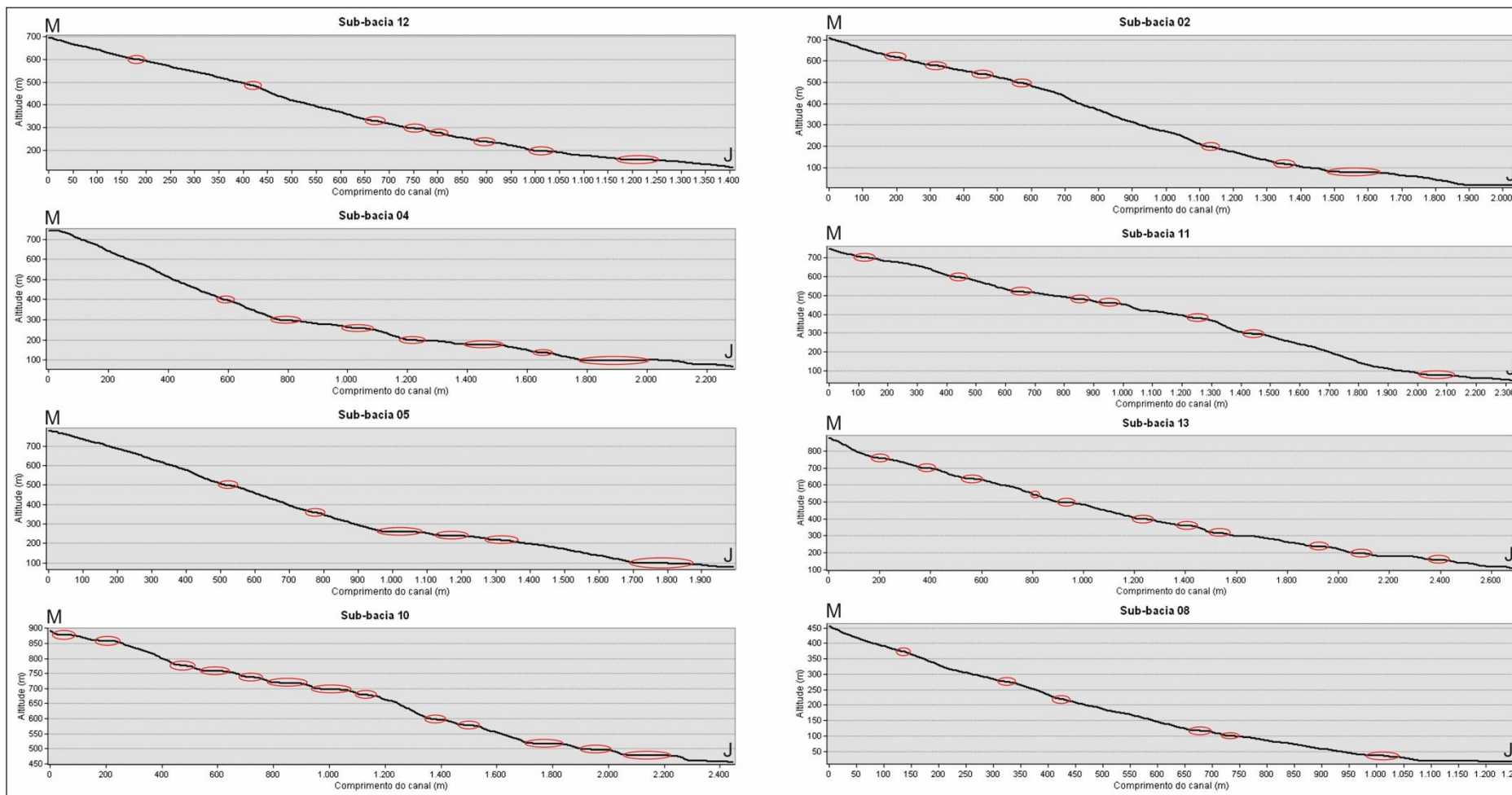
“ > ” = maior e “ < ” = menor.

A figura 32 mostra os resultados calculados para este parâmetro de forma gráfica. A partir disso, justamente com os perfis longitudinais das drenagens principais das sub-bacias que apresentam alta e médias suscetibilidades, analisou-se e destacou-se algumas possíveis zonas de deposições de materiais nas mesmas (Figura 33), as quais podem contribuir diretamente na força que um fluxo de detritos pode adquirir ao longo destes canais.

Figura 32 - Representação gráfica dos valores do gradiente do canal (Gc).

As regiões em destaque nos perfis da figura 33 mostram as quebras abruptas no curso da drenagem principal, tornando-o mais aplainado nestes pontos, isso faz com que se aumente a probabilidade de acúmulo de materiais nestas áreas. Uma vez que existe um acúmulo maior de material, existe uma tendência do evento de corrida de detritos ser mais expressivo nestas sub-bacias. Isto, associado ainda com o alto índice de precipitação, faz com que a magnitude do evento seja ainda mais catastrófica. Nesse quesito, têm-se que os maiores índices de chuvas acumuladas foram registrados nas proximidades das sub-bacias 04, 05 e 02. Novamente a sub-bacia 04 vem se comportando da forma esperada devido a magnitude do evento ocorrido na RPBC.

Figura 33 - Perfis longitudinais das drenagens principais das sub-bacias com os maiores potenciais de geração de corridas de detritos de acordo com os dados obtidos para o gradiente do canal.



M = Montante da drenagem principal; J = Jusante da drenagem principal. As demarcações em vermelho representam as possíveis zonas de deposição de blocos, pois se tratam de trechos aplainados do canal.

O índice analisado agora trata-se do **índice de sinuosidade** (Is), que relaciona os valores do comprimento da drenagem principal com o valor vetorial desta mesma drenagem. O resultado obtido com este cálculo expressa que quanto maior for o número, maior será a sinuosidade do canal e menor a velocidade do fluxo, ou seja, a velocidade de escoamento é menor (IPT, 2014). Isto posto, os números podem ser interpretados segundo a analogia de que quanto menor for o índice de sinuosidade, maior a potencialidade para a ocorrência de corridas de detritos, pois a velocidade de escoamento dos materiais é maior devido a baixa sinuosidade do canal.

Os resultados para este parâmetro variam entre 1,03 e 1,63. Sendo assim, de acordo com as três classes adotadas (e lembrando-se que para esse parâmetro a análise é inversa), obteve-se que a sub-bacia com menor potencial para geração de corridas de detritos é a número 07, possuindo valor de Is de 1,63. Em seguida tem-se que as de números 06 e 08 são de médio potencial, com resultados de $1,35 < 1,27$. E as sub-bacias com altos potenciais para geração de corridas de detritos são as numeradas como 11, 01, 05, 13, 03, 12, 02, 09, 10 e 04; e possuem valores de $1,21 < 1,20 < 1,18 < 1,12 < 1,09 < 1,07 < 1,06 < 1,06 < 1,03 < 1,03$ (Tabela 20).

Tabela 20 - Valores de referência obtidos para o índice de sinuosidade (Is) de acordo com as classes de potencialidades para geração de corridas de detritos adotadas.

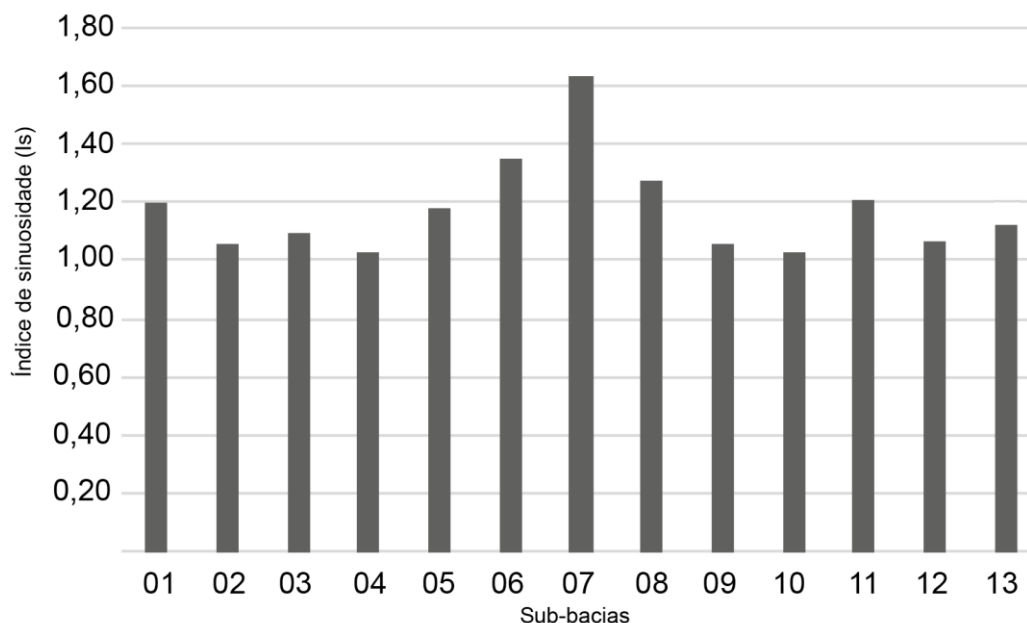
Valores	< 1,23										1,23 a 1,43		> 1,43
Sub-bacias	04	10	09	02	12	03	13	05	01	11	08	06	07

“ < “ = menor e “ > “ = maior.

Assim como esperado a sub-bacia número 04 encontra-se como a mais suscetível para corridas de detritos pelo resultado deste parâmetro. Já a sub-bacia 10, que vinha se apresentando sempre com suscetibilidade baixa, desta vez encontra-se na posição 2 da mais suscetível; fato este que pode se justificar pelo parâmetro anterior, o gradiente do canal, e isto ter favorecido a deflagração de um fluxo (água e/ou detritos) nesta bacia, uma vez que se trata de uma bacia alongada e não se encontra posicionada na região de maiores índices pluviométricos.

A figura 34 expressa graficamente todos os valores obtidos nos cálculos deste índice.

Figura 34 - Representação gráfica dos valores do índice de sinuosidade (Is).



Por fim, tem-se o índice que expressa a **frequência de drenagem** (Fs), onde se relaciona o número total de drenagens com a área da mesma sub-bacia. Este valor, para Alves e Castro (2013), é bem importante pois demonstra o potencial hídrico da área em questão. Quanto maior o número, maior a quantidade de canais por km² da sub-bacia e maior o potencial hídrico da mesma. Sendo assim, adota-se que os maiores valores podem influenciar numa maior potencialidade para geração de corridas de detritos, uma vez que reflete numa maior frequência de canais por km² da bacia.

Com isso, tem-se que o intervalo de valores obtidos está entre 3,12 e 6,62. A partir disto, de acordo com as classes definidas, as sub-bacias que se apresentam como baixo potencial para a geração de corridas de detritos são as de números 01, 02, 03, 10 e 06; com valores de 3,03 < 3,12 < 3,18 < 3,44 < 4,06. Já as que possuem médios potenciais são as numeradas como 05, 08 e 09, e os resultados destas foram 4,34 < 4,49 < 5,07. Por fim, as que apresentam potenciais altos são as de números 12, 07, 04, 13 e 11 e os valores são 5,79 < 6,05 < 6,29 < 6,59 < 6,62 (Tabela 21).

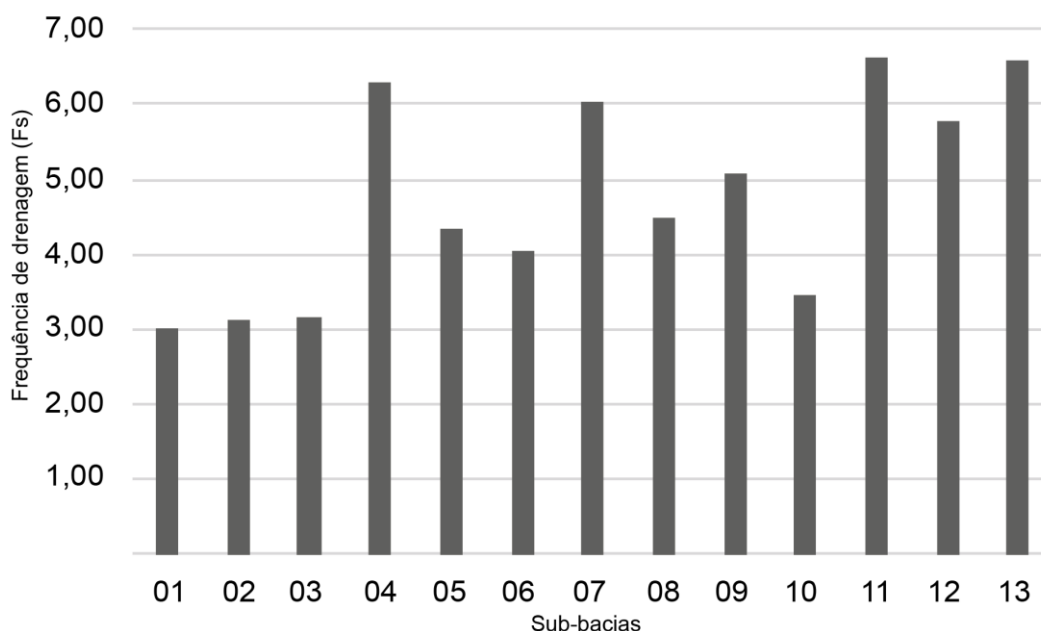
Tabela 21 - Valores de referência obtidos para a frequência de drenagem (Fs) de acordo com as classes de potencialidades para geração de corridas de detritos adotadas.

Valores	> 5,43					4,23 a 5,43			< 4,23				
Sub-bacias	07	11	13	04	12	09	08	05	06	10	03	02	01

">" = maior e "<" = menor.

Apesar deste parâmetro mostrar melhores resultados em relação ao parâmetro de Dd analisado anteriormente, ainda assim, este coloca a sub-bacia 07 como alto potencial, uma vez que é sabido que de acordo com as características já analisadas, esta se posiciona certamente como a de menor potencialidade. Mais uma vez esse dado pode ter sido influenciado no cálculo devido ao tamanho da área da sub-bacia, que acaba gerando uma frequência alta e desproporcional em relação às outras sub-bacias. A figura 35 expressa de forma gráfica os dados obtidos na pesquisa para este índice.

Figura 35 - Representação gráfica dos valores da frequência de drenagem (Fs).



6.6 Análise comparativa dos parâmetros morfométricos

Por meio dos resultados dos cálculos de alguns índices preliminares e os parâmetros morfométricos, neste item será apresentada uma análise integrada dos mesmos, afim de se estabelecer as sub-bacias que possuem as maiores suscetibilidades em desenvolver algum processo de corridas de detritos. Considera-se que foram estabelecidos pesos iguais para todos os dados.

A tabela 20 apresenta a classificação dos resultados em ordem de hierarquia individualmente, sendo que os números das sub-bacias estão ordenados de acordo com a potencialidade de geração de corridas de detritos para cada índice e parâmetro analisado.

Tabela 22 - Classificação hierárquica das sub-bacias de acordo com os índices e parâmetros morfométricos analisados.

Parâmetro/ Índice	Sub-bacia em ordem de maior potencialidade (vermelho) para menor potencialidade (verde)												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
A*	04	05	09	10	06	03	11	01	13	08	02	07	12
A	13	04	11	01	09	10	05	06	02	12	08	03	07
Hm	13	11	04	02	01	05	06	12	08	10	09	03	07
Dd	07	13	12	04	11	06	03	05	09	08	01	10	02
Ic	11	04	13	12	01	05	08	07	03	02	06	10	09
Rr	12	08	05	02	04	06	11	13	01	07	03	10	09
Ir	13	11	04	12	06	05	01	02	08	09	03	10	07
SPI	13	04	11	05	01	09	12	02	10	06	08	03	07
Gc	12	04	05	10	02	11	13	08	01	09	06	03	07
Is	04	10	09	02	12	03	13	05	01	11	08	06	07
Fs	07	11	13	04	12	09	08	05	06	10	03	02	01

A* = área ocupada pelas feições nas sub-bacias; A = área das sub-bacias; Hm = amplitude da sub-bacia; Dd = densidade de drenagem; Ic = índice de circularidade; Rr = relação de relevo; Ir = índice de rugosidade; SPI = índice de força do canal; Gc = gradiente do canal; Is = índice de sinuosidade e Fs = frequência de drenagem. A área das feições se encontram em azul e foi acrescida na tabela na ordem do maior para o menor para termos comparativos.

A partir de todos os dados analisados, nota-se que a sub-bacia número 04 apresenta-se como sendo a de maior potencialidade para a ocorrência de corridas de detritos de toda a área de estudo, uma vez que ela aparece na classificação hierárquica individual nas primeiras posições em quase todos os índices e parâmetros analisados. Esta apenas não aparece na faixa de maior potencialidade nos parâmetros de Dd e Gc (densidade de drenagem e gradiente do canal). Comparando-se com a área ocupada pelas feições mapeadas ela se estabelece ainda mais como sendo a de maior potencial, uma vez que em termos de área proporcional de feições, ela está na posição 1. Esperava-se este resultado para esta sub-bacia, pois sabe-se que ela foi a mais atingida pelo evento de 1994 e trata-se da bacia que engloba a RPBC. Em relação aos dados das precipitações acumuladas, ela se engloba numa região bastante afetada, com índices que variam de 173,0 a 184,4 mm; podendo, este, também ter exercido forte influência nas deflagrações das corridas de detritos do ano de 1994. E posto isto, de acordo com todas as características analisadas, ela é altamente suscetível aos eventos de movimentos de massa como um todo.

Na sequência, classifica-se a sub-bacia 11 na posição hierárquica número 2. Nota-se que esta não possui uma área proporcional ocupada pelas feições muito abrangente (posição 7), no entanto ela possui alta potencialidade para geração de corridas de detritos em 7 dos itens analisados (Hm, Ic, Rr, Ir, SPI, Is e Fs). Em relação à área da bacia e aos parâmetros de Dd e Gc, situa-se como médio potencial. Quanto ao índice acumulado de chuvas, a mesma não se encontra posicionada nas faixas de maiores precipitações, possuindo valores de 146,1 a 160,0 (que ainda assim são muito altos). Por isso, conclui-se que mesmo não fazendo parte da região mais afetada pelas chuvas, os índices e parâmetros morfométricos exercem forte influência nesta sub-bacia.

Agora, tem-se que, a sub-bacia número 13 encontra-se na posição 3 em termos hierárquicos. Assim como a sub-bacia anterior, ela apresenta alto grau de potencialidade em 7 dos índices e parâmetros analisados (A, Hm, Ic, Ir, SPI, Is e Fs). Entretanto, esta ficou numa posição abaixo devido a porcentagem da área ocupada pelas feições na sub-bacia, que é menos do que a sub-bacia 11 (posição 9) e também por fazer parte de uma região um pouco menos afetada pelas chuvas, uma

vez que o mapa mostra que a bacia se posiciona na região onde a precipitação acumulada foi de 132,7 a 146,1 mm.

Já a sub-bacia 12, mesmo possuindo a menor área proporcionalmente ocupada por feições, encontra-se com alta potencialidade em 6 dos índices e parâmetros analisados na pesquisa (Hm, Ic, Rr, Gc, Is e Fs). Por isso, hierarquicamente esta ocupa a posição número 4 no grau de potencialidade para geração de corridas de detritos. Esta sub-bacia, assim como a número 13, posiciona-se na porção menos afetada pelas chuvas da área de estudo. Então, conclui-se que a junção dos fatores considerados nos índices e parâmetros morfométricos, podem exercer forte influência nesta bacia.

Na sequência tem-se a sub-bacia 05 na posição 2 como a mais atingida de acordo com a área das feições mapeadas. No entanto, em nível hierárquico da potencialidade para gerar corridas de detritos, ela ocupa a posição 5. Esta, possui 3 índices e parâmetros na categoria de alto potencial (Hm, Rr e Is) e se enquadra em 5 itens de média suscetibilidade (A, Ir, SPI, Gc e Fs). A forte ocorrência de feições nesta sub-bacia pode estar relacionada com os índices de chuva, uma vez que a precipitação acumulada na região em que a bacia se posiciona é bastante alta, possuindo índices entre 160,0 e 173,0 mm.

Prosseguindo com as análises, classifica-se a sub-bacia número 02 na posição hierárquica 6 para a potencialidade de geração de corridas de detritos. Assim como a bacia anterior, esta possui também 3 índices e parâmetros na categoria de alto potencial (Hm, Rr e Is) e possui apenas 2 resultados na classe de médio potencial (Ir e Gc). A maioria dos dados enquadram-se na faixa de baixo potencial, são eles: A, Dd, Ic, SPI e Fs. Este resultado apresenta-se bastante coerente, uma vez que a sub-bacia situa-se apenas na posição 11 em relação a área proporcional das feições. Em relação ao índice de chuva, a mesma está situada numa região com altíssimos índices pluviométricos acumulados (184,4 a 196,5 mm); entretanto, estes não podem ser considerados como um fator importante para a geração de movimentos de massa nesta sub-bacia.

Na sequência, e em posição hierárquica número 7, tem-se a sub-bacia 01. A mesma possui a posição 8 em relação à área proporcional de feições na sub-bacia. O posicionamento hierárquico dela se dá por ela possuir apenas 2 parâmetros na classe dos altos graus de potencialidade para geração de corridas de detritos (Hm e Is). Já na classe de médio potencial, esta sub-bacia se engloba em 4 índices e parâmetros, sendo eles: A, Rr, Ir e SPI. Esta também possui 4 resultados na faixa de baixo potencial (Dd, Ic, Gc e Fs). Esta sub-bacia possui maior frequência de feições do que a analisada anteriormente (sub-bacia 02), entretanto as duas se localizam na mesma faixa de precipitação, mas, considerando-se que nenhum pluviômetro se localiza exatamente dentro da área de estudo, a maior incidência de feições nesta sub-bacia pode estar relacionada pela maior proximidade desta bacia com a região de maior precipitação (visto que uma pequena parte da bacia está localizada nesta área do mapa pluviométricos – 196,5 a 210,3 mm).

A sub-bacia 06 ocupa a posição hierárquica de número 8 na classificação de potencialidade para geração de corridas de detritos. Esta, assim como a anterior, possui apenas 2 índices e parâmetros na classe de alta potencialidade, são eles, Hm e Rr. Na faixa de médio potencial apresenta apenas 2, o Ir e o Is. A maior parte dos resultados englobam essa sub-bacia na faixa de baixo potencial, possuindo 6 itens, são eles: A, Dd, Ic, SPI, Gc e Fs. Nota-se que mesmo esta sub-bacia estando na posição 8 da hierarquia, a mesma ainda se encontra na posição 5 em termos de área de feições, ou seja, ela foi bastante atingida no evento de 1994. A chuva, neste caso, pode ter sido um fator agravante, neste caso, mesmo ela estando posicionada na região de média pluviosidade em relação ao restante da área (160,0 a 173,0 mm).

Agora, na posição hierárquica de número 9, tem-se a sub-bacia 07. Esta, assim como as duas anteriores, também possui apenas 2 itens como alta potencialidade para a geração de corridas de detritos, e ambos estão relacionados com as drenagens, são eles: Dd e Fs. A sub-bacia 07 foi a que apresentou incertezas nos dados, devido ao seu tamanho (em área). Fora isso, a mesma ainda possui um dos parâmetros na posição de média potencialidade, que é a Rr. Por fim, no restante dos dados obtidos, esta sub-bacia se posiciona como baixo potencial em 7 dos índices e parâmetros analisados, sendo eles: A, Hm, Ic, Ir, SPI, Gc e Is; e dentre esses,

posiciona-se em último (com os valores mais baixos) em 6. Apenas o I_c que não é o menor valor obtido. Sendo assim, conclui-se que para esta sub-bacia, os índices que envolvem a análise da drenagem não se fazem úteis, em compensação, os outros dados se mostraram bastante coerentes, uma vez que a sub-bacia 07 foi a segunda menos atingida no evento de 1994, se colocando na posição 12 na ordem hierárquica das áreas proporcionais ocupadas pelas feições nas sub-bacias.

Na sequência, considera-se a sub-bacia 09 na posição hierárquica 10 para potencialidade de geração de corridas de detritos. Esta apresentou apenas 1 dos índices na faixa de alto potencial, que é o I_s . Na classe de médio potencial, esta sub-bacia possui 4 dos índices e parâmetros, sendo os seguintes: A , H_m , SPI e F_s . E por fim, na faixa de baixa potencialidade para deflagração de corridas de detritos, apresenta 5 dos índices, D_d , I_c , R_r , I_r e G_c . No entanto, a sub-bacia 09 está na posição 3 como a que mais apresenta feições proporcionalmente ao tamanho da bacia e, ainda, encontra-se numa região de média precipitação acumulada (160,0 a 173,0); posto isto, nota-se ainda que esta apresenta o menor valor para o I_c , e trata-se de uma sub-bacia alongada. Sendo assim, de acordo com alguns autores citados anteriormente, bacias alongadas e com valores baixos de I_c podem se tornar mais vulneráveis e neste caso, o I_c pode ter sido um fator importante na deflagração de corridas de detritos nesta sub-bacia.

Agora, na ordem hierárquica, a sub-bacia número 08 está ocupando a posição 11. Esta, assim como a anterior, possui apenas 1 dos dados na classe de alto potencial para geração de corridas de detritos, que é a R_r . Na faixa de médio potencial, igual a anterior, possui 4 dos índices e parâmetros analisados, sendo a H_m , G_c , I_s e F_s . E na faixa de baixa potencialidade, estão os índices e parâmetros de A , D_d , I_c , I_s e SPI . O posicionamento desta bacia pode-se dizer que está bastante coerente. Nota-se, ainda, que de acordo com os pesos atribuídos aos parâmetros (que é o mesmo para todos), esta encontra-se empatada com a sub-bacia 09; no entanto, a sub-bacia 08 ocupa apenas a posição 10 em relação a frequência de feições em relação a área da bacia, ou seja, esta foi menos afetada no evento de 1994 do que a outra (que se mostrou como uma das mais atingidas); sendo que as duas estão posicionadas na mesma faixa de precipitação acumulada (146,1 a 160,0). Posto isto, a sub-bacia 08 perdeu uma posição em relação a anterior.

Na posição hierárquica número 12 encontra-se a sub-bacia 10. Esta possui, também, apenas 1 dos índices na classe de alta potencialidade para geração de corridas de detritos, que é o *Is*. Na faixa de médio potencial, encontram-se os dados de *A*, *Hm* e *Gc*. E por fim, como baixo potencial, encontram-se 6 dos índices analisados, que são: *Dd*, *Ic*, *Rr*, *Ir*, *SPI* e *Fs*. Esta sub-bacia, assim, como a sub-bacia 09 ocupa uma posição considerável em relação aos dados de frequência de feições em relação a área da bacia, estando na posição 4. Tem-se, assim como a sub-bacia 09, que o *Ic* desta é o segundo menor valor e que também se trata de uma bacia alongada. Sendo assim, esta também pode ter sido bastante influenciada por este índice (*Ic*). Nota-se, ainda, que a sub-bacia 10, diferente da 09, está posicionada numa faixa de precipitação acumulada um pouco menor (146,1 a 160,0).

Por fim, a posição hierárquica número 13 está ocupada pela sub-bacia 03, tornando-se a de menor potencial para geração de corridas de detritos de acordo com os dados calculados nesta pesquisa. Esta, possui apenas 1 índice na classe da alta potencialidade (*Is*) e o restante dos valores se posicionam na faixa de baixa potencialidade, sendo eles: *A*, *Hm*, *Dd*, *Ic*, *Rr*, *Ir*, *SPI*, *Gc* e *Fs*. No entanto, trata-se de uma bacia relativamente bem afetada pelas feições no evento de 1994 (posição 6). Observa-se, ainda, que a mesma se posiciona numa região de altos índices pluviométricos acumulados (173,0 a 184,4) e está bem próxima da sub-bacia 04, que foi classificada como a de maior potencialidade para geração de corridas de detritos. Posto isto, pode-se dizer que esta sub-bacia, apesar de ser a de menor potencial para desenvolver corridas de detritos, sofreu alta influência das chuvas no evento de 1994.

A partir de todas estas análises, têm-se que a ordem hierárquica final que estabelece a potencialidade das sub-bacias para a ocorrência de corridas de detritos na área de estudo de acordo com os índices e parâmetros morfométricos analisados é: **04 > 11 > 13 > 12 > 05 > 02 > 01 > 06 > 07 > 09 > 08 > 10 > 03.**

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho mostrou que os índices e parâmetros morfométricos podem ser uma importante ferramenta na avaliação da potencialidade para a geração de processos de corridas de detritos, possibilitando resultados bastante coerentes para o evento de fevereiro de 1994 em Cubatão (SP); e podendo-se, assim, ser aplicados para outros possíveis eventos na região e também em outros locais que possuam características semelhantes.

Em se tratando da aplicação desses cálculos em sub-bacias, e ainda acrescido dos dados da distribuição das chuvas acumuladas na região, pode-se dizer que para cada uma das bacias a importância de um ou outro índice ou parâmetro morfométricos pode ser diferente, uma vez que as sub-bacias possuem suas particularidades individuais; entretanto, para este trabalho foram aplicados pesos iguais para todos os índices e parâmetros analisados, por isso essas particularidades não foram consideradas. E frisa-se, ainda, de acordo com Nery (2016) que os índices e parâmetros morfométricos precisam ser analisados de forma conjunta para que os processos possam ser melhor compreendidos.

A análise da abrangência espacial do evento de fevereiro de 1994 foi realizada com sucesso através do mapeamento das feições de escorregamentos e das corridas de detritos nas fotografias aéreas do mesmo ano e possibilitou a primeira hierarquização estabelecida na pesquisa (a qual foi feita através dos cálculos das áreas ocupadas pelas feições em cada sub-bacia da área de estudo, com o valor expresso em porcentagem). Com isso, gerou-se a possibilidade de comparação destes dados com os resultados obtidos dos cálculos dos índices e parâmetros morfométricos, para que no final fosse definida a hierarquia de acordo com a suscetibilidade de cada sub-bacia.

Alguns dos índices e parâmetros morfométricos analisados puderam ser correlacionados diretamente com a magnitude dos processos que ocorreram na região; como por exemplo na sub-bacia 04, onde a maioria dos dados obtidos confirmou a alta potencialidade desta para geração de corridas de detritos. Foi possível, ainda, fazer a comparação real através da análise das fotos aéreas que registraram o evento de 1994 em Cubatão (SP), e confirmou-se que foi a mais afetada, assim como a que apresenta a mais alta potencialidade.

A sub-bacia 05, apesar de ser a segunda mais afetada por escorregamentos e corridas de detritos em 1994 em comparação com a área da própria bacia, hierarquicamente ocupou apenas a posição 5 na suscetibilidade para geração de eventos de corridas. Uma vez que a bacia possui um tamanho considerado médio (em km²) nesta pesquisa, pode-se dizer, então, que o parâmetro 'área' é bastante significativo; no entanto, esse dado necessita ser avaliado juntamente com outros parâmetros para, assim, poder julgar a vulnerabilidade da bacia.

As sub-bacias 11, 13 e 12 (posições 2, 3 e 4 na hierarquia final), embora não tenham sido muito atingidas por escorregamentos e corridas de detritos no evento de 1994, possuem valores obtidos nesta pesquisa que nos levam a crer que estas podem sofrer grande influência dos índices e parâmetros morfométricos. As três possuem particularidades que associadas com grandes eventos de chuvas ainda podem sofrer grandes danos. Portanto, recomenda-se atenção.

O índice de circularidade (Ic) mostrou-se coerente apenas para os valores mais próximos de 1,0; os quais englobam as 4 sub-bacias mais suscetíveis de acordo com a classificação final da hierarquia de suscetibilidade. Entretanto, observou-se, ainda, que nas sub-bacias com Ic abaixo de 0,5 também houveram registros significativos de escorregamentos e corridas de detritos, como pode ser visto nas sub-bacias 09, 10 e 06. Posto isto, e considerando-se que alguns autores abordam as ocorrências de eventos em bacias com baixo Ic, concluiu-se que este não é um parâmetro de importância considerável para a avaliação da ocorrência de corridas de detritos na área.

Algumas incoerências foram observadas, sendo que a mais significativa colocou a sub-bacia 07 numa posição hierárquica não esperada (número 9) de acordo com as características da bacia. Para esta, os índices que relacionavam as drenagens (tanto em comprimento como em quantidade – Dd e Fs) e a área, acabou não se tornando de fato importantes, uma vez que a sub-bacia possui um tamanho bem pequeno em área e as drenagens acabaram ganhando mais destaque do que realmente possui (justamente pelo fato do denominador da fração ser muito pequeno), gerando um número incoerente, principalmente para a Dd.

Nota-se, também, que toda a área sofreu grande influência dos índices de precipitações acumuladas na região nos dias que antecederam o evento. No entanto, é necessário salientar que não existe nenhum pluviômetro posicionado exatamente dentro da área analisada, e por isso, estes dados são considerados

como uma projeção e não como uma certeza, uma vez que os mesmos foram captados nas proximidades da área.

Por fim, pode-se dizer que, dada as características individuais de cada sub-bacia, os índices e parâmetros morfométricos conjunto com a análise da distribuição das chuvas acumuladas dos dias que antecederam o evento de fevereiro de 1994 possuem relevância fundamental para a identificação e monitoramento das áreas consideradas de alto potencial para gerar corridas de detritos e ainda, na emissão de possíveis alertas.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR-11682: estabilidade de encostas**. Rio de Janeiro, 18 p., 2006.

AB'SABER, A. N. A Serra do Mar na região de Cubatão: avalanches de janeiro de 1985; a ruptura do equilíbrio ecológico da Serra de Paranapiacaba e a poluição industrial. In: **Simpósio sobre o Ecossistema da Costa Sul e Sudeste Brasileiras, São Paulo**. Anais. Academia de Ciências do Estado de São Paulo, p. 74-116, 1987.

ALCÁNTARA-AYALA, I. Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. **Geomorphology**, v. 47, p. 107–124. 2002.

ALMEIDA, F. F. M. O Planalto Paulistano. In: **Azevedo, A. de. A Cidade de São Paulo**. São Paulo, v. 1, p. 113-167 (v. 1, A Região de São Paulo), 1958.

ALMEIDA, F.F.M. Fundamentos Geológicos do Relevo Paulista. **Boletim do Instituto de Geografia e Geologia**, São Paulo, n. 41, p. 169-263. 1964.

ALMEIDA, F.F.M. de e CARNEIRO, C. D. R. Origem e Evolução da Serra do Mar. **Revista Brasileira de Geociências**, p. 135-150, 1998.

ALMEIDA, F.F.M. de; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B.B. de; FUCK, R.A. Províncias estruturais brasileiras. In : **Simpósio de Geologia do Nordeste**, 8, Campina Grande. Aral... p. 363-391. (Versão em inglês. *Earth Sei. Reviews*, 1981 , 17:1-29, 1977.

ALMEIDA, F. M. M. de. Distribuição regional e relações tectônicas do magmatismo pós paleozoico no Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 16(4), p. 325-349, 1986.

ALVES, J. M. P., CASTRO, P. T. A. Influência de feições geológicas na morfologia da bacia do rio do Tanque (MG) baseada no estudo de parâmetros morfométricos e análise de padrões de lineamentos. **Revista Brasileira de Geociências**, v 33 (2), p. 117-124, 2003.

ARRUDA JUNIOR, E. R.; LOPES, E. S. S. Análise morfométrica em sub-bacias hidrográficas para monitoramento do risco potencial a corridas de massa (debris flows) na região serrana do Rio de Janeiro. In: **Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental**, 14., 2013, Rio de Janeiro. Anais, Rio de Janeiro, : ABGE, 2013.

AUGUSTO FILHO, O. Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. In: **Conferência Brasileira Sobre Estabilidade de Encostas** - COBRAE, 1, 1992, Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro: p.721-733, 1992.

AUGUSTO FILHO, O. O estudo das corridas de massa em regiões serranas tropicais: um exemplo de aplicação no município de Ubatuba, SP. In: **Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia**, 7., 1993, Poços de Caldas. Anais, Poços de Calda: ABGE, vol. 2, p. 63-72, 1993.

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

AUGUSTO FILHO, O., WOLLE, C. M. Cartas de risco de escorregamentos: uma proposta metodológica e sua aplicação no município de Ilha Bela, SP. **Solos e Rochas**, 19: 45-62, 1996.

BATTISTI, I. D. E.; BATTISTI, G. **Métodos estatísticos**. Coleção educação à distância. Série livro-texto. Ijuí: Ed. Unijuí, 2008, 80p.

CAMPANHA G. A. C., SADOWSKY G. R. Tectonics of the southern portion of the Ribeira Belt (Apiaí Domain). **Precambrian Research**, v. 98, p. 31-51, 1999.

CERRI, R. I. et al. Análise da influência de atributos fisiográficos e morfométricos na definição da suscetibilidade de bacias hidrográficas à ocorrência de corridas de massa. **Revista do Instituto de Geociências – USP**. Geol. USP, Sér. cient., São Paulo, v. 18, n. 1, p. 35-50, Março 2018.

CHAMBERLIN, T. W. Basin morphometry data and data base. **Ministry of Environment**, Province British Columbia. APD Technical Paper 11. p. 15, 1982.

CHEN, C.Y.; YU, F.C. Morphometric analysis of debris flows and their source areas using GIS. **Geomorphology**, 129, p. 387-397, 2011.

CHRISTOFOLETTI, A. Análise morfométrica de bacias hidrográficas. **Notícia Geomorfológica**, v. 9, n. 18, p. 35-64, 1969.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 1982. 149p.

COLLINS, B.; ZNIDARCIC, D. Triggering Mechanisms of Rainfall Induced Debris Flows. In: 2nd Panam. **Symp. Landslides**, 2o COBRAE. Rio de Janeiro, 1997. p. 277-286.

CONFORTI, M.; AUCELLI, P. P. C.; ROBUSTELLI, G.; SCARCIGLIA, F. Geomorphology and GIS analysis for mapping gully erosion susceptibility in the Turbolo stream catchment (Northern Calabria, Italy). **Natural Hazard**, v. 56, p. 881-898, 2011.

CORRÊA, C. V. S. **Modelagem morfométrica para avaliação da potencialidade de bacias hidrográficas a corridas de detritos: proposta aplicada em Caraguatatuba (SP) e São Sebastião (SP)**. 257 f.; Tese de Doutorado, UNESP Rio Claro, 2018.

COSTA, J. E. Physical geomorphology of debris flows. In Costa, J. E., and Fleisher, J. P., eds., **Developments and applications of geomorphology**, New York: Springer-Verlag. p. 268-317, 1984

COSTA NUNES, A. J. Landslides in soils of decomposed rock due to intense rainstorms. In: **ICSMFE**, 7, México, Proceedings, v2, p.547-554, 1969.

CROZIER, M. J. Landslides; causes, consequences and Environment. **Croom Helm, London**, 252p, 1986.

CRUZ, O. Contribuição geomorfológica ao estudo de escarpas da Serra do Mar. **Revista do Instituto Geológico**, vol. 11 (1), p. 9-20, 1990.

DE BIASI, M. Carta de declividade: confecção e utilização. **Geomorfologia**, Instituto de Geografia – USP, SP, São Paulo, 1970.

DE MATAUCO, A. I. G. Análisis morfométrico de la cuenca y de la red de drenaje del río Zadorra y sus afluentes aplicado a la peligrosidad de crecidas. **Boletín de la Asociación de Geógrafos**, v. 38, p. 311-329, 2004.

DIAS, V. C. **Análise da influência dos parâmetros morfológicos e morfométricos na geração de corridas de detritos em Caraguatatuba (SP)**, p. 73. TGI (Monografia em Geografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Departamento de Geografia, USP, São Paulo, 2014.

DIAS, V. C.; VIEIRA, B. C.; GRAMANI, M. F. Parâmetros morfológicos e morfométricos como indicadores da magnitude das corridas de detritos na Serra do Mar Paulista. **Confins**, 2016.

FERNANDES, N.F.; AMARAL, C.P. **Movimentos de Massa: uma abordagem geológico-geomorfológica**. In: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. (eds) – Geomorfologia e Meio Ambiente. Bertrand Brasil, Cap 3, p.123-194, 1996.

FONSECA, B. M.; AUGUSTIN, C. H. R. R. Análise morfométrica de bacias de drenagem e sua relação com a estrutura geológica, Serra do Espinhaço Meridional-MG. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, vol. 15, n°2, p. 153-172, 2014.

FREIRE, E. S. M. Movimentos coletivos de solos e rochas e sua moderna sistemática. **Revista Construção**, RJ, 8(95), mar., p.10-18, 1965.

GERSCOVICH, D. M. S. **Estabilidade de Taludes**. 1ª. ed. São Paulo: Oficina de Texto, 158p, 2012.

GOMES, M.C.V.; DIAS, V.C.; VIEIRA, B.C. Influência dos parâmetros morfométricos na magnitude de corridas de detritos em Caraguatatuba/SP, Serra do Mar: análise preliminar. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 15, Bento Gonçalves, 2015. **Anais...** Bento Gonçalves: ABGE, 2015.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. **Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação**. São Paulo: Editora da USP, p. 216, 1976.

GUIDICINI, G.; IWASA, O.Y. **Ensaio de correlação entre pluviosidade e escorregamentos em meio tropical úmido**. São Paulo. IPT, 1976.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. **Estabilidade de taludes naturais e de escavação**. 2. ed. São Paulo. Edgard Blücher; Ed. da Universidade de São Paulo, 194p., 1984.

GUZZETTI, F.; MONDINI, A. C.; CARDINALI, M.; FIORUCCI, F.; SANTANGELO, M.; CHANG, K. T. Landslide inventory maps: new tools for an old problem. **Earth Science Reviews**, v. 112, p. 42-66, 2012.

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

HAJAM, R. A.; HAMID, A.; BHAT, S. Application of morphometric analysis for geo-hydrological studies using geo-spatial technology: A case study of Vishav drainage basin. **Hydrology Current Research**, vol 4, n°3, p. 1-12, 2013.

HASEGAWA, S.; NONOMURA, A.; NAKAI, S.; DAHAL, R. K. Drainage density as rainfall induced landslides susceptibility index in small catchment area. **International Journal Lands and Environmental**, v. 1(1), p. 27-28, 2013.

HASUI, Y. Sistema Orogênico Mantiqueira. In: **Geologia do Brasil**. São Paulo: Beca-BALL Edições Ltda, 2012, p. 331-371.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society America Bulletin**, 56(3): 275-370, 1945.

HUNGR, O.; LEROUEIL, S.; PICARELLI, L. **The Varnes classification of landslide types, an update** *Landslides*, 11, pp. 167-194, 2014.

HUNGR, O.; EVANS, S. G.; BOVIS, M.; HUTCHINSON, J. N. Review of the classification of landslides of the flow type. **Environ Eng Geosci VII**: 221–238, 2001.

HUTCHINSON, J. N. Mass movement. In: FAIRBRIDGE, R. W. **Encyclopedia of geomorphology**. New York: Reinhold Book Corp, p. 688-696, 1968.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2017.

Cidades: Cubatão. Disponível em:

<<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=351350>>. Acesso em: 14 jun. 2018.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Folha de Santos**. São Paulo: IBGE, 1972. Escala 1:50.000.

IGC – Instituto Geográfico e Cartográfico. **Plano Cartográfico do Estado de São Paulo**. Escala 1:10.000. Estado de São Paulo. São Paulo, 1979.

INFANTI JÚNIOR, N.; FORSANARI FILHO, N. Processos de dinâmica superficial. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. (Eds.). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: ABGE, p. 131-152, 1998.

IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Programa Serra do Mar – levantamentos básicos nas folhas de Santos e Riacho Grande, Estado de São Paulo**. Anexo A – Estudos geológicos e geomorfológicos. São Paulo, Relatório 23.394, v. 2, 120 p., 1986.

IPT – INSTITUTO DE PESQUISA TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Estudos das instabilizações de encosta da Serra do Mar na região de Cubatão objetivando a caracterização do fenômeno “corrida de lama” e da prevenção dos seus efeitos**. São Paulo, 1987. Relatório 26.258, volume 1.

IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Ocupação de encostas - Manual**. São Paulo, 216 p, 1991.

IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Análise do Comportamento do Setor 5 (RPBC) durante o Plano de Contingência de 1993/94**. SCT. Relatório N° 32.231/1994.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISA TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Reconhecimento, caracterização e monitoramento de locais potencialmente sujeitos a instabilizações na Serra do Mar na área de influência dos diversos Sistemas de Captação e Abastecimento de Água e de Tratamento de Esgoto.** São Paulo. Relatório 59.123, 2002.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Relatório Um de Situação dos Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Pardo** - Relatório Final. São Paulo: IPT/Cetae, 244 p. Relatório nº 40.670, 2007.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLOGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO, SERVIÇO GEOLOGICO DO BRASIL. **Cartas de suscetibilidade a movimentos de massa e inundações: 1:25.000.** Nota explicativa. São Paulo, Publicação IPT, 3016, 2014.

JACKSON, L. E. Debris flows hazard in the Canadian Rocky Mountains. **Geological Survey of Canada**, Paper 86-11, p. 20, 1987.

JAKOB, M. Morphometric and geotechnical controls of debris flow: frequency and magnitude in southern British Columbia. Tese (Doutorado em Filosofia) – Departamento de Geografia, Universidade de Columbia Britânica, Canadá, p. 242, 1996.

JOHNSON, P. A.; McCUEN, R. H.; HROMADKA, T. V. Magnitude and frequency of debris flows. **Journal of Hydrology**, v. 123, p. 69-82, 1991.

JOLLY, C. A; LEITÃO FILHO, H. F; SILVA, S. M. Mata Atlântica: Vegetação. In: CAMARA, I. B. **SOS Mata Atlântica**. Rio de Janeiro: Ed. Index, 1991.

KAKEMBO, V; XANGA, W. W.; ROWNTREE, K. Topographic thresholds in gully development on the hillslopes of communal areas in Ngqushwa local municipality, Eastern Cape, South Africa. **Geomorphology**, v. 110, p. 188-194, 2009.

KANJI, M.A. et al. Basic and common characteristics of debris flows. In: **2nd Panam. Symp. Landslides**, 2o COBRAE. Rio de Janeiro. p.223-231, 1997.

KANJI, M.A.; CRUZ, P.T.; MASSAD, F. Debris flow affecting the Cubatao Oil Refinery, Brazil. **Landslides**, v. 5, p. 71–82, 2008.

KOVANEN, D. J.; SLAYMAKER, O. The morphometric and stratigraphic framework for estimates of debris flow incidence in the North Cascades foothills, Washington State, USA. **Geomorphology**, v. 99, n. 1-4, p. 224-245, 2008.

LEPSCH, I. F. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 175p., 1983.

LEROUEIL, S. et al. Geotechnical characterisation of slope movements. **Proceedings of 7th International Symposium on Landslides**. Trondheim: [s.n.]. p. 53-74, 1996.

LIMA, I. F. & AMARAL, C. Megadesastre`11 da Serra Fluminense: a Corrida de Massa do Vieira, em Teresópolis – Análise preliminar dos mecanismos de propagação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 13, **Anais**. São Paulo. 2011. CD-ROM, 2011.

LOCH, C. **A interpretação de imagens aéreas: noções básicas e algumas aplicações nos campos profissionais**. Série didática. Florianópolis: Editora da UFSC, 1984.

LOPES, E. S. S. **Modelagem especial dinâmica em Sistema de Informação Geográfica: Uma aplicação ao estudo de movimentos de massa em uma Região da Serra do Mar Paulista**. p. 314. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2006.

LOPES, E.S.S.; RIEDEL P.S. Simulação da corrida de massa do km 42 ocorrido na rodovia Anchieta. In: Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais, 2, Santos. **Anais...** Santos: 2007.

LOPES, E.S.S.; RIEDEL, P.S.; BENTZ, 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: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 13, 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, p. 2785-2796. 2007.

MASSAD, F.; CRUZ, P.T.; KANJI, M.A. Comparison between estimated and measured debris flow discharges and volume of sediments. In: **2nd Panam. Symp. Landslides**, 2o COBRAE. Rio de Janeiro. p.213-222, 1997.

MASSAD, F.; CRUZ, P.T.; KANJI, M.A. **“Debris flows” em Cubatão – SP: danos em instalação industrial e em barragens-gabião**, [2000].

MELELLI, L.; TARAMELLI, A. An example of debris-flow hazard modeling using GIS. **Natural Hazard and Earth System Sciences**, v. 4, p. 374-358, 2004.

MIDRIAK, R. Debris Flow and their occurrence in the Czechoslovak High-

Mountain West Carpathians. In: **International Symposium on Erosion, Debris Flow and Disaster Prevention**. Sept., Tsukuba-Japan. p.175-180. 1985.

MIZUYAMA, T. Analysis of sediment yield and transport data for erosion control works. Recent Developments in the Explanation and Prediction of Erosion and Sediment Yield. **Proceedings Exeter Symposium**, IAHS Publication, n. 137, p. 177-182, 1982.

MOORE, I. D.; GRAYSON, R. B.; LADSON, A. R. Digital terrain modeling: A review of hydrological, geomorphological, and biological applications. **Hydrological Processes**, vol. 5, p. 3-30, 1991.

NEFESLIOGLU, H. A.; DUMAN, T. Y.; DURMAZ, S. Landslide susceptibility mapping for a part of tectonic Kelkit Valley (Eastern Black Sea region of Turkey). **Geomorphology**, v. 94, p. 401-418, 2008.

NERY, T. D. **Dinâmica das corridas de detritos no Litoral Norte de São Paulo**. 2016. 164. Tese (Doutorado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Working party on world landslide inventory. **Bulletin of the IAEG**, 41, p. 5-12. 1993.

PEROV, V.F.; ARTYUKHOVA, I.; BUDARINA, O.; GLAZOVSKAYA, T.; SIDOROVA, T. Map of the world mudflow phenomena. In: Debris Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction, and Assessment, Proceedings, **1st Conference, ASCE**, p.322-331, 1997.

POLANCO, L.S.E. **Correlações empíricas para fluxo de detritos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - UFRJ/COPPE, Rio de Janeiro, 2010. 110 p.

PONÇANO, W.L. et al. **Notícia Explicativa do Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: IPT. 94p. 1981.

RAHN, P. H. **Engineering geology: an environmental approach**. New Jersey: Englewood Cliffs, 1986.

RIBEIRO, R.R. **Evolução Geomorfológica da Serra de Cubatão, em São Paulo**. 122f. Dissertação (Mestrado em Geologia Sedimentar) – IGC – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2003.

RIBEIRO, M.C.S.; HACKSPACHER, P.C.; RIBEIRO, L.F.B.; HADLER NETO, J.C. Evolução tectônica e denudacional da Serra do Mar (SE/Brasil) no limite entre o

Cretáceo Superior e o Paleoceno, utilizando análises de traços de fissão e U-TH/HE em apatitas. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v. 12 (3):03-14. 2011.

RODRIGUES, J. G.; AMARAL, C. & TUPINAMBÁ, M. Megadesastre '11 da Serra Fluminense: A Corrida de Massa do Vieira, em Teresópolis - Análise Preliminar dos Condicionantes Geológicos. In CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 13, **Anais**. São Paulo. 2011. CD-ROM, 2011.

ROGELIS, M. C.; WERNER, M. Regional debris flow susceptibility analysis in mountains peri-urban areas through morphometric and land cover indicators. **Natural Hazards and Earth system Sciences**, v. 14, p. 3043-3064, 2014.

SADOWSKI, G.R. A megafalha de Cubatão no sudeste brasileiro. **Boletim IG – USP: Série Científica**, v. 22, p. 15-28, 1991.

SANTOS, A. R. **A grande barreira da Serra do Mar: da trilha dos Tupiniquins à Rodovia dos Imigrantes**. São Paulo: Ed. O Nome da Rosa, p. 122, 2004.

SANTOS, A. R.; SILVA, S. G.; NOUH, J. R. Serra do Mar: Características Geológicas e Geotécnicas e Importância Estratégica. Os Bairros Cota. **Programa de Recuperação Socioambiental da Serra do Mar**. 2009.

SAURET, B. **Coulées de débris canalisées - Compte rendu bibliographique**. 150/151. [S.I.]: Bull. Liaison Laboratoires Ponts et Chaussées. p. 65-77, 1987.

SCALLY, F, SLAYMAKER, O, Owens I. Morphometric controls and basin response in the Cascade Mountains. **Geografiska Annaler** 83^a (3): 117– 130. 2001.

SELBY, M. J. Hillslope materials and processes, **Oxford Press**, 1982.

SESTINI, M. F.; FLORENZANO, T. G. Caracterização de cicatrizes de deslizamentos por processamento de dados TM Landsat em Caraguatatuba-SP. São Paulo, USP, **Geol. USP Sér. Cient.** v.4, n.2, p. 57-69, outubro de 2014.

SCHUMM, S. A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. **Geol. Soc. Am. Bull.**, 67, 597–646, 1956a.

SIDLE, R. C.; PEARCE, A. J.; O'LOUGHLIN C. L. Hillslope stability and land use. Washington, D. C.: **Water resources monograph series** (11), p. 140, 1985.

TAKAHASHI, T. Estimation of potential debris flows and their hazardous zones: soft countermeasures for a disaster. **Journal of Natural Disaster Science**, vol. 3, n° 1, p. 57-89, 1981.

TAKAHASHI, T. Debris Flows. International Association for Hydraulic Research (IAHR), **Monograph Series**. Published: A.A.BALKEMA/ROTTERDAM/1991. 164p, 1991.

TAKAHASHI, T. Japan-China Joint Research on the Prevention from Debris Flow Hazards. Intern. **Scientific Research Program**, n° 03044085. March/1994-Kyoto University, p. 100-113. 1994.

UJUETA, G.; MOJICA, J. Fotointerpretación y Observaciones de Campo del Flujo de Escombros de Noviembre 13 de 1985 en Armero (Tolima, Colombia). **Geologia Colombiana, Santafé de Bogotá**.19, p.5-27, 1995.

VAN STEIJN, H. Debris-flow magnitude-frequency relationships for mountainous regions of Central and Northwest Europe. **Geomorphology**, v. 15, p. 259-273, 1996.

VARGAS, M. Slope stability, Discussion, Theme 3.2. In: **International Conference on tropical lateritic and saprolitic soils**, 1, Brasília. Proceedings, V3, p.379-381; 391-392, 1985.

VARNES, D.J. Landslide Types and Processes. In: Eckel, E.B. (editor) - Landslides and Engineering Practice. **Highway Research Board**. Special Report 20-1958. Publication 544. NAS/NRC. p.20-47.

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.

WILFORD, D. J.; SAKALS, M. E.; INNES, J. L.; SIDLE, R. C.; BERGERUD, W. A. Recognition of debris flow, debris flood and flood hazard through watershed morphometrics. **Landslides**, v. 1, p. 61-66, 2004.

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

YILDIZ, O. An investigation of the effect of dranaige density on hydrologic response. **Turkish Journal Engineering Environment Sciences**. V. 28, p. 85-94, 2004.