

ANÁLISE FISIAGRÁFICA DA OCORRÊNCIA DE FLUXOS DE DETRITOS (DEBRIS-FLOW): O CASO DO EVENTO DE 1967 (BACIA HIDROGRÁFICA SANTO ANTÔNIO, CARAGUATATUBA, SP)

Claudia Vanessa dos Santos Corrêa ¹; Fábio Augusto Gomes Vieira Reis ²; Lucília do Carmo Giordano ³; Victor Carvalho Cabral ⁴; Vinícius Queiroz Veloso ⁵; Murilo Zaine Curtolo ⁶

Resumo – Fluxos de detritos são processos hidrogeomorfológicos que se desenvolvem ao longo de redes de drenagem e envolvem fluidos densos, compostos por materiais de diferentes granulometrias e composições, bem como quantidades variáveis de água, identificados como processos naturais constituintes da dinâmica e da modelagem da paisagem. Possuem extenso raio de alcance, altas velocidades, altas vazões de pico e elevada capacidade de erosão e força de impacto. As áreas mais susceptíveis a ocorrência desses processos no Brasil estão situadas no sopé da Serra do Mar, da Serra da Mantiqueira e da Serra Geral, e no Litoral Norte do Estado de São Paulo foi registrado um grande evento de escorregamentos e fluxos de detritos generalizados em 1967 que afetou a região de Caraguatatuba e São Sebastião. O objetivo deste trabalho é de analisar os atributos e características fisiográficas que levaram à ocorrência de fluxos de detritos em Caraguatatuba (SP) em março de 1977, com foco na bacia hidrográfica Santo Antônio, a qual registrou os maiores acúmulos pluviométricos entre 17 a 18/03/1967. Os locais em contato direto com planícies fluviais, especialmente as mais encaixadas, são aqueles que registraram maior ocorrência de fluxos de detritos e as zonas de deposição dão-se preferencialmente em regiões de baixa declividade.

Abstract – Debris flows are hydrogeomorphological processes that develop along drainage networks and involve generally dense fluids, compose of materials of different granulometries and compositions, as well as variable amounts of water, identified as natural processes that constitute the dynamics and the modeling the landscape. They are characterized by long-range, high speeds, high peak flows, high erosion capacity, and impact force. The areas most susceptible to the occurrence of these processes in Brazil are in the foothills of the Serra do Mar, Serra da Mantiqueira and Serra Geral, and on the north coast of São Paulo State, there was a great event of landslides and debris flows in 1967 which affected the region of Caraguatatuba and São Sebastião. The objective of this research is to analyze the attributes and physiographic characteristics that led to debris-flow occurrence in Caraguatatuba (State of São Paulo) in March of 1967, focusing on the Santo Antônio Basin, which recorded the highest rainfall between 03/17 to 03/18/1967. The places in direct contact with floodplains, especially the more embedded ones, are the ones that registered the highest debris-flow occurrence, and the deposition zones occur preferentially in regions of the low declivity.

Palavras-Chave – Serra do Mar; Fluxos de detritos; Declividade; Hipsometria; Parâmetros morfométricos.

¹ Ecóloga, Geógrafa, PhD, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", campus de Rio Claro, (12) 99164-2674, claudia.correa@unesp.br

² Eng. Civil, Geólogo, PhD, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", campus de Rio Claro, (19) 98155-8004, fabio.reis@unesp.br

³ Ecóloga, Eng. Ambiental, PhD, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", campus de Rio Claro, (19) 99788-8821, lcg@ecogeologia.com.br

⁴ Geólogo, MSc, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", campus de Rio Claro, (12) 99632-0186, victor.carvalho@unesp.br

⁵ Geógrafo, MSc, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", campus de Rio Claro, (11) 95358-1049, vinicius.veloso@unesp.br

⁶ Geólogo, MSc, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", campus de Rio Claro, (19) 98146-5234, murilo.zaine@unesp.br

1. INTRODUÇÃO

Os fluxos de detritos são processos hidrogeomorfológicos que se desenvolvem ao longo de redes de drenagem e envolvem fluidos densos, compostos por materiais de diferentes granulometrias e composições, bem como quantidades variáveis de água, identificados como processos naturais da dinâmica e da modelagem da paisagem (TAKAHASHI, 2014). Devido a essas características, somadas ao seu alto raio de alcance, mesmo em áreas planas, altas velocidades e altas vazões de pico, os fluxos de detritos possuem elevada capacidade de erosão e força de impacto, o que lhe conferem um grande poder destrutivo, e, portanto, são enquadrados como processos de alto fator de risco, que podem causar perda de vidas e consideráveis danos físicos à infraestrutura e ao meio ambiente (MASSAD et al., 1997; GRAMANI, 2001; LIU; LEI, 2003; WILFORD et al., 2004; NETTLETON et al., 2005; FUCHS et al., 2007; BEGUERIA et al., 2009; LIN et al., 2012; DOWNLING; SANTI, 2014; GRAMANI, 2015; KANG; LEE, 2018).

Sua ocorrência e deflagração é favorecida por um conjunto de condicionantes fisiográficas que permitem a sua formação e o seu desenvolvimento, resumidos de maneira geral a uma abundante fonte de partículas e detritos de solos e/ou rocha inconsolidados, à presença de encostas ou talvegues íngremes (acima de 25^o), à fonte abundante de água e à vegetação esparsa (TAKAHASHI, 1981; COSTA, 1984; GRAMANI, 2001; RICKENMANN; ZIMMERMANN, 1993; JAKOB; HUNGR, 2005; NETTLETON et al., 2005).

Como os fluxos de detritos possuem caráter hidrodinâmico, as características morfométricas das bacias hidrográficas também se configuram como importantes fatores na magnitude, potencialidade e deflagração desses processos (AUGUSTO-FILHO, 1993; JAKOB, 1996; DE SCALLY et al., 2001; WILFORD et al., 2004; CHEN; YU, 2011). Outros autores também ressaltam as características de uso e ocupação da terra como um fator que potencializa e acelera sua deflagração, pois atividades antrópicas como a supressão da vegetação, cortes e escavações no terreno e construção de drenagens artificiais são fatores geralmente agravantes que contribuem para o desenvolvimento de escorregamentos, processos que são fonte de materiais a serem mobilizados nos fluxos de detritos (WENSHOU; CUNHAI, 1992, RIVERA-POMÉS, 1994; VIEIRA et al., 1997; GRAMANI et al., 2005).

O respectivo fenômeno ocorre de maneira natural nas regiões serranas e montanhosas, geralmente associadas a índices pluviométricos elevados e, em cerca de 50 países são muito frequentemente observados (MIDRIAK, 1985; GRAMANI, 2001; TAKAHASHI, 2014). Collins e Znidarcic (1997) salientam que em áreas tropicais e costeiras são comuns os movimentos de massa na forma de rápidos fluxos de detritos, causando enorme destruição na sua trajetória, envolvendo diversos tipos de solos e ambientes geológicos.

No Brasil, as áreas mais susceptíveis a sua ocorrência são aquelas situadas no sopé da Serra do Mar, da Serra da Mantiqueira e da Serra Geral, estendendo-se desde a região Sul até a região Norte. No município de Caraguatatuba, no Litoral Norte do Estado de São Paulo, em 18 de março de 1967 ocorreu um dos mais expressivos movimentos de massa registrados no Estado e no Brasil, ocasionado por fortes chuvas que assolaram a região, associado ao relevo escarpado da Serra do Mar, ocasionando danos sociais, econômicos e ambientais vultosos, com muitas perdas de vidas humanas (CRUZ, 1974; IPT, 1987; GRAMANI, 2001; NERY, 2016). Um acumulado pluviométrico de 586 mm em 3 dias deflagrou vários escorregamentos nas encostas dos morros e da Serra do Mar, cujos materiais alcançaram inúmeras drenagens e produziram processos de fluxos de detritos na área urbana de Caraguatatuba (CRUZ, 1974; IPT, 1988; CRUZ, 2000; GRAMANI, 2001; NERY, 2016; CORRÊA et al., 2021). Devido à ocupação desordenada e ao quadro atual de mudanças climáticas, a ocorrência das corridas tem aumentado no Brasil nos últimos anos, sobretudo nas áreas serranas, o que demanda um maior conhecimento sobre os fatores que desencadeiam esses processos e os locais com potencialidade a sua geração (LARS 2004; DI et al., 2008; KOBIYAMA et al., 2010; GRAMANI, 2015; NERY, 2016).

Considerando essas premissas, este trabalho objetiva analisar os atributos e características fisiográficas que levaram à ocorrência de fluxos de detritos em Caraguatatuba (SP) em 1977, com foco na bacia hidrográfica Santo Antônio, a qual registrou os maiores acúmulos pluviométricos entre 17 a 18/03/1967.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

A Bacia Hidrográfica do Rio Santo Antônio está inserida em um trecho da Serra do Mar e deságua suas drenagens em uma grande planície aluvial e costeira, localizada no município de Caraguatatuba (SP) (Figura 1). O Rio Santo Antônio, seu principal curso d'água, nasce na porção serrana e deságua no Oceano Atlântico, percorrendo a zona urbana do município por cerca de 6 km e possui vários afluentes, como o Ribeirão do Ouro, o Mantegueira e o córrego Quinhentos Réis. O trecho mais a montante da bacia é caracterizado por encostas particularmente íngremes da Serra do Mar, enquanto a porção a jusante tem como principais feições uma área muito plana e urbanizada, em crescente processo de expansão (SAKAI et al., 2013).

A região da Serra do Mar é conhecida por ser uma área muito propensa à ocorrência de escorregamentos e corridas de detritos, devido ao clima quente e úmido local e suas encostas íngremes (CRUZ, 1974; IPT, 1988, LACERDA; SILVEIRA, 1992; CRUZ, 2000; CERRI et al., 2018).

A geologia da Bacia de Santo Antônio compreende rochas neoproterozóicas, como gnaisses, migmatitos, gnaisses migmatíticos, granitos, xistos e quartzitos, com orientação estrutural predominante NE-SW (ALMEIDA, 1964; CHIEREGATI et al., 1982; CERRI et al., 2018). A porção inferior é composta por sedimentos não consolidados como areias, siltes, argilas e cascalhos fluviais, além de sedimentos coluviais e areias de deposição praiana, marinha e fluviomarinha (CHIEREGATI et al., 1982).

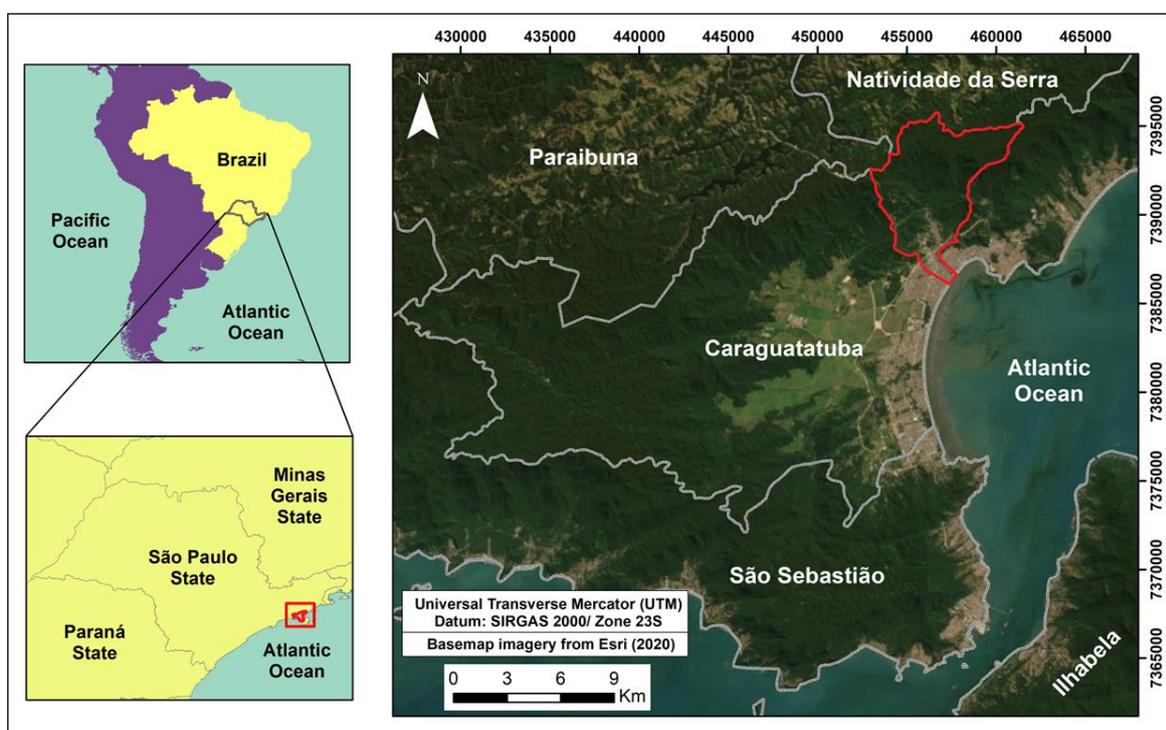


Figura 1. Localização da área de estudo (destacada em vermelho).

Sob a ótica geomorfológica, as feições de relevo variam de morros a serras sob as rochas cristalinas, com modelado bastante dissecado, encostas íngremes e alta densidade de drenagem associadas com as falhas, fraturas e contatos litológicos na unidade morfoescultural classificada como Planalto Atlântico (CRUZ, 1974; 1975; ROSS; MOROZ, 1997, VIEIRA; GRAMANI, 2015). O *front* da Serra do Mar, classificado como Serrania Costeira, possui altitudes de até 1200 metros e apresenta feições como escarpas festonadas, espigões, serras alongadas, morros paralelos e morros isolados. A porção costeira insere-se na unidade Zona da Baixada Litorânea, representada por relevos baixos com altitudes inferiores a 70 metros sob os sedimentos inconsolidados, com a presença de elevações que separam pequenas planícies e enseadas na forma de morros isolados

em corpos insulares granítico-gnáissicos e rampas de colúvio e tálus no sopé das encostas (CRUZ, 1974; CRUZ, 1990; CHIEREGATI et al., 1982).

A região da Serra do Mar é uma das regiões mais úmidas do Brasil, com precipitação anual de 1784 a 2000 mm e temperatura média anual de 27°C (CRUZ, 1974), cujo bioma associado a essas condições climáticas é a Mata Atlântica, caracterizada por uma floresta tropical densa e heterogênea.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Quanto à base cartográfica, foi utilizada a carta topográfica da Folha Caraguatatuba (SF-23-Y-D-VI-1) (IBGE 1974) em escala 1:50.000 e com equidistância de 20 metros entre as curvas de nível, elaboradas e vetorizadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Ademais, o mapa geológico em escala 1:50.000 da folha Caraguatatuba (CPRM 1982) foi adquirido para subsidiar a etapas de compartimentação fisiográfica.

Quanto aos dados de sensoriamento remoto, foram utilizadas ortofotos da Emplasa (2011) em escala 1:10.000 e fotografias aéreas de 1973 em escala 1:25.000, cuja resolução espacial é 1 m² e 1,5 m², respectivamente.

Em ambiente *GIS* (*ArcGIS 10.2.2*), as respectivas curvas e drenagens da carta foram georreferenciadas e incorporadas ao banco de dados digital, bem como o mapa geológico, cujas unidades litológicas foram vetorizadas. A partir das curvas de nível e da aplicação em cadeia das ferramentas de geoprocessamento “*Create TIN*”, “*Tin to Raster*” e “*Slope*”, foram elaborados o Modelo Digital do Terreno (MDT) e o mapa de declividade, que auxiliaram na delimitação das unidades fisiográficas e no cálculo dos parâmetros morfométricos

Destaca-se que de modo a padronizar e permitir correlações entre os dados produzidos, o datum SIRGAS2000/ zona 23S foi estabelecido para todos os materiais cartográficos.

3.1. COMPARTIMENTAÇÃO FISIOGRÁFICA

A compartimentação fisiográfica agrupa os elementos constituintes do meio físico de acordo com suas semelhanças e diferenças, através da divisão de uma determinada região em áreas que apresentem, internamente, características fisiográficas homogêneas e distintas das áreas adjacentes (VEDOVELLO, 2000; OLIVEIRA, 2004). Fundamentada em técnicas de sensoriamento remoto, incluindo procedimentos de fotoanálise e fointerpretação, a delimitação das unidades fisiográficas parte da análise das propriedades texturais (relevo, forma e estrutura de drenagem) do meio a ser investigado (CARDOSO et al., 2009; SILVA et al., 2010, ZAINE, 2011, CERRI et al., 2018).

O método de compartimentação fisiográfica adotado neste trabalho é pautado na análise fotogeológica de Zaine (2011) e reúne, dentre outras características, critérios geomorfológicos e geológicos fundamentais que contribuem na deflagração de fluxos de detritos, tais como densidade de drenagem, amplitude altimétrica, declividade, forma do vale e forma da encosta, características do manto de alteração e relação de escoamento superficial/ infiltração, o que permite identificar áreas com maior possibilidade à ocorrência desses processos.

A delimitação das unidades fisiográficas foi realizada em escala 1:50.000 com o auxílio das ortofotos da Emplasa (2011), do Modelo Digital do Terreno (MDT), do mapa de declividade, do mapa geológico e da base cartográfica em ambiente *GIS*.

Adicionalmente, foram mapeados os depósitos de fluxos de detritos do evento ocorrido em 1967 na região, de modo a identificar quais sub-bacias foram mais afetadas por esses processos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram identificadas na área de estudo sete unidades fisiográficas em escala 1:50.000, que subsidiaram o entendimento dos aspectos geológicos e geomorfológicos da Serra do Mar quanto a sua potencialidade a processos de fluxos de detritos (Figura 2). Distribuídas no Planalto Atlântico e na Serrania Costeira, as unidades fisiográficas interpretadas e delimitadas foram:

1. Unidade IA - Planícies costeiras: sedimentos fluviomarinheiros em planícies, áreas predominantemente planas, com baixa densidade de drenagem e vales abertos. Locais com baixo potencial a escorregamentos e médio potencial a fluxos de detritos.

2. Unidade IB – Planícies fluviais: sedimentos de deposição fluvial em planícies, áreas predominantemente planas, com baixa densidade de drenagem e vales abertos. Locais com baixo potencial a escorregamentos e alto potencial a fluxos de detritos.

3. Unidade II – Rampas de colúvio e tálus: sedimentos coluvionares e corpos de tálus na baixa encosta, áreas com média declividade, baixa densidade de drenagem e encostas convexas. Locais com alto potencial a escorregamentos e fluxos de detritos devido à abundância de materiais passíveis a serem mobilizados.

4. Unidade III – Escarpas da Serra do Mar e espigões digitados: granitos e gnaisses em relevo escarpado, média a alta densidade de drenagem, altas declividades, vales fechados e encostas côncavas a retilíneas. Locais com alta potencialidade a escorregamentos e média potencialidade a fluxos de detritos (pode ocorrer principalmente em áreas próximas a drenagens em vales fechados).

5. Unidade IV – Planalto de Paraitinga: gnaisses migmatíticos em relevo de morros, média densidade de drenagem, médias declividades, vales fechados, encostas côncavas e topos arredondados. Locais com médio potencial ao desenvolvimento de escorregamentos e baixo potencial à ocorrência de fluxos de detritos.

6. Unidade V – Relevo montanhoso: gnaisses migmatíticos em relevo montanhoso, média densidade de drenagem, médias declividades, vales fechados, encostas côncavas a retilíneas e topos arredondados a angulosos. Locais com médio potencial ao desenvolvimento de escorregamentos e médio potencial à ocorrência de fluxos de detritos.

7. Unidade VI – Mares de morro: granitos gnáissicos em relevo de morros, média densidade de drenagem, médias declividades, vales fechados, encostas côncavas e topos arredondados. Locais com médio potencial ao desenvolvimento de escorregamentos e médio potencial à ocorrência de fluxos de detritos.

A Figura 3 exhibe os resultados obtidos no mapeamento dos depósitos de fluxos de detritos do evento ocorrido em 1967 na Bacia Hidrográfica Santo Antônio.

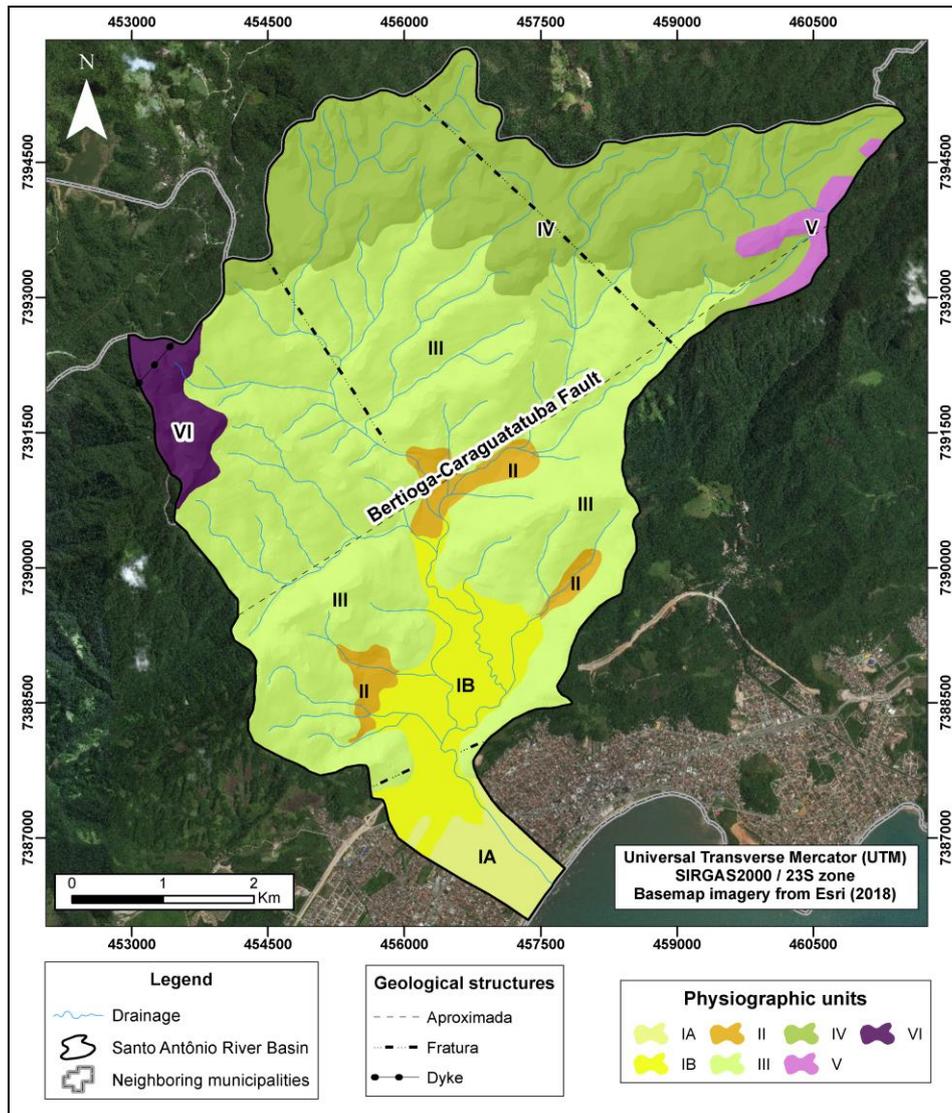


Figura 2. Unidades fisiográficas da área de estudo.

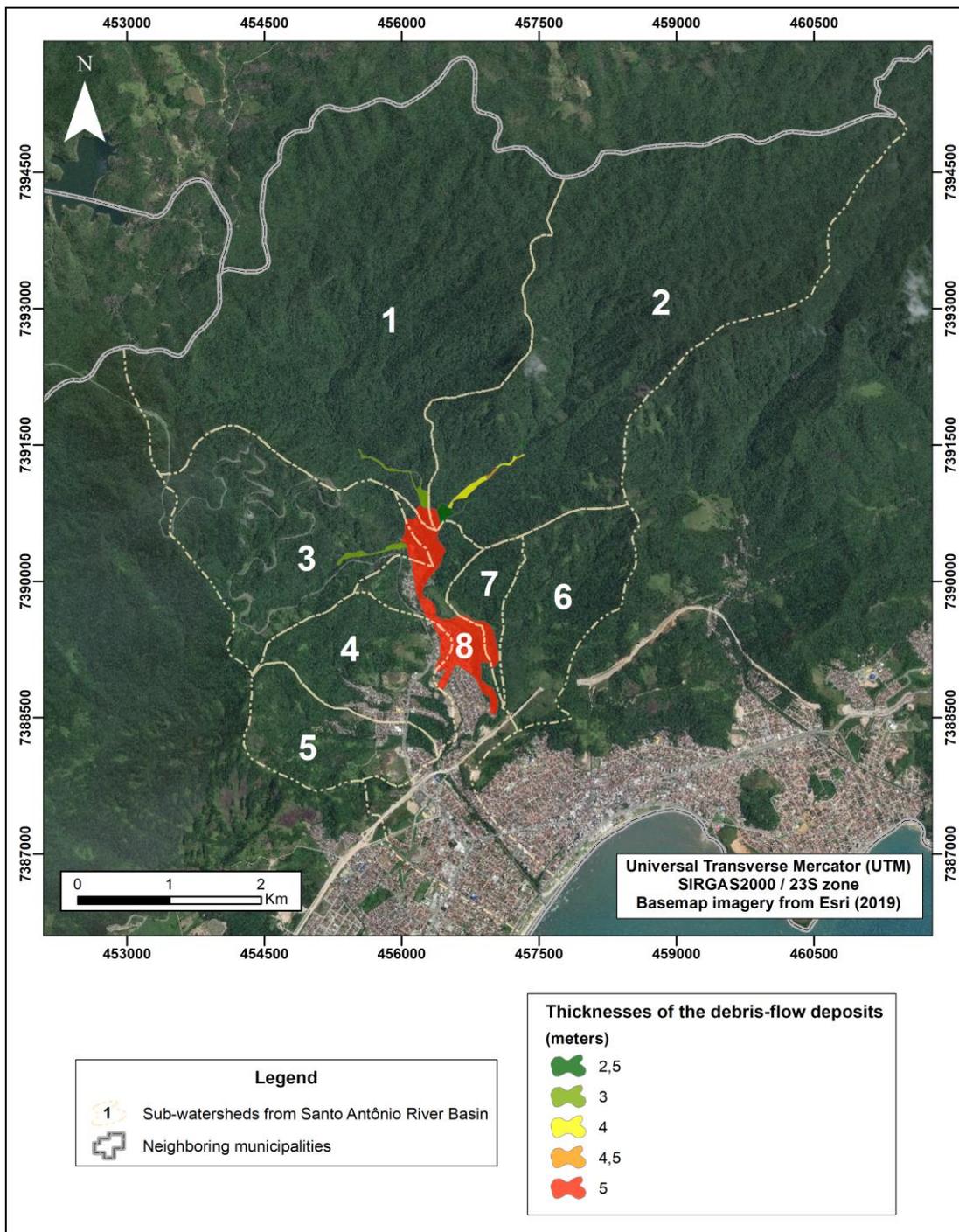


Figura 3. Áreas de depósito de fluxos de detritos do evento de 18/03/1967 na Bacia Hidrográfica Santo Antônio (Caraguatuba, SP).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O método de compartimentação fisiográfica viabilizou a avaliação de modo integrado dos componentes do meio físico em relação à ocorrência de fluxos de detritos na Bacia Santo Antônio em 18/03/1967. Assim, é evidente a contribuição das variáveis morfológicas ora das bacias hidrográficas, ora dos canais de drenagem.

Pelo método de compartimentação fisiográfica empregado, as sub-bacias situadas em porções escarpadas do relevo, com altas declividades, vales e canais encaixados, elevadas densidades de drenagem apresentam maiores valores nos parâmetros morfométricos, o que indica uma maior potencialidade à deflagração e ocorrência desse processo.

Em síntese, a análise conjunta da compartimentação fisiográfica com identificação de feições do relevo, como a declividade, a amplitude, as formas do vale e da encosta e possui extrema relevância na identificação de bacias hidrográficas suscetíveis a fluxos de detritos, por integrar e correlacionar aspectos do meio físico considerados deflagradores na ocorrência desses processos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Petrobras e ao CNPq pelo fomento à pesquisa e às bolsas de pesquisa de pós-doutorado concedidas e ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Unesp Rio Claro pelo suporte oferecido.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA FFM. 1964. Fundamentos Geológicos do Relevo Paulista. Boletim do Instituto de Geografia e Geologia 41: 169-263.
- ARAÚJO FILHO HA, CRUZ PT, MASSAD F, KANJI MA. 1998. Debris flow as natural hazards affecting a large refinery at Cubatão, São Paulo, Brazil. In: WORLD CLEAN AIR AND ENVIRONMENT CONGRESS, 11., Durban, South Africa. Proceedings ... , Durban: IUAPPA/ NACA, v. 3, p. 1-6.
- AUGUSTO FILHO O. 1993. 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 E AMBIENTAL, 7., Poços de Caldas. Proceedings ... , Poços de Caldas: ABGE, v. 2, p. 63-72.
- BEGUERIA S, VAN ASCH TWJ, MALET JP, GRONDAHL SA. 2009. GIS-based numerical model for simulating the kinematics of mud and debris flows over complex terrain. Natural Hazards and Earth System Sciences 9: 1897–1909.
- CERRI RI, REIS FAGV, GRAMANI M, GABELINI BM, ZAINÉ JE, SISTO FP, GIORDANO LC. 2018. Análise da influência de atributos fisiográficos e morfométricos na definição da suscetibilidade de bacias hidrográficas à ocorrência de corridas de massa. Geologia USP (Série Científica) 18: 35-50.
- CERRI RI, REIS FAGV, GRAMANI M, ROSOLEN V, LUVIZOTTO GL, GIORDANO LC, GABELINI BM. 2018. Assessment of landslide occurrences in Serra do Mar mountain range using kinematic analyses. Environmental Earth Sciences 77: 325.
- CHIEREGATI LA, THEODOROVICZ AMG, THEODOROVICZ A, MENEZES RG, CHIODI FILHO C, RAMALHO R. 1982. Projeto folhas Natividade da Serra e Caraguatatuba: Relatório Final. São Paulo. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, Diretoria da Área de Pesquisas. Superintendência Regional de São Paulo.
- COLLINS B AND ZNIDARCIC D. 1997. Triggering Mechanisms of Rainfall Induced Debris Flows. In: PAN-AMERICAN SYMPOSIUM ON LANDSLIDES, 2., Rio de Janeiro. Proceedings ... , Rio de Janeiro: ABMS, ABGE and ISSMGE, p. 277-286.
- COSTA JE. 1984. Physical Geomorphology of Debris Flows. In: COSTA JE AND FLEISHER PJ. (Ed), Developments and Applications of Geomorphology, Berlim: Springer-Verlag. Cap. 9, p. 268-317.
- CPRM - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. Geological map of Caraguatatuba

- Sheet. SF-23-Y-D-VI-1. São Paulo: CPRM, 1982a. 1:50,000 scale.
- CRUZ O. 1974. A Serra do Mar e o litoral na área de Caraguatatuba-SP – contribuição à geomorfologia litorânea tropical. PhD. Thesis, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brazil, 181 p.
- CRUZ O. 1975. Evolução de vertentes nas escarpas da Serra do Mar em Caraguatatuba - SP. Anais da Academia Brasileira de Ciências 47(Supl): 474–480.
- CRUZ O. 2000. Studies on the geomorphic processes of overland flow and mass movements in the Brazilian geomorphology. Revista Brasileira de Geociências 30: 504–507.
- CRUZ PT, MASSAD F. 1997. Debris Flows: An attempt to define design parameters. In: SYMPOSIUM ON RECENT DEVELOPMENT IN SOIL MECHANICS AND PAVEMENT MECHANICS, 6., Rio de Janeiro. Proceedings ..., Rotterdam: Balkema, p. 409-414.
- CRUZ PT, MASSAD F, KANJI MA, ARAÚJO FILHO HA. 1999. Obras de preservação ambiental em encostas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA, 3., Florianópolis. Proceedings ..., São Paulo: ABGE, 10 p.
- CRUZ PT, MASSAD F, KANJI MA, ARAÚJO FILHO HA. 2000. Debris Flows in Serra do Mar, Cubatão, Brazil: Control Works and Design Parameters. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON DEBRIS FLOW DISASTER OF DECEMBER 1999 IN VENEZUELA, 1., Caracas. Proceedings ... , Caracas: JIFI, 10 p.
- DI BF, CHEN NS, CUI P, LI ZL, HE YP, GAO YC. 2008. GIS-based risk analysis of debris flow: an application in Sichuan, southwest China. International Journal of Sediment Research 23: 138–148.
- DIAS VC, VIEIRA BC, GRAMANI MF. 2016. Parâmetros morfológicos e morfométricos como indicadores da magnitude das corridas de detritos na Serra do Mar Paulista. Confins 29.
- EMPLASA - EMPRESA PAULISTA DE PLANEJAMENTO METROPOLITANO S/A. 2011. Projeto Mapeia São Paulo – Vale do Paraíba e Litoral Norte. Orthophotos 2011. 1:10,000 scale. São Paulo: EMLASA.
- FUCHS S, HEISS K, HÜBL J. 2007. Towards an empirical vulnerability function for use in debris flow risk assessment. Natural Hazards and Earth System Science 7: 495-506.
- GRAMANI MF. 2001. Caracterização geológica-geotécnica das corridas de detritos (“Debris Flows”) no Brasil e comparação com alguns casos internacionais. MSc. Thesis, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brazil, 372 p.
- GRAMANI MF. 2015. A corrida de massa no Córrego Guarda-Mão, município de Itaoca (SP): impacto e observações de campo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 15., Bento Gonçalves. Proceedings ..., Bento Gonçalves: ABGE, 10 p.
- GRAMANI MF, OLIVITO JPR, AUGUSTO FILHO O, MAGALHÃES, FS. 2005. Análise da potencialidade de geração de corridas de massa nos trechos serranos do duto OSBAT. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 11., Florianópolis. Proceedings ... , São Paulo: ABGE, p. 1350-1365.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 1974. Caraguatatuba Sheet. SF-23-Y-D-VI-1. São Paulo: IBGE, 1974. 1:50,000 scale.
- IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. 1987. Estudos da instabilização de encostas da Serra do Mar na Região de Cubatão, objetivando a caracterização do fenômeno “corrida de lama” e a prevenção de seus efeitos. Relatório IPT, 25258. (in Portuguese).
- IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. 1988. Estudos da instabilização de encostas da Serra do Mar na Região de Cubatão, objetivando a caracterização do fenômeno “corrida de lama” e a prevenção de seus efeitos. Relatório IPT, 26258. (in Portuguese).
- KANG S AND LEE SR. 2018. Debris flow susceptibility assessment based on an empirical approach in the central region of South Korea. Geomorphology 308: 1-12.
- KOBIYAMA M, GOERL RF, CORREA GP, MICHEL GP. 2010. Debris flow occurrences in Rio dos Cedros, Southern Brazil: meteorological and geomorphic aspects. In: WRACHIEN D AND BREBBIA CA (Eds.), Monitoring, Simulation, Prevention and Remediation of Dense and Debris Flows III. Southampton: WIT Press, p. 77–88.
- LACERDA WA, SILVEIRA GC. 1992. Características de resistência ao cisalhamento e de compressibilidade dos solos residuais e coluvionares da encosta do Soberbo, RJ. In: COBRAE - CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 1., Rio de Janeiro. Proceedings ... , Rio de Janeiro: ABMS/ABGE, p 445–461. (in Portuguese).

- LARS HR. 2004. Relationships between accident investigations, risk analysis, and safety management. *Journal of Hazardous Materials* 111: 13-19.
- LIN JW, CHEN C, PENG CY. 2012. Potential hazard analysis and risk assessment of debris flow by fuzzy modeling. *Natural Hazards* 64: 273–282.
- LIU X, LEI J. 2003. A method for assessing regional debris flow risk: an application in Zhaotong of Yunnan province (SW China). *Geomorphology* 52: 181-191.
- MA C, DENG J, WANG R. 2018. Analysis of the triggering conditions and erosion of a runoff-triggered debris flow in Miyun County, Beijing, China. *Landslides* 15:2475-2485.
- MASSAD F, CRUZ PT, KANJI MA. 1997. Comparison between estimated and measured debris flow discharges and volume of sediments. In: PAN-AMERICAN SYMPOSIUM ON LANDSLIDES, 2., Rio de Janeiro. Proceedings ... , Rio de Janeiro: ABMS, ABGE and ISSMGE, p. 213-222.
- MIDRIAK R. 1985. Debris Flow and their occurrence in the Czechoslovak High Mountain West Carpathians. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON EROSION, DEBRIS FLOW AND DISASTER PREVENTION, 1., Tsukuba. Proceedings ... , p. 175-180.
- MÜLLER CV. 1953. A quantitative geomorphic study of drainage basins characteristic in the Clinch Mountain area. Technical Report, Department of Geology, Columbia University, 1983 p.
- NERY TD. 2016. Dinâmica das corridas de detritos no Litoral Norte de São Paulo. PhD. Thesis, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brazil, 164 p. (in Portuguese).
- NETTLETON MI, MARTIN S, HENCHER S, MOORE R. 2005. Debris flow types and mechanisms. In: WINTER MG ET AL. (Eds.), *Scottish Road Network Landslides Study*, Edinburgh: Scottish Executive, p. 45–67.
- OLIVEIRA TA. 2004. Compartimentação fisiográfica aplicada à avaliação de terrenos - subsídio ao planejamento territorial do município de Cananéia-SP. MSc. Thesis, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro, Brazil, 118 p. (in Portuguese).
- RIVERA POMÉS CH. 1994. Desenvolvimento de um modelo conceitual para simulação de uma avalanche de detritos (Debris Flow) qualquer. PhD. Thesis, Universidade de São Paulo, USP, São Paulo, 139 p.
- ROSS JLS AND MOROZ IC. 1997. Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo. USP/IPT/FAPESP. 1:500,000 Scale. (in Portuguese).
- SAKAI RO, CARTACHO DL, ARASAKI E, ALFREDINI P, PEZZOLI A, SOUSA JÚNIOR WC, ROSSO M, MAGNI L. 2013. Extreme Events Assessment Methodology Coupling Debris Flow, Flooding and Tidal Levels in the Coastal Floodplain of the São Paulo North Coast (Brazil). *International Journal of Geosciences* 4: 30-38.
- SILVA PCF, VEDOVELLO R, FERREIRA CJ, CRIPPS JC, BROLLO MJ, FERNANDES AJ. 2010. Geo-environmental mapping using physiographic analysis: constraints on the evaluation of land instability and groundwater pollution hazards in the Metropolitan District of Campinas, Brazil. *Environmental Earth Sciences* 61(8): 1657-1675.
- TAKAHASHI T. 1981. Estimation of potential debris flows and their hazardous zones: soft countermeasures for a disaster. *Journal of Natural Disaster Science* 3: 57–89.
- TAKAHASHI T. 2014. *Debris flow: mechanics, prediction and Countermeasures*. London: Taylor & Francis Group, 572 p.
- VEDOVELLO R. 2000. Zoneamentos Geotécnicos Aplicados à Gestão Ambiental, a partir de Unidades Básicas de Compartimentação – UBCs. PhD. Thesis, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro, Brazil, 154 p. (in Portuguese).
- VIEIRA BC AND GRAMANI MF. 2015. Serra do Mar: The most “tormented” relief in Brazil, In: VIEIRA CB et al. (Eds.), *Landscapes and landforms of Brazil*, Berlin: Springer, p. 285–297.
- VIEIRA BC, VIEIRA ACF, FERNANDES NF, AMARAL CP. 1997. Estudo comparativo dos movimentos de massa ocorridos em fevereiro de 1996 nas bacias do Quitite e do Papagaio (RJ): uma abordagem geomorfológica. In: PANAMERICAN SYMPOSIUM ON LANDSLIDES, 2., Rio de Janeiro. Proceedings ... , Rio de Janeiro: COBRAE, p. 165- 164.
- ZAINE JE. 2011. Método de fotogeologia aplicado a estudos geológico-geotécnicos: ensaio em Poços de Caldas, MG. Thesis, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro, Brazil, 104 p. (in Portuguese).