

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

CAMILLA PEREIRA CAPELLA

**Avaliação das dinâmicas de transporte e de deposição (*Runout*) de
escorregamentos rasos na Serra do Mar Paulista**

São Paulo

2022

CAMILLA PEREIRA CAPELLA

**Avaliação das dinâmicas de transporte e de deposição (*Runout*) de
escorregamentos rasos na Serra do Mar Paulista**

Trabalho de Graduação Integrado (TGI) apresentado ao
Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia,
Letras e Ciências Humanas, da Universidade de São
Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de
Bacharel em Geografia.

Área de Concentração: Geografia Física

Orientador: Profa. Dra. Bianca Carvalho Vieira

São Paulo

2022

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catalogação na Publicação
Serviço de Biblioteca e Documentação
Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo

Ca Capella, Camilla Pereira
Avaliação das dinâmicas de transporte e de deposição (Runout) de escorregamentos rasos na Serra do Mar Paulista / Camilla Pereira Capella; orientador Bianca Carvalho Vieira - São Paulo, 2021.
55 f.

TGI (Trabalho de Graduação Individual)- Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo. Departamento de Geografia.

1. Cicatrizes de Escorregamentos. 2. Runout. 3. Curvatura. 4. Ângulo das encostas. I. Vieira, Bianca Carvalho , orient. II. Título.

Nome: CAPELLA, Camilla Pereira

Título: Avaliação das dinâmicas de transporte e de deposição (*Runout*) de escorregamentos rasos na Serra do Mar Paulista

Trabalho de Graduação Individual apresentado ao Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo para a obtenção de título de Bacharela em Geografia.

Banca Examinadora

Prof^a. Dr^a. _____ Instituição _____

Julgamento _____ Assinatura _____

Prof^a. Dr^a. _____ Instituição _____

Julgamento _____ Assinatura _____

Prof^a. Dr^a. _____ Instituição _____

Julgamento _____ Assinatura _____

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo financiamento a esta pesquisa (processo FAPESP 2021/05872-2), e a Universidade de São Paulo e o Departamento de Geografia que me proporcionaram as bases necessárias meu desenvolvimento como aluna e como profissional.

Gostaria de agradecer a Prof. Dra. Bianca Carvalho pela orientação e os grandes ensinamentos durante este processo. Também agradeço aos meus colegas do Grupo de Pesquisas de Processos Morfodinâmicos e Ambientais (GPMorfo), que me deram um grande suporte durante esta pesquisa. Agradeço também a todos os amigos que fiz na geografia, que tornaram minha experiência na graduação algo feliz e memorável.

Por fim, gostaria de agradecer a minha família, em especial a minha mãe Leila, e aos meus irmãos, Gabriela, Caio e Rafael, que sempre me apoiaram e me incentivaram a alcançar meus objetivos e realizar meus sonhos.

RESUMO

Os escorregamentos translacionais rasos ocorrem com frequência no Brasil, sobretudo na Serra do Mar. Por conta dos prejuízos sociais e econômicos causados por estes processos, eles têm sido objeto de estudos que buscam identificar a suscetibilidade, o perigo e o risco que podem representar às populações e outros elementos expostos. Dessa forma, o objetivo central desta pesquisa foi avaliar as zonas de transporte e deposição de escorregamentos rasos (*runout*) e sua relação com as características morfométricas das encostas (ângulo e curvatura). De modo a cumprir o objetivo central da pesquisa, foi proposta uma metodologia semiquantitativa com as seguintes etapas: (a) utilização de um inventário de cicatrizes previamente compilado para delimitar as áreas afetadas por escorregamentos na bacia; (b) definição dos parâmetros morfométricos, para observar sua distribuição pela bacia e ao longo cicatrizes; (c) definição dos limiares para o estabelecimento das zonas de ruptura, transporte e deposição para a cicatriz e a elaboração de mapas de trajetória de escorregamentos (*runout*). Os resultados indicaram que as cicatrizes estiveram concentradas no terço superior da bacia. Os mapas de *runout* por sua vez, indicaram que os processos predominantes foram os de transporte e deposição. Neste trabalho foi apresentado um método semiquantitativo, baseado em duas variáveis topográficas e na definição dos limiares para as zonas de ruptura transporte e deposição, cujos resultados foram satisfatórios, e podem contribuir para a aplicação de métodos diversos em estudos de suscetibilidade, risco e perigo a escorregamentos rasos.

Palavras – Chave: Cicatrizes de Escorregamentos; Curvatura; Ângulo das encostas; *Runout*.

ABSTRACT

Shallow translational landslides occur frequently in Brazil, especially in Serra do Mar Mountain Range. Due to the social and economic damage caused by these processes, several studies aimed to identify the susceptibility, hazard, and risk they pose to exposed population and other exposed elements. Thus, the main objective of this research was to evaluate the transport and deposition zones of shallow landslides (runout) and their relationship with the slope's morphometric characteristics (slope gradient and curvature). A three-step semi-quantitative methodology steps was proposed: (a) use of a previously compiled landslide inventory to delimit the landslide-affected areas in the basin; (b) definition of thresholds for morphometric parameters, aiming to characterize their distribution throughout the basin; (c) definition of the thresholds for the establishment of zones of rupture, transport and deposition within the landslide scar and the elaboration of landslide runout maps. Results show that the scars were concentrated in the upper third of the basin. Runout maps indicated that the predominant zones were the transport and deposition ones. This research presented a semi-quantitative method, based on two topographic variables and on the definition of thresholds for the identification of the landslides transport and deposition zones, with good. Our proposal may contribute to the application of different methods in for the identification and characterization of landslide susceptibility, hazard and risk.

Keywords: Landslide scars; curvature; Slope Gradient; *Runout*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: (A) Bloco diagrama indicando um escorregamento translacional Raso. Fonte: Highland; Bobriwsky (2008). Escorregamentos translacionais rasos ao longo da bacia do rio Gurutuba, 2014. Fonte: (B) Prefeitura de Itaóca. (C) Gramani, 2015.....	16
Figura 2: Mapa da área de localização da área de estudo.....	22
Figura 3: Mapa da área de localização da área de estudo.....	23
Figura 4: Geomorfologia da Bacia do rio Gurutuba com base na definição elaborada por Ross e Moroz (1996).....	24
Figura 6: Gráfico de distribuição de chuvas ao longo do ano no município de Itaóca, de acordo com a série histórica de 1962 a 2000. Fonte: DAEE (2022).	26
Figura 7: Fluxograma indicando as etapas metodológicas da pesquisa.	27
Figura 8: Ilustração da definição das zonas de ruptura, transporte e deposição conforme a curvatura e o ângulo das encostas.....	30
Figura 9: Elaboração das regras para a definição dos limiares de Runout.	30
Figura 10: Mapa das cicatrizes dos escorregamentos translacionais rasos ocorridos em janeiro de 2014 na bacia do rio Gurutuba e sub-bacia do Alto Gurutuba (B).....	31
Figura 11: Gráfico de frequência e concentração de cicatrizes das classes de Área de Contribuição.....	33
Figura 12: Mapa da Área de Contribuição da Bacia em seu todo, e do terço superior, onde concentram-se as cicatrizes.....	34
Figura 13: Distribuição das classes de ângulo das encostas e concentração de cicatrizes.	35
Figura 14: Mapa do Ângulo de encostas.....	36

Figura 15: Distribuição das classes de curvatura e concentração de cicatrizes.	37
Figura 16: Mapa da Curvatura em perfil das Encostas	38
Figura 17: Distribuição percentual das zonas de ruptura, transporte e deposição do evento de 2014 no terço superior da Bacia do rio Gurutuba.	40
Figura 18: Mapa da trajetória dos escorregamentos de 2014 na bacia do rio Gurutuba.	40
Figura 19: Mapa de probabilidade de Runout (transporte e deposição).....	42
Figura 20: Mapa de probabilidade de Runout (transporte e deposição).....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação dos movimentos de massa de acordo com Augusto Filho (1992). Readaptado de Lopes; Arruda Junior (2015)..... 15

Tabela 2: Métodos empíricos e racionais para a avaliação do Runout. Fonte: Adaptado de Corominas et al. (2014)..... 20

Sumário

1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVO	13
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
3.1 Movimentos de Massa	14
3.2 Inventário de Cicatrizes.....	17
3.3 Parâmetros Morfométricos em estudos de Suscetibilidade	18
3.4 Trajetória dos materiais movimentados (<i>Runout</i>)	19
4. ÁREA DE ESTUDO	22
5. MATERIAIS E MÉTODOS	27
5.1 Inventário de Cicatrizes.....	27
5.2 Definição dos Parâmetros Morfométricos	28
5.3 Definição das áreas de transporte e deposição (<i>runout</i>).	29
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES	31
6.1 Inventário de Cicatrizes.....	31
6.2 Definição dos Parâmetros Morfométricos	34
6.3 Definição dos Parâmetros Morfométricos e Áreas de <i>Runout</i>	39
7. CONCLUSÃO	45
Bibliografia.....	46

1.INTRODUÇÃO

Os movimentos de massa são fenômenos naturais, contínuos e de dinâmica externa que atuam na evolução da paisagem (FERNANDES; AMARAL, 1995). Em geral esses movimentos são desencadeados por conta de instabilidades nas encostas, que podem ser causadas por agentes naturais, como precipitações prolongadas e/ ou intensas, terremotos, ou então, pela ação antrópica (BIERMAN, PAUL R; MONTGOMERY, 2014; CROZIER, 1986).

Os escorregamentos translacionais rasos constituem o tipo de movimento de massa mais comum no Brasil, sobretudo no compartimento geológico - geomorfológico da Serra do Mar, onde ocorrem sob a forma de eventos isolados ou generalizados em diferentes Estados, como de São Paulo (CERRI *et al.*, 2017; DE PLOEY; CRUZ, 1979; KANJI; CRUZ; MASSAD, 2008; MASSAD *et al.*, 2000; SELUCHI; CHOU, 2009; TATIZANA *et al.*, 1975), Rio de Janeiro (AVELAR *et al.*, 2013; BARATA F.E, 1969; COSTA NUNES, 1969; JONES, 1973; MARQUES; COELHO NETTO; SATO, 2018; NETTO *et al.*, 2011), Santa Catarina (VIANNA, 2009), e Paraná (Martins *et al.*, 2017). Na Serra do Mar, a ocorrência desses fenômenos está associada a interação entre eventos pluviométricos de alta intensidade e as características ambientais que favorecem a ocorrência de rupturas (COELHO; GRAMANI; VIEIRA, 2022; GRAMANI, 2015).

Por conta dos prejuízos que esses processos podem causar, eles têm sido o objeto de estudos que buscam identificar a suscetibilidade, o perigo e o risco que podem representar às populações, infraestruturas, e outros elementos expostos, com grande número de pesquisas realizadas na Região da Serra do Mar (BONINI *et al.*, 2020a; CAROU *et al.*, 2017; COELHO; GRAMANI; VIEIRA, 2022; DIAS; DIAS; VIEIRA, 2017; GRAMANI; ARDUIN, 2015; MARTINS *et al.*, 2020; MATOS *et al.*, 2018; VIEIRA; RAMOS, 2015).

Apesar dos estudos já realizados na região terem avançado no entendimento desses processos, estudos orientados para a identificação das

trajetórias potenciais das rupturas (*runout*) são escassos, sendo o mapeamento sistemático das trajetórias, uma lacuna a ser preenchida para produção de mapas de perigo no Brasil (GOMES et al., 2013; GUIMARÃES et al., 2003).

Estudos voltados ao *runout* são de extrema importância uma vez que grande parte das áreas de risco não estão apenas associadas a ruptura, mas a trajetória do material mobilizado, isto é, as zonas de transporte e deposição (*runout*) (VAN WESTEN; VAN ASCH; SOETERS, 2006). Esses estudos podem ser elaborados por meio do mapeamento sistemático das trajetórias, que pode ser feito por meio de métodos empíricos – estatísticos e racionais. Os empírico-estatísticos baseiam-se em análises geomorfológicas, geométricas e em métodos de mudança de volume, quanto que os racionais por sua vez, baseiam-se em análises discretas e contínuas a partir de modelos matemáticos de base física (COROMINAS et al., 2014; VAN WESTEN; VAN ASCH; SOETERS, 2006).

Esses mapas, quando associado aos inventários de cicatrizes e a estudos de suscetibilidade, podem servir como ferramentas para a avaliação do perigo e do risco, e como ferramentas para o planejamento territorial e mitigação dos prejuízos causados (COROMINAS et al., 2003; DI NAPOLI et al., 2021; MCDougall, 2017; VAN WESTEN; VAN ASCH; SOETERS, 2006).

2. OBJETIVO

O objetivo central desta pesquisa foi identificar as zonas de transporte e de deposição dos escorregamentos rasos (*Runout*) a partir das características morfométricas de ângulo e curvatura das encostas. Os seguintes objetivos específicos foram propostos:

- a) Identificar as áreas afetadas pelos escorregamentos rasos e sua distribuição pela bacia;
- b) Estabelecer uma correlação entre a dinâmica de transporte e de deposição dos escorregamentos rasos e as características morfométricas da encosta (ângulo e curvatura).

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Movimentos de Massa

Os movimentos de massa podem ser definidos como movimentos descendentes de material proveniente das encostas, sob a influência da força da gravidade do próprio material, sem a ação direta de gelo, água ou ar. (SUMMERFIELD, 2013).

Existem diversos tipos de movimentos de massa, e por este motivo, a classificação desses fenômenos é feita utilizando como critérios a presença ou ausência de uma superfície de ruptura, o tipo de material mobilizado, o modo de deformação, a velocidade, a geometria e o conteúdo de água (BIERMAN; MONTGOMERY, 2014; CROZIER, 1986; FERNANDES; AMARAL, 1995; SELBY M.J, 1993).

Dessa forma, existem diversas classificações para os movimentos de massa. Neste trabalho, foi escolhida a classificação de Augusto Filho (1992) (**Tabela 1**), visto que esta é mais objetiva para a classificação dos movimentos de massa frequentemente identificados em campo no Brasil. Augusto Filho (1992) define as seguintes classes de movimentos de massa: quedas, rastejos, escorregamentos e corridas. Dentre esses movimentos de massa, os escorregamentos translacionais rasos são os mais frequentes no Brasil, sobretudo na Serra do Mar (FERNANDES; AMARAL, 1995).

Tabela 1: Classificação dos movimentos de massa de acordo com Augusto Filho (1992).
Readaptado de Lopes; Arruda Junior (2015).

Processos	Dinâmica/ Geometria/ Material
Quedas (Falls)	Sem planos de deslocamento; movimentos do tipo queda livre ou em plano inclinado; velocidade muito alta (vários m/s); material rochosos; pequenos a médios volumes; geometria variável: lascas, placas, blocos, etc.; a) rolamento de matação b) tombamento
Rastejos (Creep)	Vários planos de deslocamento; velocidade muito baixa (cm/ ano) a baixa e decrescente com profundidade; movimentos constantes, sazonais ou intermitentes; solo, depósitos, rocha alterada/ fraturada
Escorregamentos (Slides)	Poucos planos de deslocamento (externos); velocidade de média (m/h) a alta (m/s); pequenos a grandes volumes de material; geometria e material variáveis: a) planares: solos poucos espessos, solos e rochas um plano de fraqueza; b) circulares: solos espessos, homogêneos e rochas muito fraturadas; c) em cunha: solos e rochas com dois planos de fraqueza;
Corridas (Flows)	Muitas superfícies de deslocamento; movimento semelhante ao de um líquido viscoso; desenvolvimento ao longo de drenagens; velocidade média a alta; mobilização de solo, rocha, detritos e água; extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas.

Os escorregamentos translacionais ou rasos (**Figura 1**) podem ser definidos como movimentos rápidos e de curta duração, causados por rupturas planares ao longo de descontinuidades (geológicas, geomorfológicas ou pedológicas) em solos pouco espessos (com profundidades que variam entre 0,5 e 5,0m). Eles costumam resultar em feições alongadas, e o material mobilizado pode variar de material inconsolidado, a rocha, ou ambos (GUIDICINI; NIEBLE, 1976; HIGHLAND, 2008; SIDLE R. C; OCHIAI H., 2006; SUMMERFIELD, 2013).

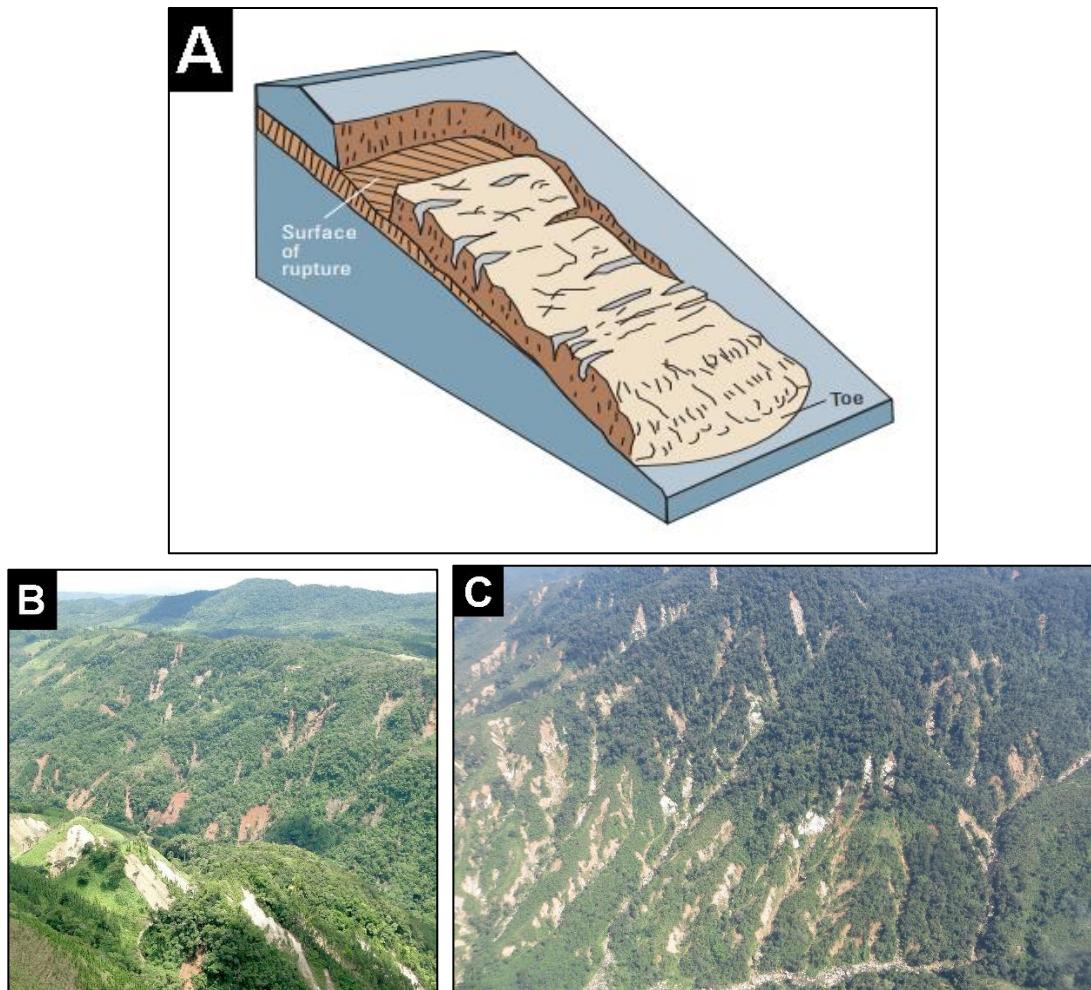


Figura 1: (A) Bloco diagrama indicando um escorregamento translacional Raso. Fonte: Highland; Bobriwsky (2008). Escorregamentos translacionais rasos ao longo da bacia do rio Gurutuba, 2014. Fonte: (B) Prefeitura de Itáoca. (C) Gramani, 2015.

Escorregamentos rasos ocorrem quando a tensão de cisalhamento no interior do material que recobre a encosta excede a resistência daquele material, que irá se mover para baixo por conta da ação da gravidade (NOTT, 2006). Na Serra do Mar isso ocorre por conta da associação dos altos volumes pluviométricos com um relevo montanhoso de encostas íngremes, solos pouco espessos com a presença de depósitos coluvionares e tálus (CEPED, 2013; JONES, 1973).

No mundo, os escorregamentos causam milhares de mortes e danos materiais da ordem dos bilhões de Dólares (FERNANDES; AMARAL, 1995; WANG et al., 2015). Esses danos costumam ser mais agravados em centros urbanos do Sul Global onde assumem proporções catastróficas por conta de alterações na paisagem como os cortes, aterros, depósitos de lixo,

desmatamento, e modificações na drenagem que geram novas relações com os outros fatores condicionantes associados a geologia e geomorfologia (FERNANDES et al., 2001).

Por este motivo, existem diversos trabalhos que buscam entender as causas e os mecanismos dos movimentos de massa, nos quais, abrangem diferentes profissionais como geógrafos, geólogos, engenheiros etc (FERNANDES; AMARAL, 1995). Estes trabalhos tentam se encaixar em programas patrocinados pela UNESCO (Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura) e pela ONU (Organização das Nações Unidas) como por exemplo o Programa do Decênio para a Redução dos Desastres Naturais, os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), e o Projeto do Inventário Mundial de Deslizamento, no qual todos tem como objetivo reduzir o número de acidentes associados aos movimentos de massa tanto no Brasil como no mundo (CEPED, 2013; FERNANDES; AMARAL, 1995).

Dentre formas de se investigar esses fenômenos, as mais comuns buscam definir às áreas potencialmente instáveis no terreno (ou seja, a suscetibilidade), sua trajetória, magnitude e frequência (perigo) e os possíveis danos decorrentes da deflagração do processo (risco). Todas essas possibilidades de se estudar os movimentos de massa, envolvem a compreensão dos diferentes mecanismos deflagradores e fatores condicionantes, assim como sua interação, geralmente desenvolvidos a partir da utilização de Sistema de Informações Geográficas (SIGs) para combinar, de cicatrizes, modelos matemáticos, modelos estatísticos, ensaios e monitoramentos de campo, e etc (FERNANDES et al., 2001).

3.2 Inventário de Cicatrizes

Os inventários de cicatrizes são componentes - chave dos estudos de suscetibilidade, uma vez que identificam a localização das ocorrências dos movimentos de massa. A confiabilidade e a precisão dos dados coletados relacionados aos movimentos de massa, afetam o sucesso da análise de suscetibilidade aos deslizamentos (WANG et al., 2015). Os inventários podem ser elaborados a partir de diferentes técnicas e ferramentas, que

variam de acordo com os objetivos da pesquisa, como por exemplo, por meio de fontes históricas, visitas de campo, ou por meio da interpretação de fotografias áreas e imagens de satélite (GUZZETTI et al., 2012; MARTINS et al., 2017a; VIEIRA, 2007; WANG et al., 2015).

Os movimentos de massa, em especial os escorregamentos, deixam feições características no ambiente, que são definidas como as cicatrizes de escorregamento. Os inventários de cicatrizes se configuram como etapas preliminares para a avaliação de suscetibilidade, risco ou perigo, uma vez que possibilitam a observação e investigação dos deslizamentos em diferentes escalas, além de sua distribuição com relação aos tipos de deslizamento e aos aspectos físicos e morfológicos da área (MARTINS; OKA-FIORI; VIEIRA, 2015).

A definição da área da cicatriz é um desafio, e isso ocorre por conta dos procedimentos a serem adotados, o que depende de cada estudo, e da subjetividade interpretativa dos autores. Essa definição torna-se um desafio ainda maior quando busca-se delimitar na cicatriz as áreas de alcance dos materiais (zona de transporte e deposição) (MARTINS et al., 2017b).

3.3 Parâmetros Morfométricos em estudos de Suscetibilidade

Os parâmetros morfológicos descrevem quantitativamente a forma e podem ser relacionados à sua hidrologia, servindo assim como importantes ferramentas para os estudos sobre suscetibilidade e perigo. Dentre esses parâmetros destacam-se a curvatura, o ângulo de encosta, e a área de contribuição (COELHO, 2020; VIEIRA, 2007).

A forma da encosta em planta ou perfil influencia na distribuição de água pelo solo. Os setores côncavos do relevo (hollow) tanto em planta como em perfil tem uma tendência de concentrar maior volume de água (em superfície e subsuperfície) fazendo com que o solo fique saturado mesmo sob pequenas quantidades de precipitação (VIEIRA, 2007; COELHO, 2020; MONTGOMERY; DIETRICH, 1994).

O ângulo de encosta representa a inclinação da encosta em relação ao terreno. Este parâmetro é importante porque influencia na espessura do solo e na velocidade em que o material se movimenta pela encosta, e nas tensões de cisalhamento (uma vez que, quanto maior o ângulo, maior são as tensões de cisalhamento). Dessa forma, encostas com ângulos mais acentuados costumam ser mais propícias a ocorrência dos escorregamentos, desde que exista material a ser mobilizado (BIERMAN, PAUL R; MONTGOMERY, 2014; COELHO, 2020; VIEIRA, 2007)

O parâmetro de Área de Contribuição indica o valor correspondente a área drenada a montante de um determinado comprimento em uma bacia. Esse parâmetro procura simular o percurso da água condicionado pela topografia. Dessa forma, considera a infiltração, a percolação, o escoamento superficial e subsuperficial, e os canais de escoamento (VIEIRA, 2007; MONTGOMERY; DIETRICH, 1994; RAMOS et al., 2003).

3.4 Trajetória dos materiais movimentados (*Runout*)

O *Runout* consiste na trajetória do material mobilizado durante os escorregamentos. O *runout* é controlada pela magnitude dos escorregamentos, os mecanismos de propagação, as características morfológicas das encostas e o material incorporado durante o percurso (COROMINAS et al., 2014; VAN WESTEN; VAN ASCH; SOETERS, 2006).

O *Runout*, apesar de escasso na literatura brasileira, é algo que merece mais investigação pois grande parte das áreas de risco estão associadas apenas as zonas de ruptura dos escorregamentos, e acabam elencando às áreas atingidas pelo transporte e pela deposição como áreas de baixo risco (VAN WESTEN; VAN ASCH; SOETERS, 2006).

Por este motivo, o *runout* vem sendo amplamente estudado na literatura internacional, onde costuma ser avaliado a partir de duas grandes categorias de métodos: os métodos empíricos - estatísticos e os métodos racionais ou numéricos (**Tabela 2**) (COROMINAS et al., 2014; MCDOUGALL, 2017).

Tabela 2: Métodos empíricos e racionais para a avaliação do *Runout*. Fonte: Adaptado de Corominas et al. (2014).

Métodos		Características Principais	Observações
Empíricos	Geomorfológicos	Medida direta dos depósitos pretéritos em campo, fotografias aéreas e imagens de satélites	A extensão mapeada é utilizada para o cálculo do “runout” futuro.
	Geométricos	Relação geométrica entre os parâmetros dos escorregamentos e a distância percorrida. Baseados sobretudo no “ângulo alcançado”, no “ângulo de sombra”	Áreas com eventos de grande magnitude onde existem depósitos de grandes extensões
	Métodos de mudança-volume	Distância final = volume do material mobilizado / comprimento do caminho dos detritos	O volume é reduzido no trajeto do fluxo encosta abaixo
Racionais	Discretos	Usados quando a textura granular do material é importante, representando os grãos como elementos discretos	Majoritariamente usado para avalanches, quedas de blocos e corridas de detritos
	Contínuos	Baseados em mecanismos contínuos que acoplam comportamento mecânicos, hidráulico e termomecânicos	Tipos: “3D models based on mixture theory”, “velocity pressure models”, “depth integration approximation”, “depth-integrated models”

Os métodos empírico-estatísticos se baseiam em relações geométricas e/ou estatísticas. Eles podem ser agrupados em: a) Geomorfológicos, quando estimam a trajetória com base em mapeamentos de cicatrizes pretéritas, sendo dessa forma, apropriados para eventos de alta magnitude e baixa frequência, que resultam em evidências na paisagem (COROMINAS et al., 2014), b) geométricos, quando são baseados em relações geométricas entre as áreas que dão início aos processos e as áreas de deposição, como é o caso de métodos que visam identificar o ângulo de alcance (HSÜ, 1975) e do ângulo mínimo de sombra (EVANS ; HUNGR, 1993), c) métodos de mudança de volume, quando relacionam o volume mobilizado e a extensão da zona de propagação (COROMINAS et al., 2014).

Nesta metodologia, as medições do deslocamento são analisadas assumindo que as mesmas condições de trajetória dos escorregamentos no passado podem indicar as trajetórias futuras. Por este motivo, esta abordagem têm um caráter holístico, que foca no desempenho geral do sistema. Apesar disso, os métodos empíricos são bastante apropriados para estudos preliminares sobre o *runout* (COROMINAS et al., 2014; EVANS; HUNGR, 1993).

Os métodos analíticos ou numéricos são consistem em modelos numéricos ou probabilísticos, e podem ser agrupados em: a) Discretos, quando

analisam a textura do material, o que é mais comum para analisar a trajetória de avalanches, quedas de blocos ou corridas de detritos; b) contínuos, quando baseiam-se em sistemas de equações para descrever comportamentos mecânicos, hidráulicos e termomecânicos (COROMINAS et al., 2014).

4. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo desta pesquisa, a Bacia do rio Gurutuba, se localizada no município de Itáoca (SP) (Alto Vale do Ribeira de Iguape) (**Figura 2**). Esta bacia foi escolhida por conta do evento de escorregamentos generalizados em 2014, no qual o município foi atingido por um alto volume pluviométrico de 123 mm em 72 horas nos dias 13 e 14 de janeiro (DAEE, 2022). Este evento também desencadeou corridas de detritos e inundações, que causaram a destruição de estradas, pontes, moradias, plantações, além de 25 vítimas fatais, 3 desaparecidos e 203 desabrigados ou desalojados, e 100 moradias e estabelecimentos comerciais atingidos (BROLLO et al., 2015; GRAMANI; ARDUIN, 2015; MATOS et al., 2018).

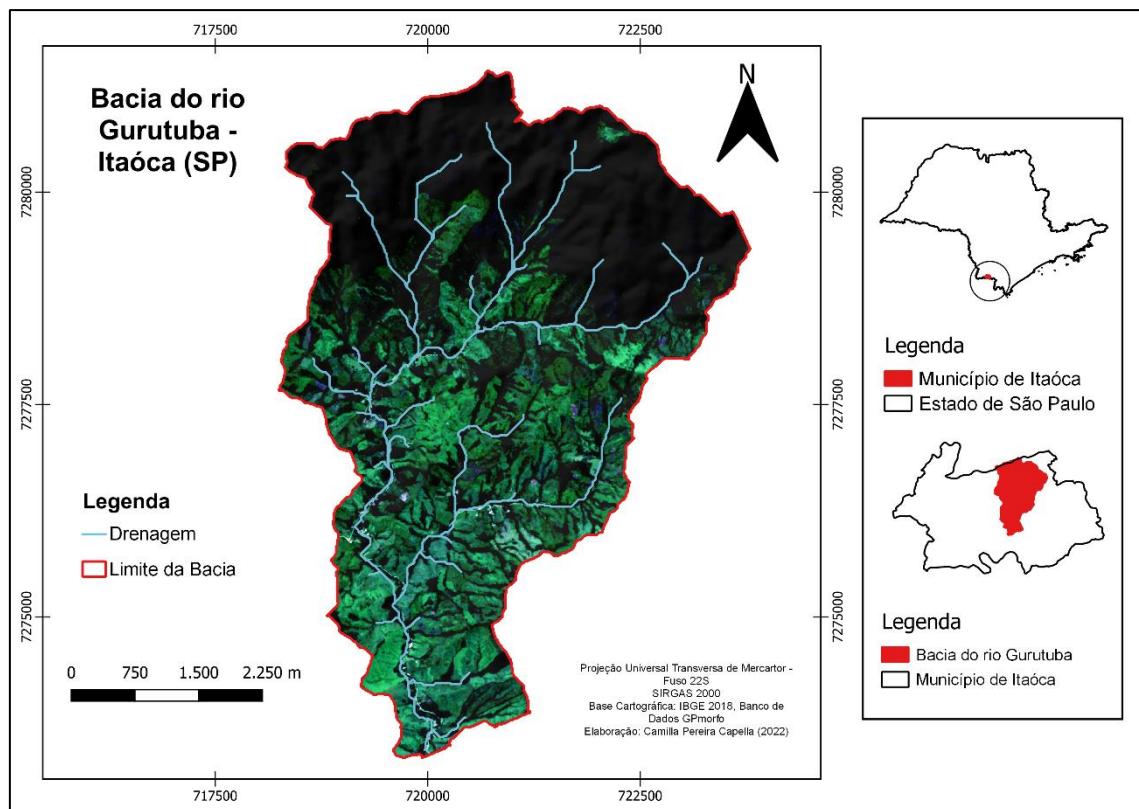


Figura 2: Mapa da área de localização da área de estudo

Esta bacia possui aproximadamente 25km², é um dos afluentes do rio Palmital, inserido na bacia hidrográfica do rio Ribeira do Iguape (BROLLO et al., 2015; GRAMANI, 2015).

Sob o contexto geológico, a bacia do rio Gurutuba insere-se no domínio do Cinturão da Ribeira, sob o terreno do Apiaí, no Super Grupo Açungui (CAMPANHA et al., 2016; CAMPOS NETO, 2000; SALAZAR et al., 2008). Este supergrupo contém outros grupos e a bacia do Rio Gurutuba está inserida no Grupo Lajeado (CAMPANHA et al., 2016; CAROU, 2019).

A Litologia da área é relativamente homogênea (**Figura 3**), embasada majoritariamente pelo Granito Itaoca Fácies A, com rochas de composição granítica, pouco fraturadas e muito intemperizadas (CAMPANHA et al., 2016; CAROU, 2019; SALAZAR et al., 2008).

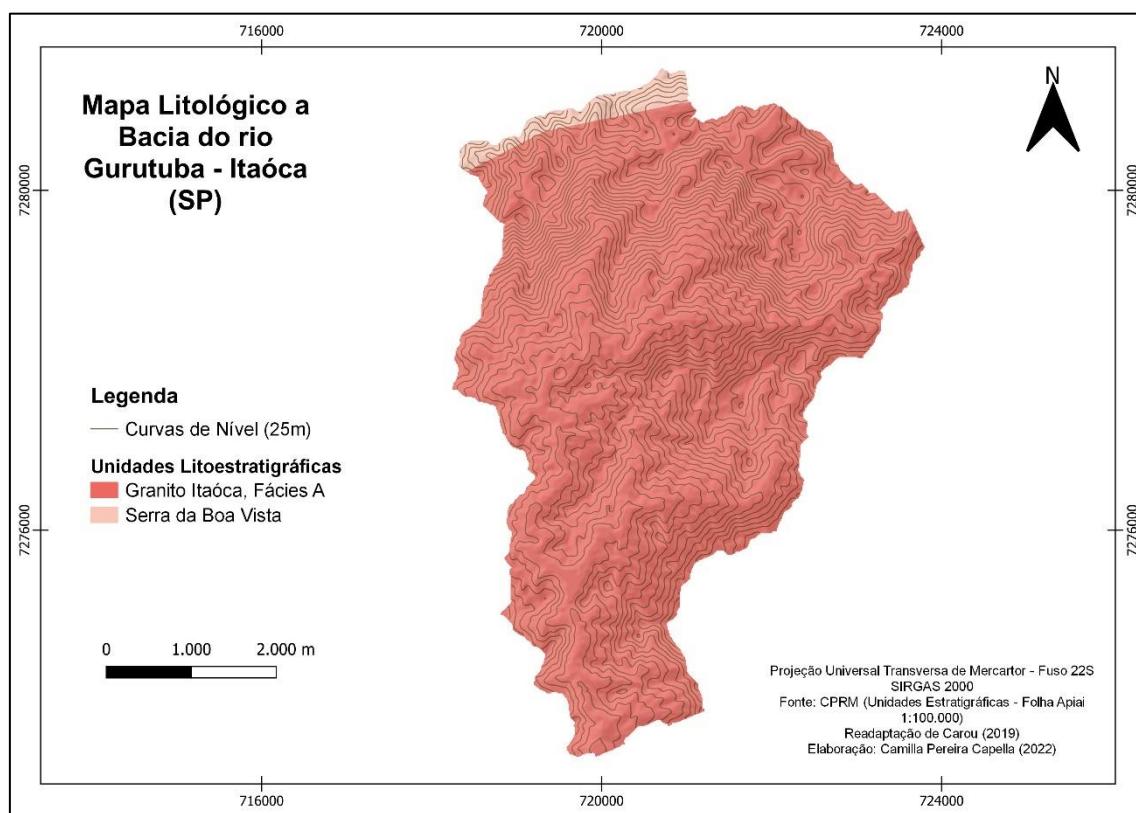


Figura 3: Mapa da área de localização da área de estudo

Com relação às características geomorfológicas, sobretudo, as propostas por Ross & Moroz, (1996) essa área se encontra na unidade morfoestrutural do Cinturão Orogenético do Atlântico, sob a unidade morfoescultural do Planalto do Atlântico, composto por planaltos e serras, e possui três unidades morfológicas (**Figura 4**): O planalto do Ribeira/ Turvo, O Planalto Rebaixado de Itaóca e a Serra de Apiaí. No geral, essa região apresenta

formas muito dissecadas, com vales entalhados e alta densidade de drenagem (ROSS, 2002).

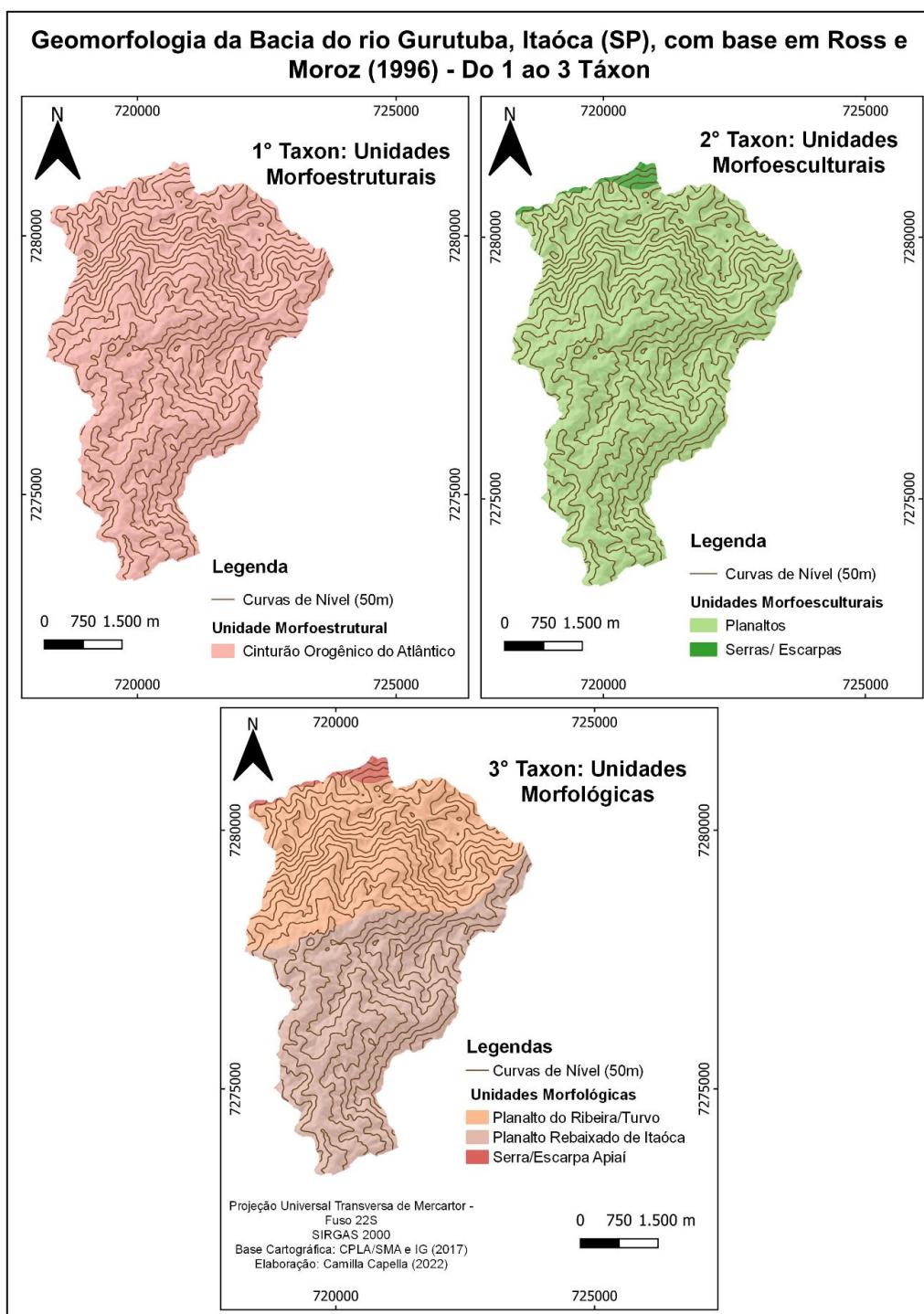
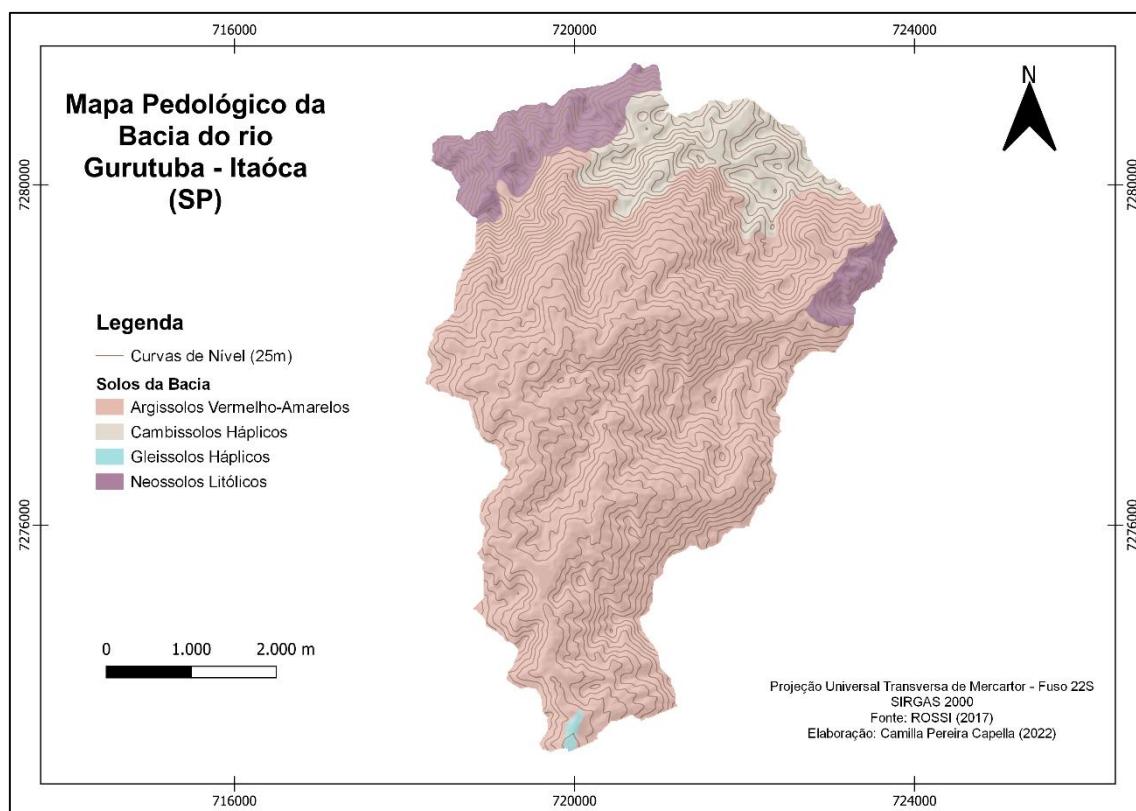


Figura 4: Geomorfologia da Bacia do rio Gurutuba com base na definição elaborada por Ross e Moroz (1996).

Ademais, a Geomorfologia da bacia apresenta algumas diferenças estruturais no terço inferior, médio e superior. O terço inferior da Bacia do rio Gurutuba possui relevos de topos suaves e arredondados, com afloramentos de matações localmente. O terço médio e superior por sua vez, possuem um relevo mais dissecado, tornando-se mais íngreme a partir da média bacia a montante, onde ocorrem afloramentos rochosos (Carou, 2019).

Com relação às características pedológicas, essa região é composta por Argissolos Vermelho-Amarelos, Cambissolos Háplicos, Neossolo Litólico e Gleissolos, de acordo com o mapeamento pedológico do Estado de São Paulo de Rossi (2017) (**Figura 5**).



A bacia do rio Gurutuba também foi objeto de estudo de Coelho (2020), que fez um levantamento pedológico *in situ*, onde identificou três camadas de solo: Solo Residual Maduro, Solo Residual Jovem e Saprolito. A autora identificou que a passagem entre as duas primeiras camadas foi marcada por importantes mudanças nas propriedades texturais e hidrológicas.

Além disso, Carou (2019) realizou um estudo de maior detalhe nãos solos das cicatrizes da bacia do Rio Gurutuba, onde foi identificou a presença de Neossolo Litólico com o predomínio da textura franco arenosa sob a porcentagem de areia acima de 60% (CAROU, 2019). Além disso, a autora também identificou que o solo era majoritariamente composto de feldspato, seguido de quartzo, biotita, poliminerálicos e poucos minerais acessórios (p. ex. hornblenda), com aumento significativo de biotita nas frações areia média até areia muito fina (CAROU, 2019).

O clima nesta área é caracterizado como Cfa ou subtropical úmido de acordo com a classificação Koppen. A temperatura média nos meses frios oscila entre 11° e 20° C, e nos meses quentes entre 22° e 32°C (ROSS, 2002). O município tem uma média de chuvas anuais de 1322,25mm, onde os meses mais chuvosos vão de dezembro a fevereiro e os meses menos chuvosos vão de abril a agosto (**Figura 6**) (DAEE, 2022).

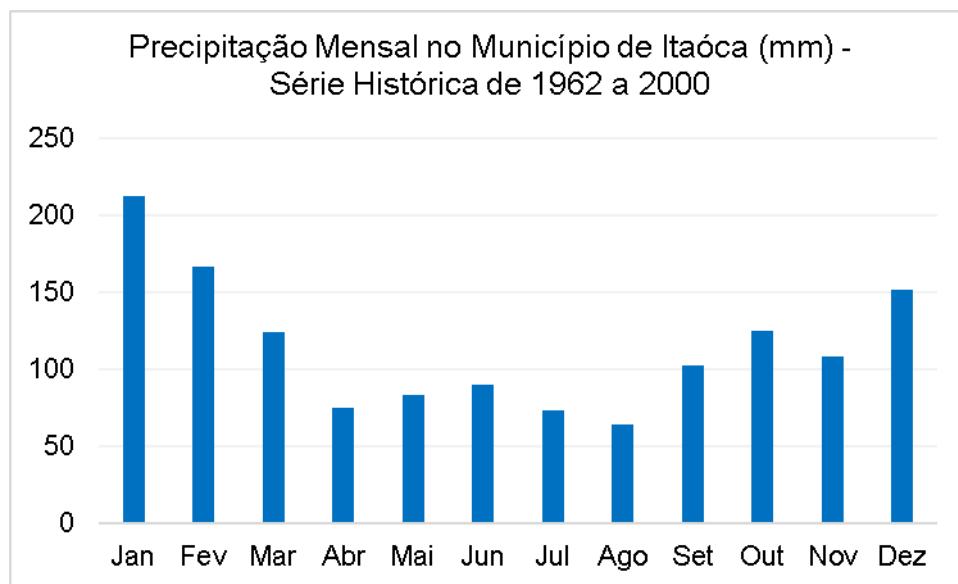


Figura 5: Gráfico de distribuição de chuvas ao longo do ano no município de Itaóca, de acordo com a série histórica de 1962 a 2000. Fonte: DAEE (2022).

5. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram definidas três etapas metodológicas. A primeira delas consistiu na utilização do inventário de cicatrizes de Bonini et al (2022) para identificar as áreas que foram afetadas pelos escorregamentos. A segunda etapa consistiu na extração e caracterização dos parâmetros morfométricos (ângulo e curvatura) pela bacia e no interior das cicatrizes. A terceira etapa por sua vez, consistiu na aplicação de um método semiquantitativo para a delimitação dos limiares de *Runout* e seu mapeamento para o evento de 2014 (**Figura 7**).

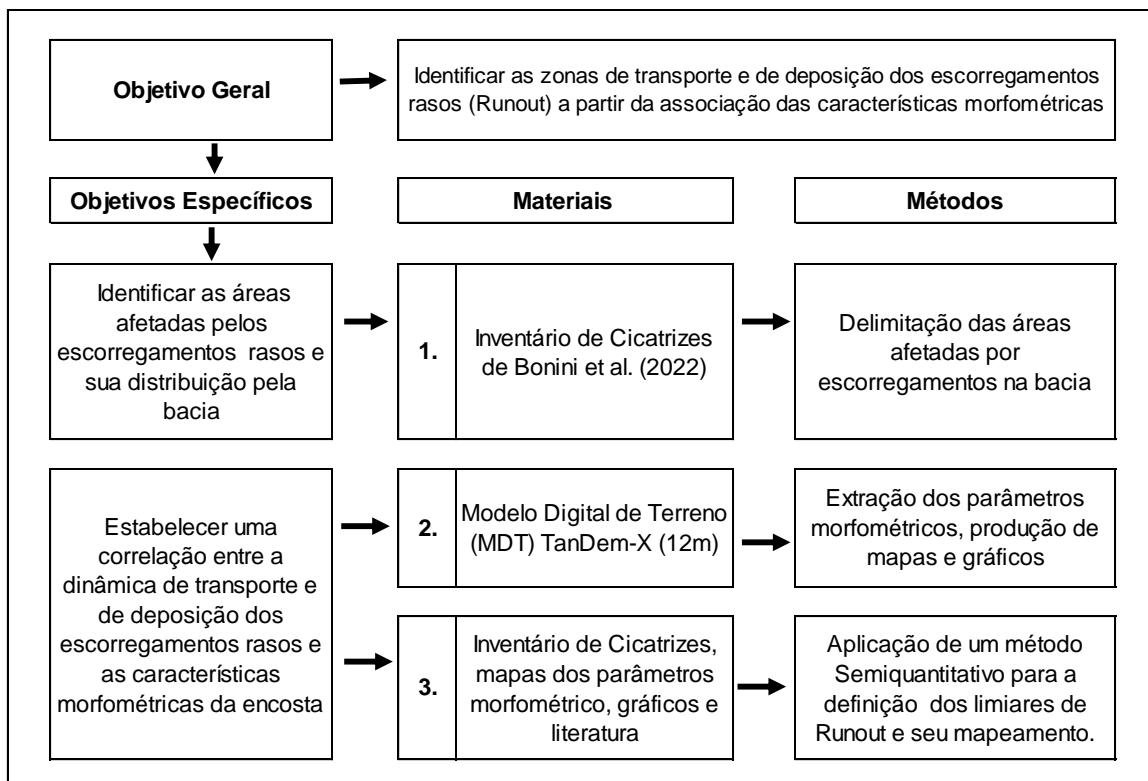


Figura 6: Fluxograma indicando as etapas metodológicas da pesquisa.

5.1 Inventário de Cicatrizes

A primeira etapa deste trabalho consistiu na utilização do inventário de cicatrizes produzido Bonini et al (2022). Para a elaboração deste inventário, os autores utilizaram imagens multiespectrais do sensor MSI a bordo do satélite RapidEye (5m de resolução espacial) (Planet Team 2017) anteriores ao evento (dia 10 de janeiro de 2014) e posteriores ao evento (dia 30 de janeiro de 2014). Foi aplicado o Índice NDVI (Normalized Difference Vegetation), para a

construção de um mapa com a diferença entre as duas imagens, que foi submetido a uma classificação não supervisionada utilizando o algoritmo ISODATA Clustering (SAGA GIS 2.3.2) (CONRAD et al., 2015).

Após essa etapa, foi feita a inspeção visual dos clusters correspondentes as cicatrizes, onde buscou-se identificar os falsos positivos, e falsos negativos, para corrigir de forma manual as feições, resultando assim, em um mapa de áreas afetadas por movimentos de massa. É importante destacar que as feições consideradas como cicatrizes de escorregamentos rasos, foram delimitadas em toda sua extensão e diferenciadas dos depósitos de fluxos de detritos e outros movimentos de massa por meio de mapas dos parâmetros morfométricos de ângulo de encosta, área de contribuição e Índice Topográfico de Umidade (TWI).

A partir dos resultados do inventário de Bonini (2022), foi gerado um mapa de área de contribuição para dividir a bacia em setores inferiores, médios e superiores, para melhor observar a distribuição das cicatrizes, e definir onde houve maior concentração (nas encostas, cabeceiras de drenagem, fundos de vale). Esse mapa foi gerado a partir do Modelo Digital de Elevação TanDem-X, e da ferramenta Flow Accumulation (Recursive) (SAGA GIS 2.3.2), com adoção do algoritmo Deterministic – 8 (TARBOTON, 1997), abrangendo as seguintes classes: 0 - 200.000 (m²), 200.000 - 400.000 (m²), 400.000 - 600.000 (m²), 600.000 - 800.000 (m²), 800.000 - 1.000.000 (m²), 1.000.000 - 1.400.000 (m²), 1.400.000 - 1.600.000 (m²), > 1.600.000 (m²).

5.2 Definição dos Parâmetros Morfométricos

Os parâmetros morfométricos de ângulo e curvatura foram derivados por meio do Modelo Digital de Elevação (MDE) TanDem-X (12m) e pela ferramenta Morphometric Features do SAGA GIS (2.3.2), utilizando para isso um raio de 5 células. O mapa de ângulo de encosta foi feito adotando as seguintes classes de: 0°-10°, 10°-15°, 15°-20°, 20°-25°, 25°-30°, 30°-35°, 35°-40°, >40°. O mapa de curvatura por sua vez, foi elaborado a partir da curvatura em perfil, adotando os seguintes valores: -3, -0,0004, +0,0004 e +3. Em uma segunda etapa foi analisada a distribuição do ângulo e da curvatura das encostas pela bacia e pela cicatriz por meio de mapas temáticos e gráficos, onde foram criadas as bases

para a definição de limiares para delimitar áreas de ruptura, transporte e deposição de cada uma das cicatrizes. Os valores aqui utilizados se basearam em outros trabalhos feitos na Serra do Mar (BONINI et al., 2020a; BONINI; VIEIRA; MARTINS, 2022; DIAS; DIAS; VIEIRA, 2017; MARTINS et al., 2017b).

5.3 Definição das áreas de transporte e deposição (*runout*)

Nesta etapa foi aplicado o método semiquantitativo que diferenciou na cicatriz as zonas de ruptura, transporte e deposição, e que possibilitou o mapeamento de *Runout* para o evento de 2014 e para eventos futuros.

Os limiares estabelecidos para cada zona da cicatriz consideraram os valores de ângulo e curvatura mais frequentes, tanto nesta bacia quanto nos demais trabalhos realizados na Serra do Mar. Desta forma, foram definidas como zonas de ruptura às áreas com curvatura côncava, convexa ou retilínea com intervalo de ângulo entre 30° e 40°. As zonas de transporte foram definidas em áreas de curvatura côncava e ângulo entre 20° a 30°. Por fim, as zonas de deposição correspondem às áreas com curvaturas côncavas e ângulo inferior a 20° (**Figura 8**).

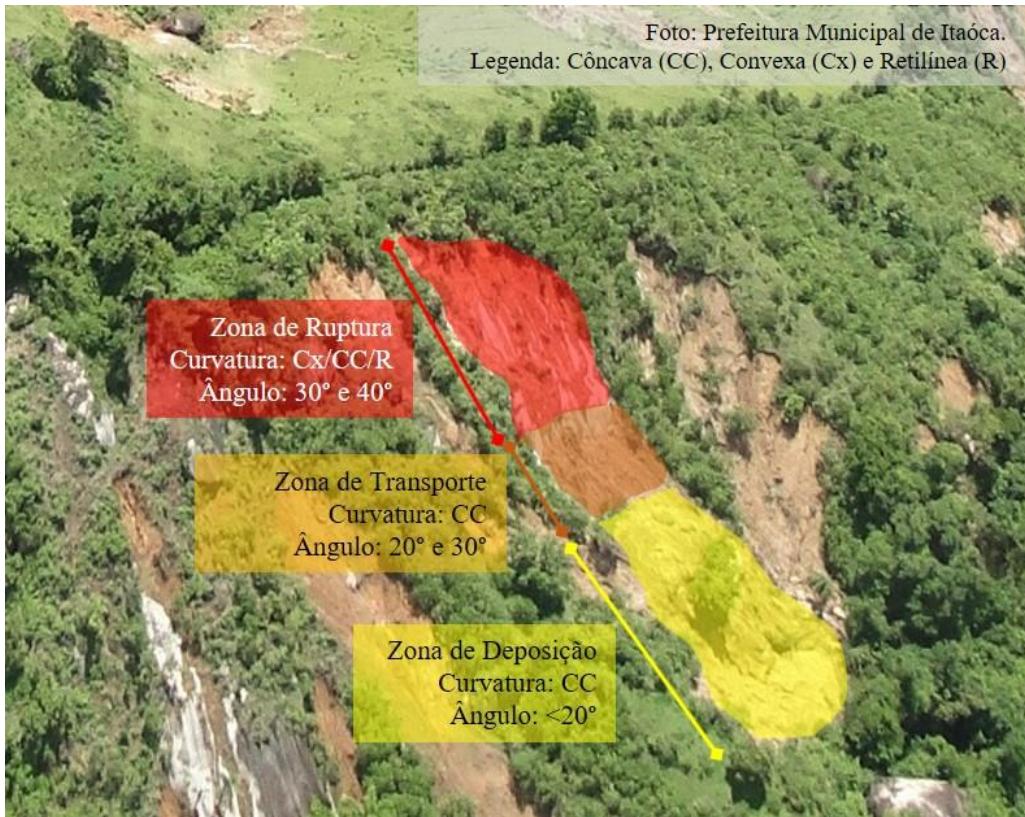


Figura 7: Ilustração da definição das zonas de ruptura, transporte e deposição conforme a curvatura e o ângulo das encostas.

Esses limiares foram estabelecidos no QGis 3.16 (QGIS Development Team) a partir da ferramenta de Símbologia Baseada em regra, onde foram adicionadas três categorias para as três classes de *Runout* (Figura 9).

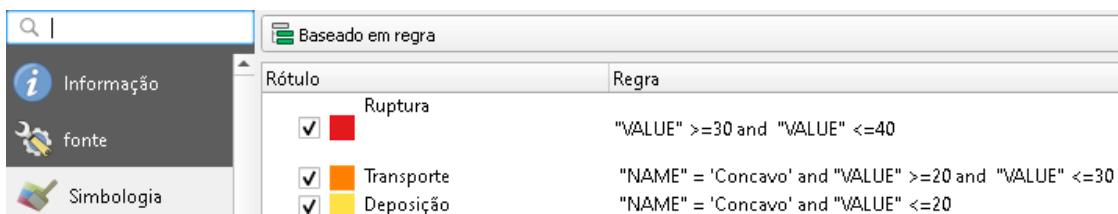


Figura 8: Elaboração das regras para a definição dos limiares de *Runout*.

Vale destacar que o mapeamento de *Runout* do evento de 2014 foi feito apenas no terço superior da bacia por conta a alta concentração de cicatrizes nesta área e pelas semelhanças geomorfológicas com as encostas da Serra do Mar.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Inventário de Cicatrizes

A bacia do rio Gurutuba teve 12% (3 km^2) de sua área afetada por escorregamentos rasos no evento de 2014, sendo inventariadas 918 cicatrizes (Figura 10). As cicatrizes deflagradas neste evento apresentaram uma área média de 3215 m^2 . As maiores cicatrizes identificadas apresentaram uma área de 154.290 m^2 , e as menores cicatrizes apresentaram uma área de $99,96 \text{ m}^2$. Também foi observado que essas cicatrizes se concentraram ao longo do terço médio e do terço superior da bacia.

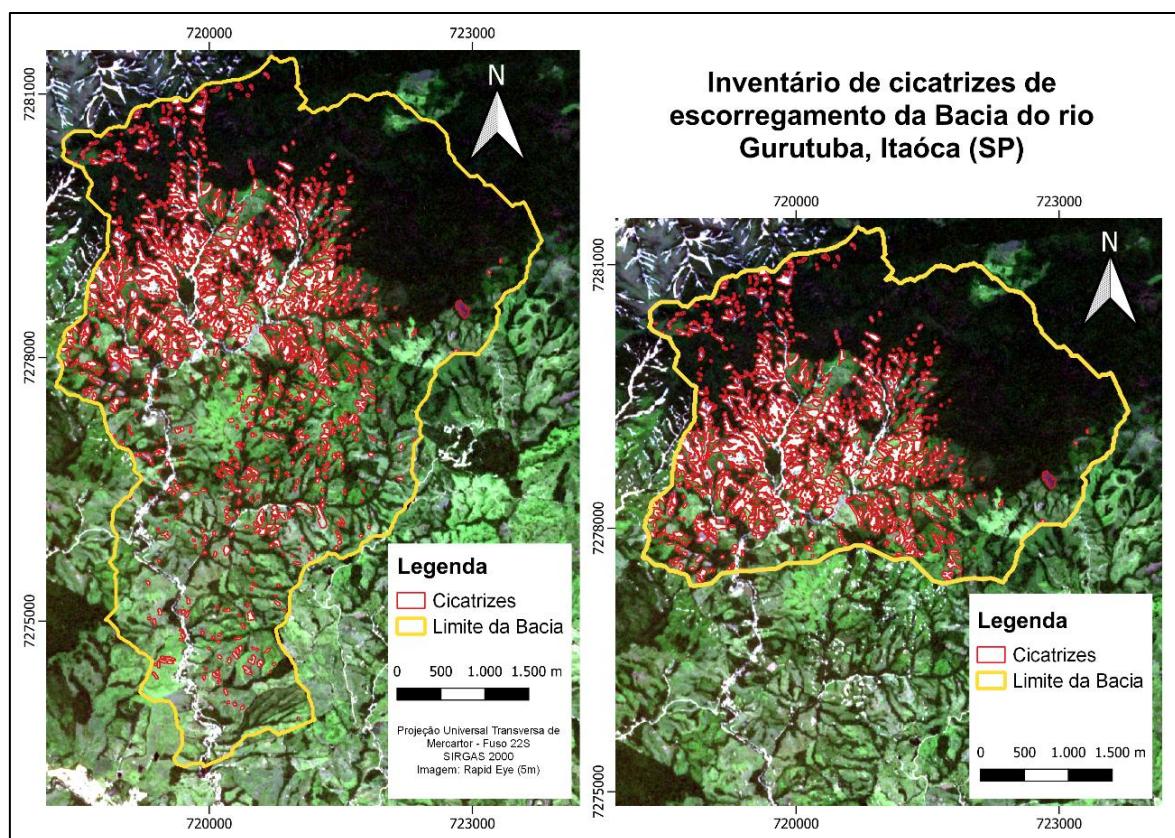


Figura 9: Mapa das cicatrizes dos escorregamentos translacionais rasos ocorridos em janeiro de 2014 na bacia do rio Gurutuba e sub-bacia do Alto Gurutuba (B).

A Serra do Mar também foi objeto de estudo em outros trabalhos que tiveram como resultado um inventário de cicatrizes (CAROU *et al.*, 2017; MARTINS *et al.*, 2017b; NERY, 2011; VIEIRA; RAMOS, 2015). Com exceção de uma das bacias da Serra do Mar paranaense estudadas por Martins et al (2017)

todos os outros trabalhos citados, tiveram um percentual inferior a 10% de suas bacias atingidas por escorregamentos, ao contrário do que foi observado neste trabalho.

Além disso, este trabalho apresentou uma quantidade de cicatrizes superior aos outros, como o de Carou et al (2017) que encontrou 336 ao estudar a bacia do rio Gurutuba, o de Nery (2011) que encontrou 216 ao estudar a bacia Ultrafértil em Cubatão e ao de Vieira & Ramos, (2015), que encontraram 131 cicatrizes ao estudar a bacia do rio Guaxinduba em Caraguatatuba. Também foi possível observar a discrepância as áreas das cicatrizes com as encontradas neste trabalho. Carou et al (2017) encontrou cicatrizes com uma área mínima de 13m² e uma área máxima de 5548m², semelhante a Nery (2011) que encontrou cicatrizes com uma área mínima de 15m² e máxima de 6546m².

Vale pontuar que estes trabalhos consideraram apenas a extensão da cicatriz referente a ruptura, e dessa forma, não fizeram a diferenciação das áreas de transporte e deposição, como foi feito nesta pesquisa. Além disso, as bacias estudadas neste trabalho, possuem uma extensão menor do que a bacia do rio Gurutuba apresentada nesta pesquisa.

Por fim, com relação ao parâmetro de Área de Contribuição, a classe mais frequente na bacia foi a de 500.000 m² com cerca de 97,92%, seguido da classe de 1.000.000 (m²) com 0,51%. Com relação a concentração de cicatrizes, a classe de 500.000 m² também foi a predominante com 98,64%, seguida da classe de 1.000.000 m² com 0,55%. Estes valores mostram que a maior parte das cicatrizes esteve concentrada nos setores da bacia referentes as encostas e as cabeceiras de drenagem (**Figura 11 e 12**).

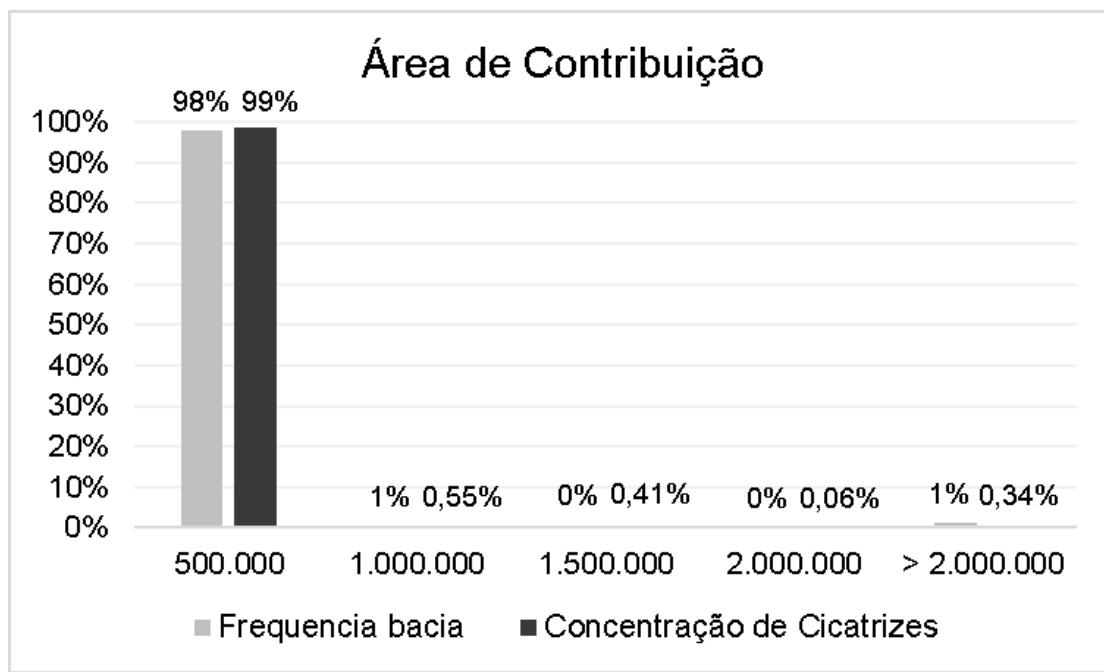


Figura 10: Gráfico de frequência e concentração de cicatrizes das classes de Área de Contribuição.

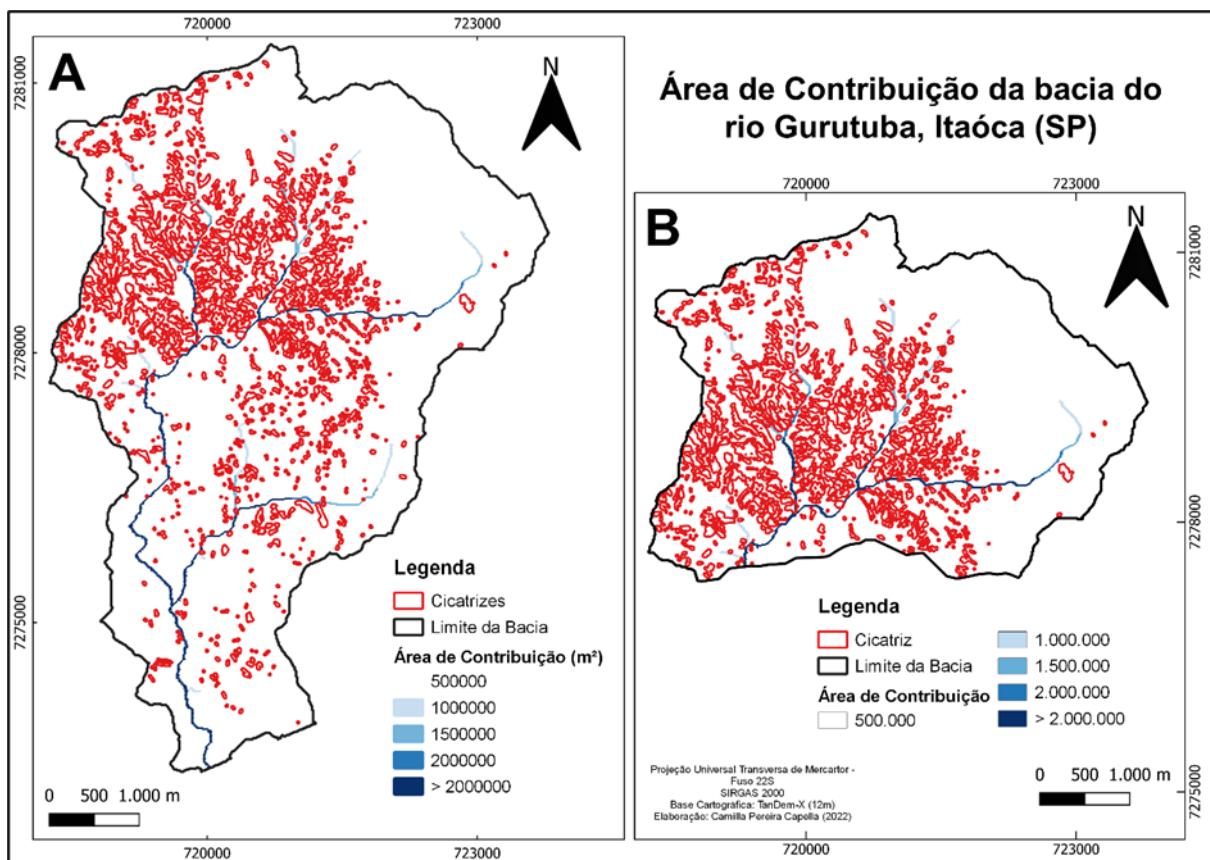


Figura 11: Mapa da Área de Contribuição da Bacia em seu todo, e do terço superior, onde concentram-se as cicatrizes.

Vieira (2007) em seu estudo na Bacia da Copebrás na Serra do Mar de Paulista (município de Cubatão) e Bonini et al., (2020a) em seu estudo na Bacia do rio Gurutuba, também encontraram resultados semelhantes. Ambos os autores identificaram que as áreas próximas aos fundos de vale concentraram menos cicatrizes, o que Vieira (2007) associou a predominância dos menores ângulos de encosta, pontuando assim que a área de contribuição possui relação com a forma da encosta nos processos hidrológicos e erosivos.

6.2 Definição dos Parâmetros Morfométricos

Com relação ao parâmetro morfométrico de ângulo de encosta (**Figura 13 e 14**), foi possível observar que as classes mais frequentes na bacia foram: de 20° - 25° (23,8%) e 15° - 20° (23%), enquanto as classes que mais concentraram cicatrizes foram as de 20° - 25° (28%), e as de 25° - 30° (22%). As classes que menos concentraram cicatrizes estiveram entre 35° - 40° (3%) e ângulos inferiores a 40° (0,1%).

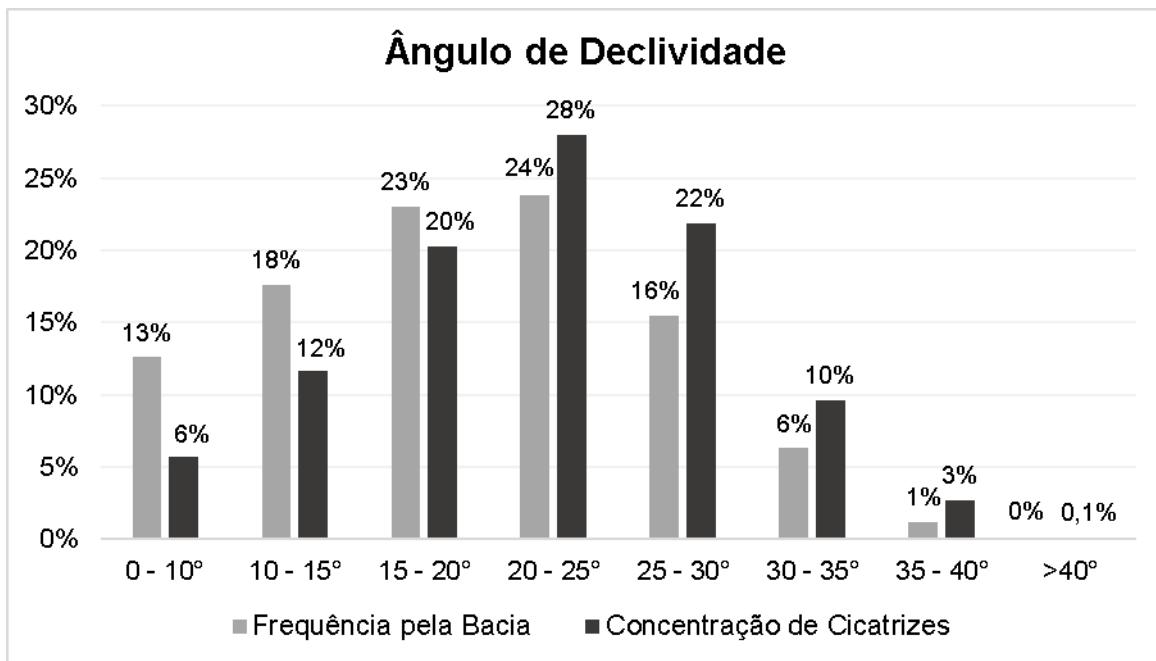


Figura 12: Distribuição das classes de ângulo das encostas e concentração de cicatrizes.

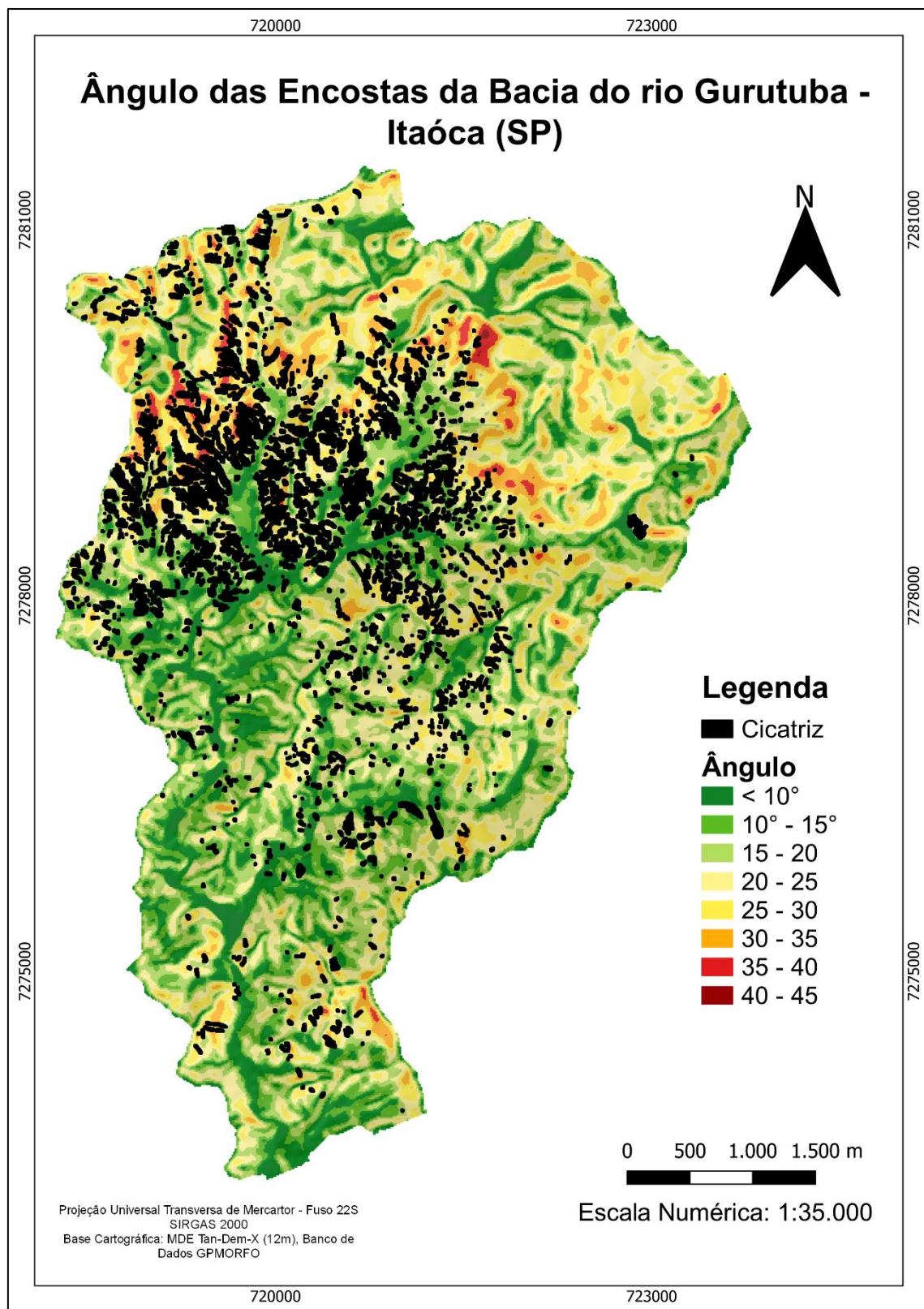


Figura 13: Mapa do Ângulo de encostas.

Com relação ao parâmetro morfométrico de curvatura (**Figura 15 e 16**), foi possível observar uma maior frequência dos setores côncavos ao longo da bacia (57%), seguido dos setores convexos (35%), e dos setores retilíneos (8%). Com relação a concentração de cicatrizes, também foi possível observar uma predominância no setor côncavo (66%), seguido dos setores convexos (25%) e dos retilíneos (9%).

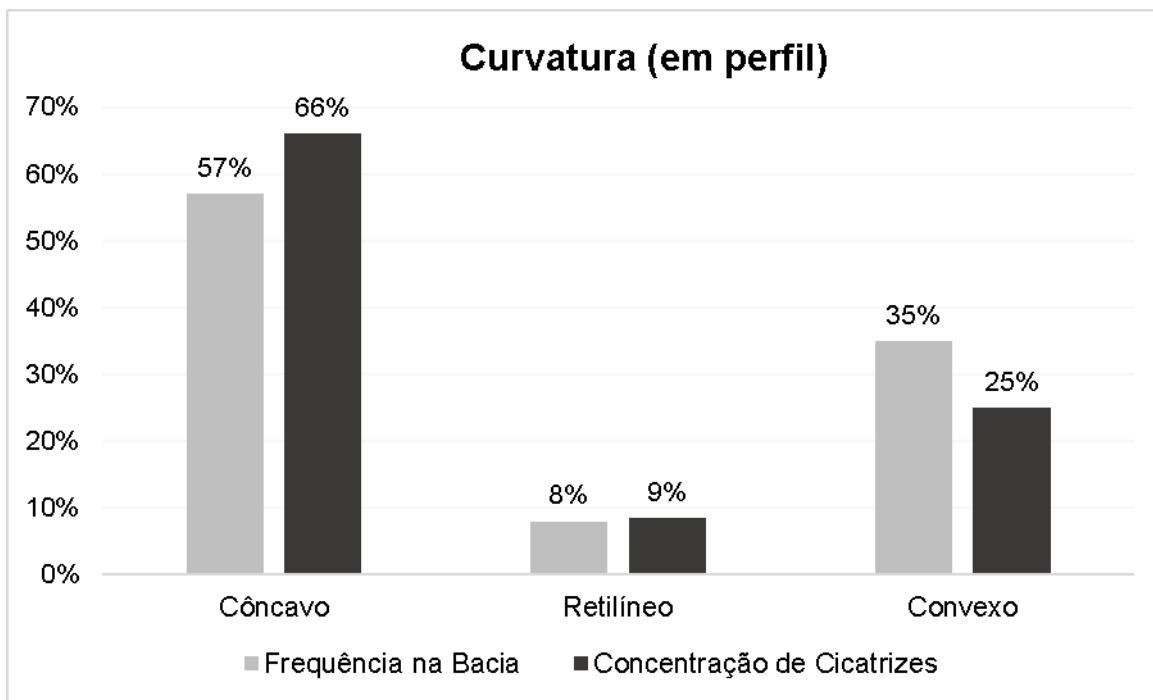


Figura 14: Distribuição das classes de curvatura e concentração de cicatrizes.

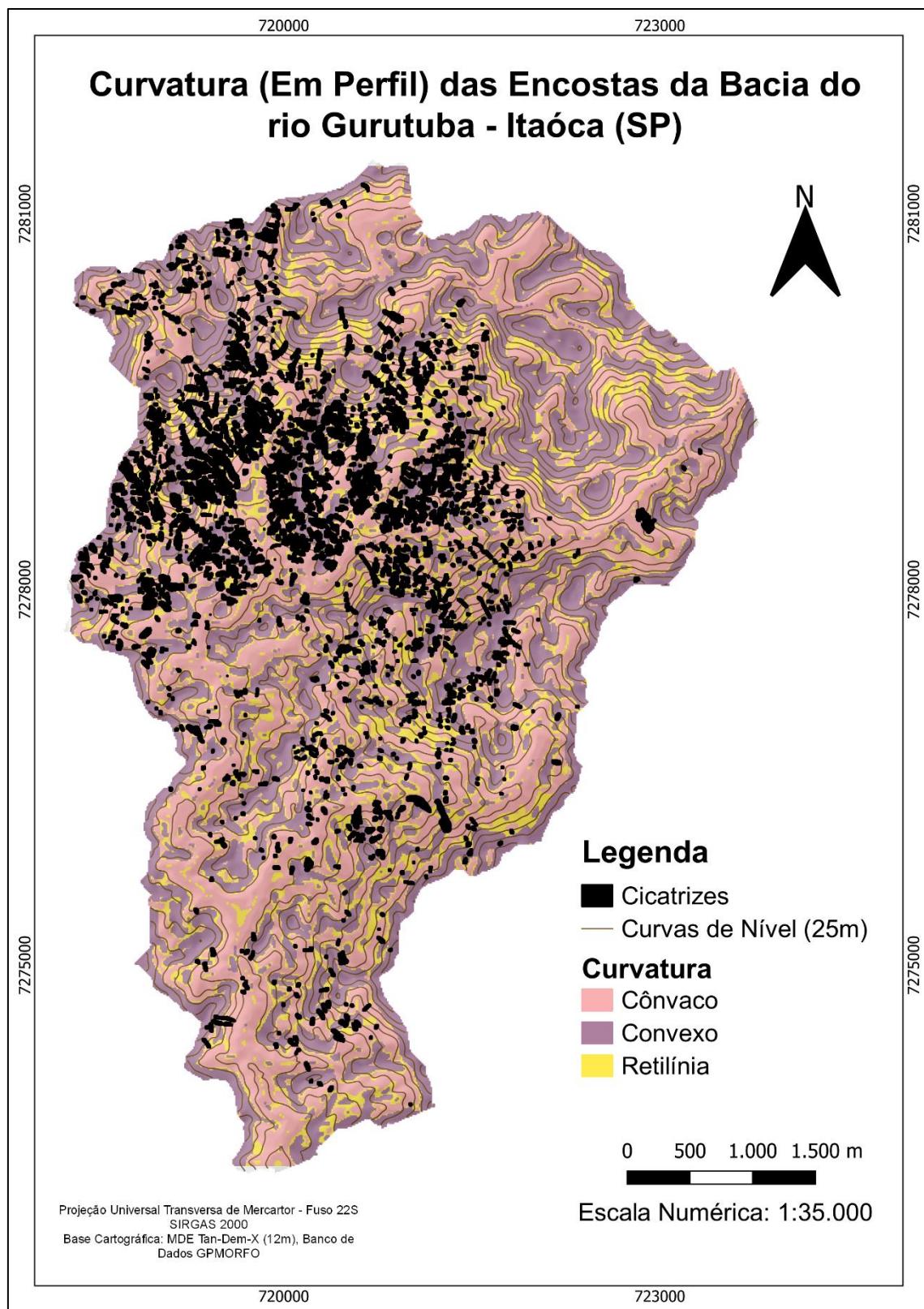


Figura 15: Mapa da Curvatura em perfil das Encostas.

A partir dos resultados dos parâmetros morfométricos de curvatura e ângulo de encosta, é possível estabelecer uma relação com resultados semelhantes de outros trabalhos feitos na Serra do Mar. Com relação a distribuição de ângulos de curvatura pelas cicatrizes, é possível observar uma tendência de um aumento significativo a partir dos 20° seguido de uma diminuição, a partir de 30° - 35°. Essa tendência também foi identificada por Bonini et al (2020) na Bacia do rio Gurutuba, por Martins et al (2017) nas bacias das Laranjeiras e do Bom Brinquedo na Serra do Mar Paranaense, e por Fernandes et al (2001) na bacia do rio Papagaio da Serra do Mar do Rio de Janeiro.

Com relação a curvatura, foi possível observar que o setor côncavo esteve associado a uma maior suscetibilidade a escorregamentos por conta da concentração das cicatrizes, como foi o caso dos resultados obtidos por Martins et al (2017), Dias et al (2017) e Fernandes et al (2001). Estes resultados podem ser associados à característica da curvatura côncava de concentrar fluxos de água em superfície e subsuperfície, facilitando assim a ocorrência de escorregamentos (MONTGOMERY; DIETRICH, 1994).

6.3 Definição dos Parâmetros Morfométricos e Áreas de *Runout*

Em relação ao mapeamento do *runout* para o evento de 2014 (**Figura 17 e 18**), foi possível perceber que houve uma tendência a concentração do setor de transporte dentro da cicatriz (45,8%), seguido pelos setores de deposição (33,7%) e ruptura (20,7%). Vale pontuar que algumas cicatrizes tiveram pontos em branco, porque possuem características que fogem da regra utilizada para definir os limiares, isto é, correspondem a áreas que não compõe a interseção de ângulos de 0 a 30° com curvatura côncava (o que foi utilizado para definir os limiares para as zonas de transporte e deposição).

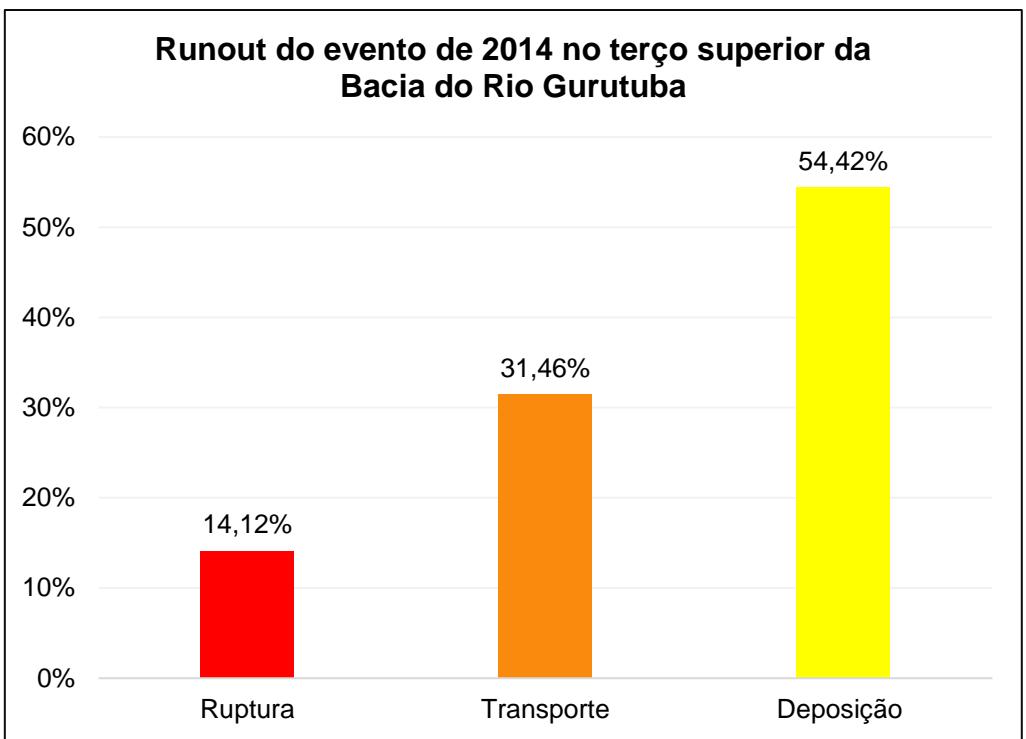


Figura 16: Distribuição percentual das zonas de ruptura, transporte e deposição do evento de 2014 no terço superior da Bacia do rio Gurutuba.

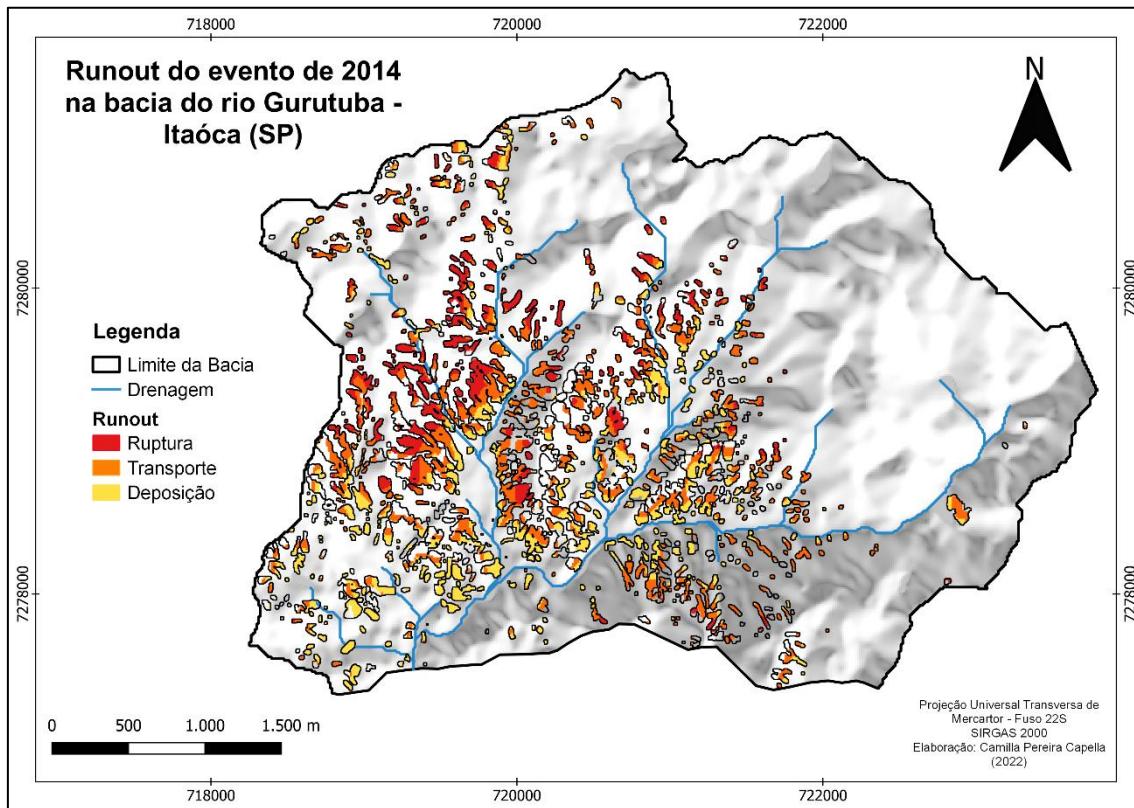


Figura 17: Mapa da trajetória dos escorregamentos de 2014 na bacia do rio Gurutuba.

Di Napoli et al (2021) avaliaram a suscetibilidade a escorregamentos rasos, considerando o *runout*, em Cinque Terre na Itália. Os autores avaliaram diversas variáveis, dentre elas a curvatura em perfil e o ângulo e pontuaram que a curvatura foi importante por fornecer informações relacionadas a convergência e divergência de fluxos. Já o ângulo das encostas foi a variável mais importante, uma vez que seus valores estiveram inversamente associados a estabilidade dos taludes e a espessura do solo. Neste trabalho, foi avaliada a suscetibilidade nas classes de muito baixa, baixa, moderada, média, alta e muito alta. Desse modo, eles não tiveram como objetivo distinguir as áreas de ruptura, transporte e deposição nas cicatrizes.

Com relação ao mapa de probabilidade de escorregamentos rasos na bacia com a ocorrência de *runout* (**Figura 19 e 20**), foi possível observar uma tendência maior da deposição, com 63,4%, seguida do transporte com 36,6%. Esta tendência ocorre pelo fato de as porções médias e inferiores da bacia concentrarem ângulos inferiores a 20°, sobretudo, nas proximidades dos canais de drenagem.

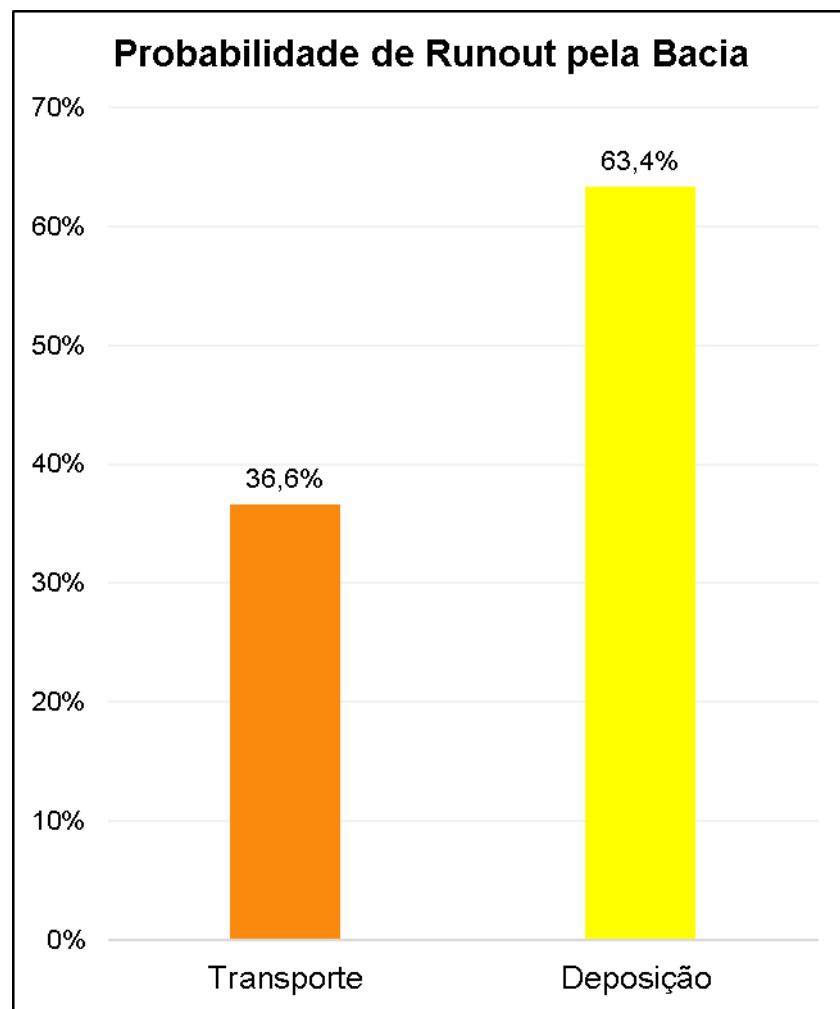


Figura 18: Mapa de probabilidade de *Runout* (transporte e deposição).

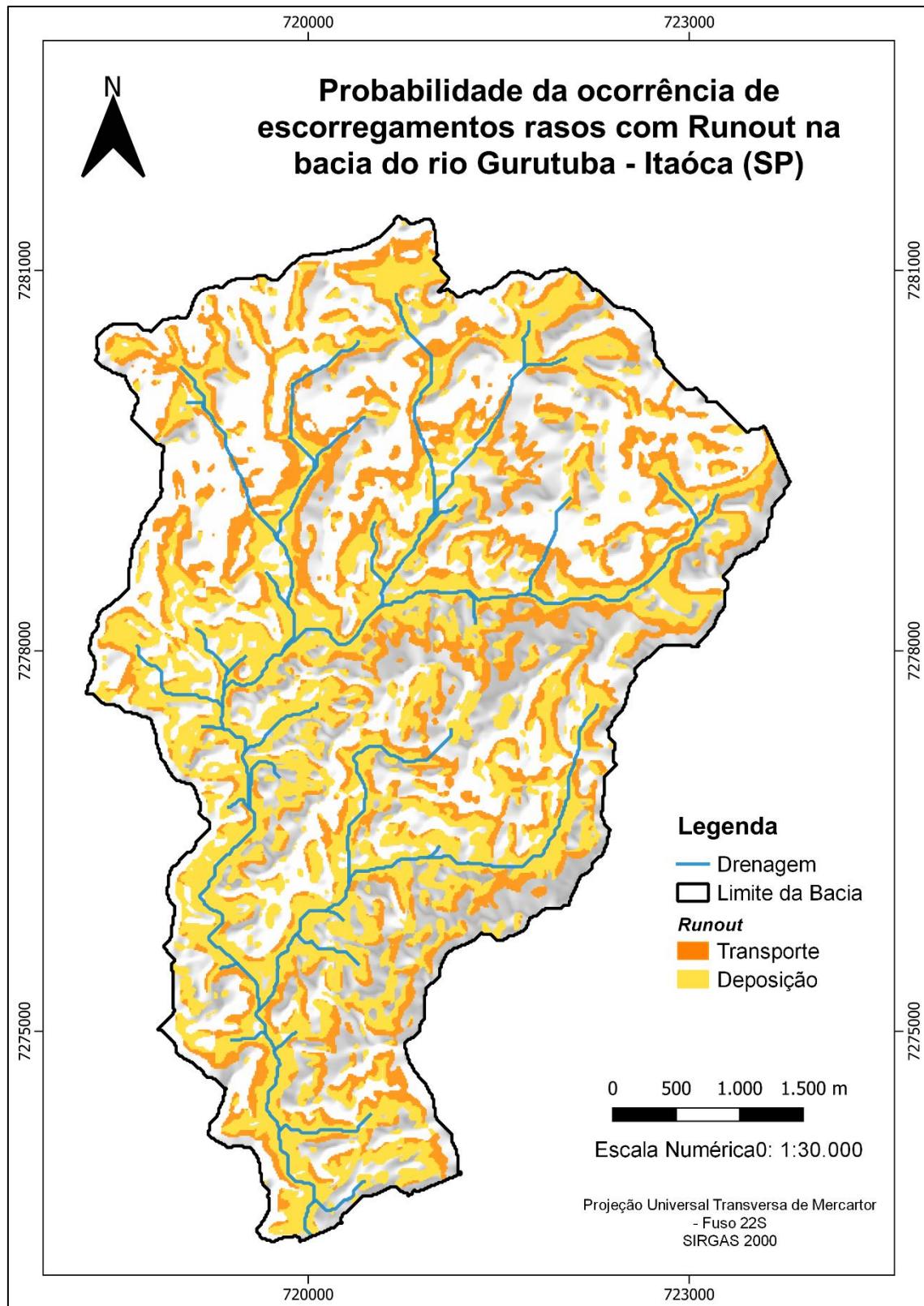


Figura 19: Mapa de probabilidade de *Runout* (transporte e deposição).

Outros autores, como Di Napoli et al (2021) ao estudarem a suscetibilidade a escorregamentos rasos e o *runout*, pontuaram as que áreas próximas a canais de drenagem apresentavam alta suscetibilidade a escorregamentos por conta das altas porcentagens de deposição encontradas.

A literatura sobre *runout*, apesar de escassa no Brasil, apresenta trabalhos onde o *runout* foi avaliado a partir de objetivos e métodos diferentes dos utilizados nesta pesquisa. Corominas et al (2003) avaliaram o *runout*, no Principado de Andorra, com o objetivo de produzir um mapa de risco, utilizando para isso a combinação de modelos empíricos e determinísticos. Eles obtiveram como resultado, uma classificação de perigo muito baixo a alto. Os autores observaram que o risco para escorregamentos rasos foi moderado porque sua magnitude foi baixa, com relação a outros tipos de movimentos de massa.

McDougall (2017) e Van Westen et al (2006) em seus trabalhos, apresentam métodos e ferramentas nas quais o *runout* pode ser avaliado. Em ambos os trabalhos os autores pontuaram sobre a utilização de metodologias empíricos – estatísticos e analíticas, que podem estimar o volume de sedimentos de uma potencial ruptura, simular o *runout* a partir de intervalos de ângulos de deslocamento, simular eventos passados, estimar a velocidade do fluxo e a pressão de impacto, etc. Os diversos métodos apresentados nestes trabalhos, são avançados, e visam avaliar o *runout* a partir de um objetivo diferente do que foi proposto por este.

7. CONCLUSÃO

Os estudos de suscetibilidade, perigo e risco aos movimentos de massa são de extrema importância visto que colaboram com o planejamento urbano, e com a mitigação dos prejuízos sociais, econômicos e ambientais causados por estes processos.

Os inventários de cicatrizes associados a análise dos parâmetros morfométricos são ferramentas de extrema importância para a avaliação da suscetibilidade, perigo e risco, sobretudo quando alinhados a outros métodos como o mapeamento da trajetória dos escorregamentos (*Runout*), cujos estudos são escassos tanto para a Serra do Mar como para o Brasil.

Este trabalho apresentou uma ferramenta simples para análise do *runout*, que pode ser facilmente reproduzida, partindo da combinação de conhecimentos geomorfológicos com a análise digital de dados de elevação, trazendo um resultado satisfatório e adequado para o comportamento da Serra do Mar, visando assim, contribuir com as investigações sobre esse fenômeno.

Vale ressaltar que esta ferramenta apresentou uma limitação, onde algumas cicatrizes não foram preenchidas em sua área total por apresentarem características que fugiram de regra utilizada para a classificação dos limiares, o que pode ser trabalhado em estudos futuros.

Também vale ressaltar que esta ferramenta foi aplicada em uma bacia experimental da Serra do Mar, com 25 km², no município de Itaóca, tendo como base o evento de escorregamentos generalizados que ocorreu em janeiro de 2014.

Bibliografia

AUGUSTO FILHO, Oswaldo. Caracterização Geológica-Geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. **1 Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas – 1 COBRAE**, v. II, p. 721–733, 1992.

AVELAR, A. S.; NETTO, A. L. C.; LACERDA, W. A.; BECKER, L. B.; MENDONÇA, M. B. Mechanisms of the Recent Catastrophic Landslides in the Mountainous Range of Rio de Janeiro, Brazil. *Em: Landslide Science and Practice*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2013. p. 265–270.

BARATA F.E. Landslides in the tropical region of Rio de Janeiro. *Em: Proceedings of the Seventh International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 1969, [...]. 1969. p. 507–516.

BIERMAN, PAUL R; MONTGOMERY, D. R. Hillslope. *Em: Key Concepts in Geomorphology*. New York: W.H. Freeman and Company Publishers, 2014. p. 145–178.

BONINI, J. E.; BATEIRA, C. V. de M.; DIAS, V. C.; MARTINS, T. D.; VIEIRA, B. C. Suscetibilidade a escorregamentos rasos a partir de parâmetros morfométricos e dos modelos SHALSTAB e do Valor Informativo. **Confins**, n. 46, 23 jun. 2020a. Disponível em: <<http://journals.openedition.org/confins/30323>>.

BONINI, J. E.; BATEIRA, C. V. de M.; DIAS, V. C.; MARTINS, T. D.; VIEIRA, B. C. Suscetibilidade a escorregamentos rasos a partir de parâmetros morfométricos e dos modelos SHALSTAB e do Valor Informativo. **Confins**, n. 46, 23 jun. 2020b.

BONINI, J. E.; VIEIRA, B. C.; MARTINS, T. D. Semiautomatic inventory and geomorphological characterization of mass movements using high-resolution images and open-source software in the Ribeira de Iguape Valley, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 119, p. 104029, nov. 2022.

BROLLO, M.; SANTORO, J.; ROSSINI-PENTEADO, D.; FERNANDES-DA-SILVA, P.; RIBEIRO, R. Itaoca (SP): Histórico de acidentes e desastres relacionados a perigos geológicos. Em: 14º Simpósio de Geologia do Sudeste, 2015, Campos do Jordão. [...]. Campos do Jordão: 2015.

CAMPANHA, G. A. C.; BASEI, M. S.; FALEIROS, F. M.; NUTMAN, A. P. The Mesoproterozoic to early Neoproterozoic passive margin Lajeado Group and Apiaí Gabbro, Southeastern Brazil. **Geoscience Frontiers**, v. 7, n. 4, p. 683–694, jul. 2016. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1674987115000936>>.

CAMPOS NETO, M. da C. Orogenic Systems from Southwestern Gondwana: an approach to Brasiliano-Pan African cycle and orogenic collage in southeastern Brazil. (U. G. Cordani, E. J. Milani, A. Thomaz Filho, D. de A. Campos) Em: Tectonic Evolution of South America, 2000, Rio de Janeiro. [...]. Rio de Janeiro: 31st International Geological Congress, 2000. p. 335–365.

CAROU, C. B. **Mineralogia do Granito Itaóca e sua relação com a suscetibilidade a escorregamentos rasos da bacia do Rio Gurutuba**. 2019. 2019. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8135/tde-11122019-171423/pt-br.php>>.

CAROU, C. B.; VIEIRA, B. C.; MARTINS, T. D.; GRAMANI, M. F. **Inventário dos escorregamentos da bacia do rio Gurutuba, Vale do Ribeira (SP)** Simpósio Brasileiro de Geografia Física 2017.

CEPED. Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2012. **Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina**, 2013.

CERRI, R. I.; REIS, F. A. G. V.; GRAMANI, M. F.; GIORDANO, L. C.; ZAINE, J. E. Landslides Zonation Hazard: relation between geological structures and landslides occurrence in hilly tropical regions of Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 89, n. 4, p. 2609–2623, 31 ago. 2017.

COELHO, R. D. **Caracterização das propriedades físicas do solo e a instabilidade das encostas na Serra do Mar (Itaóca - SP)**. 2020. Universidade

de São Paulo, São Paulo, 2020. Disponível em:
<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8135/tde-29092020-183051/>.

COELHO, R. D.; GRAMANI, M. F.; VIEIRA, B. C. Soil physical properties and slope stability in Serra do Mar, southeastern Brazil. **Geography Department University of São Paulo**, v. 42, p. e188406, 10 fev. 2022.

CONRAD, O.; BECHTEL, B.; BOCK, M.; DIETRICH, H.; FISCHER, E.; GERLITZ, L.; WEHBERG, J.; WICHHMANN, V.; BÖHNER, J. System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4. **Geoscientific Model Development**, v. 8, n. 7, p. 1991–2007, 7 jul. 2015.

COROMINAS, J.; COPONS, R.; VILAPLANA, J. M.; ALTIMIR, J.; AMIGÓ, J. Integrated Landslide Susceptibility Analysis and Hazard Assessment in the Principality of Andorra. **Natural Hazards**, v. 30, n. 3, p. 421–435, nov. 2003. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1023/B:NHAZ.0000007094.74878.d3>.

COROMINAS, J.; VAN WESTEN, C.; FRATTINI, P.; CASCINI, L.; MALET, J.-P.; FOTOPOULOU, S.; CATANI, F.; VAN DEN EECKHAUT, M.; MAVROULI, O.; AGLIARDI, F.; PITILAKIS, K.; WINTER, M. G.; PASTOR, M.; FERLISI, S.; TOFANI, V.; HERVÁS, J.; SMITH, J. T. Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk. **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**, v. 73, n. 2, p. 209–263, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10064-013-0538-8>.

COSTA NUNES, A. J. L. Landslides in soils of decomposed rock due to intense rainstorms. **7th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering**, 1969.

CROZIER, M. J. **Landslides: causes, consequences and environment**. London: Croom Helm Australia Pty, 1986. 252 p.

DAEE. **Banco de dados Hidrológicos**. Disponível em: <http://www.hidrologia.daee.sp.gov.br/>. Acesso em: 3 mar. 2020.

DAEE. Banco de dados Hidrológicos.

DE PLOEY, J.; CRUZ, O. Landslides in the Serra do Mar, Brazil. **CATENA**, v. 6, n. 2, p. 111–122, set. 1979.

DI NAPOLI, M.; DI MARTIRE, D.; BAUSILIO, G.; CALCATERRA, D.; CONFUORTO, P.; FIRPO, M.; PEPE, G.; CEVASCO, A. Rainfall-Induced Shallow Landslide Detachment, Transit and Runout Susceptibility Mapping by Integrating Machine Learning Techniques and GIS-Based Approaches. **Water**, v. 13, n. 4, p. 488, 13 fev. 2021.

DIAS, H. C.; DIAS, V. C.; VIEIRA, B. C. Condicionantes Morfológicos e Geológicos dos Escorregamentos Rasos na Bacia do Rio Santo Antônio, Caraguatatuba/SP. **Geography Department University of São Paulo**, n. spe, p. 157, 27 jun. 2017.

EVANS, S. G.; HUNGR, O. The assessment of rockfall hazard at the base of talus slopes. **Canadian Geotechnical Journal**, v. 30, n. 4, p. 620–636, 1 ago. 1993.

LOPES, E. S. S.; ARRUDA JUNIOR, E. R. Sensoriamento Remoto para deslizamentos. *Em: SAUSEN, T. M.; LACRUZ, M. S. P. Sensoriamento Remoto para desastres*. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. p. 213–248.

FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. Movimentos de Massa: uma abordagem geológica-geomorfológica. *Em: Geomorfologia e Meio Ambiente*. 12. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995. p. 123–194.

FERNANDES, N. F.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T.; VIEIRA, B. C.; MONTGOMERY, D. R.; GREENBERG, H. Condicionantes Geomorfológicos dos Deslizamentos nas Encostas: Avaliação de Metodologias e Aplicação de Modelo de Previsão de Áreas Susceptíveis. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 2, n. 1, 19 dez. 2001.

GOMES, R.; GUIMARÃES, R.; DE CARVALHO, J. O.; FERNANDES, N.; DO AMARAL JÚNIOR, E. Combining Spatial Models for Shallow Landslides and

Debris-Flows Prediction. **Remote Sensing**, v. 5, n. 5, p. 2219–2237, 10 maio 2013.

GRAMANI, M. F. A corrida de massa no córrego Guarda-Mão, município de Itaoca (SP): Impacto e observações de campo. Em: the 15º Brazilian Congress of Engineering and Environmental Geology, Proceedings, 2015, Bento Gonçalves. [...]. Bento Gonçalves: 2015. p. 1–10.

GRAMANI, M. F.; ARDUIN, D. H. Morfologia dos Depósitos de Debris Flow em Itaoca, São Paulo. Em: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2015, Bento Gonçalves. [...]. Bento Gonçalves: 2015. v. 15

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. **Estabilidade de taludes naturais e de escavação**. [s.l.] Editora Blucher, 1976.

GUIMARÃES, R. F.; MONTGOMERY, D. R.; GREENBERG, H. M.; FERNANDES, N. F.; TRANCOSO GOMES, R. A.; DE CARVALHO, O. A. Parameterization of soil properties for a model of topographic controls on shallow landsliding: application to Rio de Janeiro. **Engineering Geology**, v. 69, n. 1–2, p. 99–108, abr. 2003.

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, n. 1–2, p. 42–66, abr. 2012.

HIGHLAND, L. M.; B. P. **The landslide handbook - A guide to understanding landslides**. Reston, Virginia: U.S. Geological Survey, 2008. 129 p.

HSÜ, K. J. Catastrophic debris streams (sturzstroms) generated by rockfalls. **Geological Society of America Bulletin**, v. 86, p. 129, 1975.

JONES, F. O. **Landslides of Rio de Janeiro and the Serra das Araras escarpment, Brazil**. Washington: United States Government Printing Office, 1973. 0–42 p.

KANJI, M. A.; CRUZ, P. T.; MASSAD, F. Debris flow affecting the Cubatão Oil Refinery, Brazil. **Landslides**, v. 5, n. 1, p. 71–82, 28 fev. 2008.

MARQUES, M. C. de O.; COELHO NETTO, A. L.; SATO, A. M. Influência de floresta secundária e gramínea na deflagração de deslizamentos translacionais rasos em Nova Friburgo, Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 19, n. 4, 1 out. 2018.

MARTINS, T. D.; OKA-FIORI, C.; VIEIRA, B. C. Mapeamento de Cicatrizes de Escorregamentos utilizando imagem multiespectral. **Geography Department University of São Paulo**, v. 30, p. 96, 15 dez. 2015.

MARTINS, T. D.; OKA-FIORI, C.; VIEIRA, B. C.; BATEIRA, C. Considerações sobre o LiDAR na análise de instabilidade de vertentes. **Terr Plural**, v. 14, p. 1–15, 2020.

MARTINS, T. D.; OKA-FIORI, C.; VIEIRA, B. C.; BATEIRA, C. V. M.; MONTGOMERY, D. R. Avaliação de MDT na Modelagem de Instabilidade de Vertentes. **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 41, p. 07, 28 ago. 2017a.

MARTINS, T. D.; OKA-FIORI, C.; VIEIRA, B. C.; CORREA, A. C. de B.; BATEIRA, C. V. M. Análise dos parâmetros morfológicos e os escorregamentos rasos na Serra do Mar, Paraná. **Caminhos de Geografia**, v. 18, n. 63, p. 223–239, 29 set. 2017b. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/37589>>.

MARTINS, T. D.; OKA-FIORI, C.; VIEIRA, B. C.; CORREA, A. C. de B.; BATEIRA, C. V. M. Análise dos Parâmetros morfológicos de escorregamentos rasos na Serra do Mar, Paraná. **Caminhos de Geografia**, v. 18, n. 63, 29 set. 2017c.

MASSAD, F.; CRUZ, P. T.; KANJI, M. A. E.; ARAUJO FILHO, H. A. Characteristics and Volume of Sediment Transported in Debris Flows in Serra do Mar, Cubatão, Brasil. **International Workshop on Debris Flow Disaster of December 1999 in Venezuela**, 2000.

MATOS, L. D. J.; FERREIRA, C. J.; BATEIRA, C. V. de M.; VIEIRA, B. C. Avaliação das Construções Danificadas por Corridas de Detritos e Inundações Bruscas no Vale do Ribeira (SP) em 2014. **Geography Department University of São Paulo**, p. 57–67, 9 set. 2018. Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/144423>>.

MCDougall, S. 2014 Canadian Geotechnical Colloquium: Landslide runout analysis — current practice and challenges. **Canadian Geotechnical Journal**, v. 54, n. 5, p. 605–620, maio 2017.

MONTGOMERY, D. R.; DIETRICH, W. E. A physically based model for topographic controls on shallow landsliding. **Water Resources Research**, v. 30, p. 1153–1171, 1994.

NERY, T. D. **Avaliação da suscetibilidade a escorregamentos translacionais rasos na bacia da ultrafértil, Serra do Mar (SP)**. 2011. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

NETTO, A. L. C.; SATO, A. M.; DE SOUZA AVELAR, A.; VIANNA, L. G. G.; ARAÚJO, I. S.; FERREIRA, D. L. C.; LIMA, P. H.; SILVA, A. P. A.; SILVA, R. P. January 2011: The Extreme Landslide Disaster in Brazil. *Em: Landslide Science and Practice*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2011. p. 377–384.

NOTT, J. **Extreme Events**. Cambridge: Cambridge University Press, 2006.

PLANET TEAM. **Planet Application Program Interface: In Space for Life on Earth**. São Francisco, CA. 2017.

RAMOS, V. M.; GUIMARÃES, R. F.; REDIVO, A. L.; CARVALHO JÚNIOR, O. A. de; FERNANDES, N. F.; GOMES, R. A. T. G. Avaliação de Metodologias de Determinação do Cálculo de Áreas de Contribuição. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, n. Ano 4, Nº 2, p. 41–49, 2003.

ROSS, J. L. S. Ribeira do Iguape Basin Morphogenesis and the Environmental Systems. **GEOUSP: Espaço e Tempo (Online)**, n. 12, p. 21, 6 dez. 2002. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/geousp/article/view/123770>>.

ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. **Geography Department, University of Sao Paulo**, p. 41–58, 1996.

ROSSI, M. Mapa pedológico do Estado de São Paulo: revisado e ampliado. **São Paulo: Instituto Florestal**, v. 1, p. 118, 2017.

SALAZAR, C. A.; ARCHANJO, C. J.; BABINSKI, M.; LIU, D. Magnetic fabric and zircon U–Pb geochronology of the Itaoca pluton: Implications for the Brasiliano deformation of the southern Ribeira Belt (SE Brazil). **Journal of South American Earth Sciences**, v. 26, n. 3, p. 286–299, nov. 2008. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0895981108000850>>.

SELBY M.J. **Hillslope: materials and process**. Oxford, England: Oxford University Press, 1993.

SELUCHI, M. E.; CHOU, S. C. Synoptic patterns associated with landslide events in the Serra do Mar, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 98, n. 1–2, p. 67–77, 14 set. 2009.

SIDLE R. C; OCHIAI H. **Landslides: Processes, Prediction, and Land Use**. Washington.: Water Resources Monograph 18, American Geophysical Union, 2006. 0–312 p.

SUMMERFIELD, M. A. **Global geomorphology: An introduction to the study of Landforms**. New York: Routledge, 2013. 537 p.

TARBOTON, D. G. A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models. **Water Resources Research**, v. 33, n. 2, p. 309–319, fev. 1997.

TATIZANA, C.; OGURA, A. T.; CERRI, L. D. S.; ROCHA, M. D. Análise de correlação entre chuvas e escorregamentos—Serra do Mar, município de Cubatão. **Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia**, p. 225–236, 1975.

VAN WESTEN, C. J.; VAN ASCH, T. W. J.; SOETERS, R. Landslide hazard and risk zonation—why is it still so difficult? **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**, v. 65, n. 2, p. 167–184, 15 maio 2006.

VIANNA, L. F. N. Relatório sobre o levantamento dos deslizamentos ocasionados pelas chuvas de novembro de 2008 no complexo do Morro do Baú, municípios de Ilhota, Gaspar e Luiz Alves. **Epagri-Sede.**, 2009.

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

VIEIRA, B. C.; GRAMANI, M. F. Serra do Mar: The Most “Tormented” Relief in Brazil. *Em: Landscapes and Landforms of Brazil*. Dordrecht: Springer, 2015. p. 285–297.

VIEIRA, B. C.; RAMOS, H. Aplicação do modelo Shalstab para mapeamento da suscetibilidade a escorregamentos rasos em Caraguatatuba, Serra do Mar (SP). **Geography Department University of Sao Paulo**, v. 29, p. 161, 17 jun. 2015.

WANG, Q.; LI, W.; CHEN, W.; BAI, H. GIS-based assessment of landslide susceptibility using certainty factor and index of entropy models for the Qianyang County of Baoji city, China. **Journal of Earth System Science**, v. 124, n. 7, p. 1399–1415, 2 out. 2015.