Magnitude de corridas de detritos na Serra do Mar (SP): avaliação de diferentes métodos de classificação

Maria Carolina Villaça Gomes[1]

Vivian Cristina Dias

Bianca Carvalho Vieira

***Resumo**: A determinação da magnitude de processos geomorfológicos de baixa recorrência, como as corridas de detritos, constitui uma das maiores dificuldades para a avaliação da sua variabilidade espacial, do grau de suscetibilidade e da sua probabilidade. Os procedimentos levam em conta o tamanho dos materiais mobilizados, o volume depositado e o seu o raio de alcance. Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar diferentes métodos/critérios (em escala de bacia hidrográfica) para determinação da magnitude de corridas de detritos na Serra do Mar (SP). Foram utilizados três métodos, baseados em: (i) índices adimensionais estabelecidos para atributos morfométricos (área da bacia, índice de circularidade, declividade média do canal principal, área acima de 30° e amplitude altimétrica), utilizando-se o Modelo Digital de Elevação com resolução de 5 metros e a base cartográfica (1:50.000); (ii) dimensão dos blocos dos depósitos de corridas de detritos, localizados na rede de drenagem, suas margens e em sopés de encostas, identificados em campo; e (iii) área de inundação da corrida de detrito. Foram selecionadas quatro bacias de drenagem, atingidas por volumes semelhantes de precipitação em março de 1967, em Caraguatatuba (SP): as bacias dos rios Aldeia, Guaxinduba, Pau D'Alho e Santo Antônio. Com base nos atributos morfométricos, as bacias foram hierarquizadas a partir do maior potencial de geração de corridas: Pau D'Alho, Guaxinduba, Aldeia e Santo Antônio. Considerando a dimensão dos blocos, todas as bacias foram classificadas como de maior magnitude, devido à existência de blocos grandes e gigantes. A área de inundação, por sua vez, levou à classificação da bacia do Santo Antônio como a de maior magnitude, seguida pela Guaxinduba, Pau D'Alho e Aldeia. A bacia do Guaxinduba apresentou resultados mais semelhantes para os três métodos de classificação. Os resultados distintos obtidos apontam para a necessidade de utilização de critérios múltiplos para a determinação da magnitude destes eventos.*

***Palavras-chave:** Corridas de detritos; morfometria de bacias; magnitude; Serra do Mar.*

Debris flows magnitude in the Serra do Mar (SP): evaluating different classification methods

***Abstract**: Determining the magnitude of geomorphological processes with low recurrence, such as debris flows is a major difficulty for the assessment of their spatial variability, the degree of susceptibility and probability. Procedures take into account the size of the mobilized materials, the deposited volume and their runout distance. Therefore, the goal of this study was to evaluate different methods/criteria (at drainage basin scale) for determining debris flow magnitude in the Serra do Mar (SP). Three methodological procedures were employed based on: (i) Dimensionless*

[1] Professora Colaboradora do Departamento de Geociências da Universidade Estadual de Ponta Grossa, mcarolvg@yahoo.com.br

Ratios established for morphometric attributes (basin area, circularity index, slope mean channel, area above 30° and relief), using the Digital Elevation Model with a 5 m-resolution and base maps (1:50.000); (ii) Size of boulders within debris flows deposits, located in the drainage network, its banks and foothills, identified in field work; (iii) the flood area of the debris flows. We selected four drainage basins, hit by similar rainfall amounts in March 1967, in Caraguatatuba (SP): Aldeia, Guaxinduba, Pau D'Alho and Santo Antônio basins. Based on morphometric attributes, they were ranked by the higher potential of triggering debris flows: Pau D'Alho, Guaxinduba, Aldeia and Santo Antônio. Considering the size of the boulders, whole basins have been categorized as largest magnitude, due to the existence of large and giant boulders. The flood area led to the classification of the Santo Antônio basin as the largest magnitude, followed by Guaxinduba, Pau D'Alho and Aldeia. Guaxinduba basin showed more similar results for the three classification methods. The different results point to the need to use multiple criteria to determine the magnitude of such events.

Keywords: *Debris flows; basin morphometry; magnitude; Serra do Mar.*

Introdução

Os movimentos de massa são considerados um dos os principais processos geomorfológicos na evolução e na dinâmica das encostas, especialmente em regiões montanhosas. Dentre estes, as corridas de detritos se destacam devido a sua grande competência para exercer o trabalho geomorfológico, representado pelo seu alto potencial de transporte de materiais diversos por longas distâncias, velocidade e raio de alcance (GUIDICINI E NIEBLE, 1984; SELBY, 1993; TAKAHASHI, 2007). São, em geral, descritas como fluxos de sedimentos sólidos e fluídos que se movem como "ondas" no canal existente ou pré-estabelecido pelo próprio fluxo, possuindo feição bem característica.

É possível identificar nas áreas atingidas depósitos com características específicas relacionadas ao tipo de fluxo, fundamentais para a identificação do processo, tais como a presença de materiais mal selecionados, de granulometrias diversas, a presença de blocos muito grandes que não poderiam ser mobilizados por processos de enxurradas e a inversão granulométrica, em que os materiais mais grosseiros (blocos) ficam suspensos pelos sedimentos mais finos (JOHNSON, 1970; COSTA, 1984; JAKOB, 2005) (Figura 1).

Além do seu papel na evolução do relevo, as corridas de detritos podem causar danos sociais e econômicos de grandes magnitudes, sobretudo quando atingem áreas densamente ocupadas. No Brasil, se destacam os eventos em: Caraguatatuba (SP) e na Serra das Araras (RJ), em 1967; em Cubatão (SP), em 1985; na cidade do Rio de Janeiro (RJ), em 1996; em Santa Catarina, em

2008; na Região Serrana do Rio de Janeiro, em 2011; e em Itaoca (SP), em 2014. Os eventos causaram grande número de mortos, desabrigados e danos às infraestruturas urbanas, além de provocarem modificações significativas na paisagem.

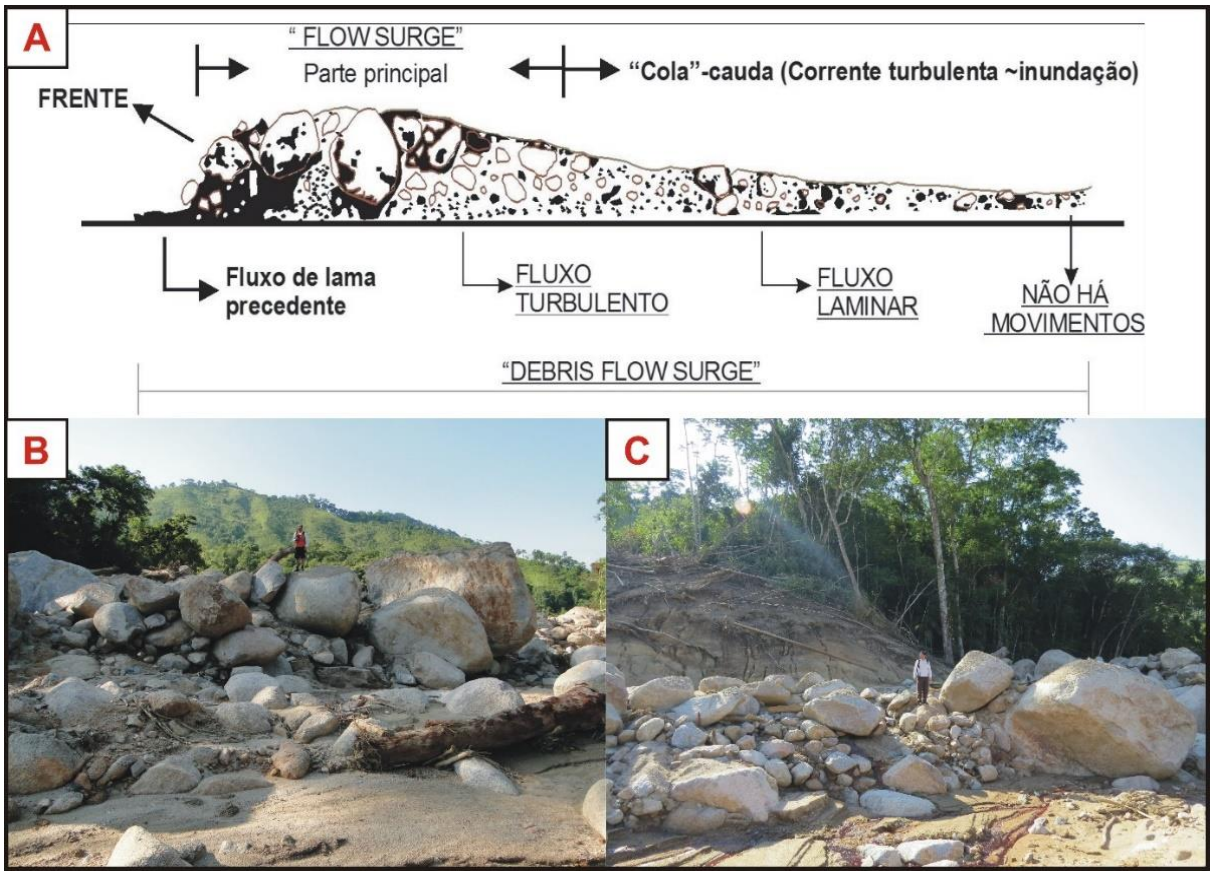

Figura 1: Perfil esquemático de uma corrida de detritos (A). Depósitos de corridas de detritos deflagradas em Itaóca, 2014 (B e C). Correlacionando as três imagens, é possível identificar as figuras B e C como parte da porção frontal da corrida, indicada no perfil como "Flow Surge", ou "Parte Principal". Destaca-se também a presença de blocos muito grandes.
Fonte: modificado de Ujueta e Mojica, 1995 (perfil) e Gramani, M. F. (Fotos).

Por tratar-se de um processo cujo intervalo de recorrência pode ultrapassar a escala da vida humana, é comum a reocupação de áreas suscetíveis ao processo, tornando-se importante para a prevenção de novos desastres a identificação e a avaliação dessas áreas para monitoramento e também para o estabelecimento de medidas mitigadoras pelos órgãos públicos responsáveis.

As corridas de detritos são um processo essencialmente hidrodinâmico relacionado aos canais de drenagem. Dessa forma, a caracterização morfométrica de bacias de drenagem vem sendo amplamente utilizada para a avaliação da suscetibilidade à ocorrência de corridas de detritos, determinação de sua magnitude e avaliação de fatores controladores do processo. A determinação da magnitude das corridas de detritos, por sua vez, constitui uma das maiores

dificuldades para a avaliação da sua variabilidade espacial, do seu grau de suscetibilidade e da sua probabilidade. Diversos estudos vêm sendo realizados em diferentes regiões do mundo buscando determinar a magnitude das corridas de detritos e a suscetibilidade de bacias hidrográficas ao processo (THURBER CONSULTANTS LTD., 1983; JOHNSON *ET AL.*, 1991; KANJI E GRAMANI, 2001; GRAMANI *ET AL*., 2005; JAKOB, 2005; STOFFEL, 2010). Os procedimentos existentes levam em conta, em grande parte, o tamanho dos materiais mobilizados, o volume depositado, bem como o seu o raio de alcance e características morfométricas das bacias hidrográficas. Entretanto, apesar do histórico de ocorrências catastróficas relacionadas às corridas de detritos, os estudos de cunho geomorfológico ainda são incipientes no Brasil.

Conforme o exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar diferentes métodos/critérios (em escala de bacia hidrográfica) para determinação da magnitude de corridas de detritos na Serra do Mar (SP).

Área de estudo

Para avaliação dos diferentes métodos de classificação de bacias hidrográficas suscetíveis a corridas de detritos, foi selecionado o município de Caraguatatuba, localizado no litoral norte do Estado de São Paulo e na porção sudeste da Serra do Mar, que se caracteriza, principalmente, pela proximidade com a escarpa da Serra do Mar e pelo clima tropical úmido, com predomínio de altos índices pluviométricos nos meses de dezembro a março.

O município foi selecionado devido justamente à ocorrência de movimentos de massa (corridas de detritos e escorregamentos) de grande magnitude no desastre de 1967. Na ocasião, o município registrou um total pluviométrico de 946 mm no mês de março de 1967, chegando ao ápice nos dias 16 e 17 do mesmo mês (cerca de 586 mm em 48 horas). Os materiais oriundos dos escorregamentos e das corridas de detritos atingiram as porções mais suaves do relevo, chegando até a área urbana do município. Estima-se que mais de 2 milhões de toneladas de materiais foram transportados, provocando a morte de 120 pessoas, a destruição de cerca de 400 casas e danos à Rodovia Tamoios (Figura 2).

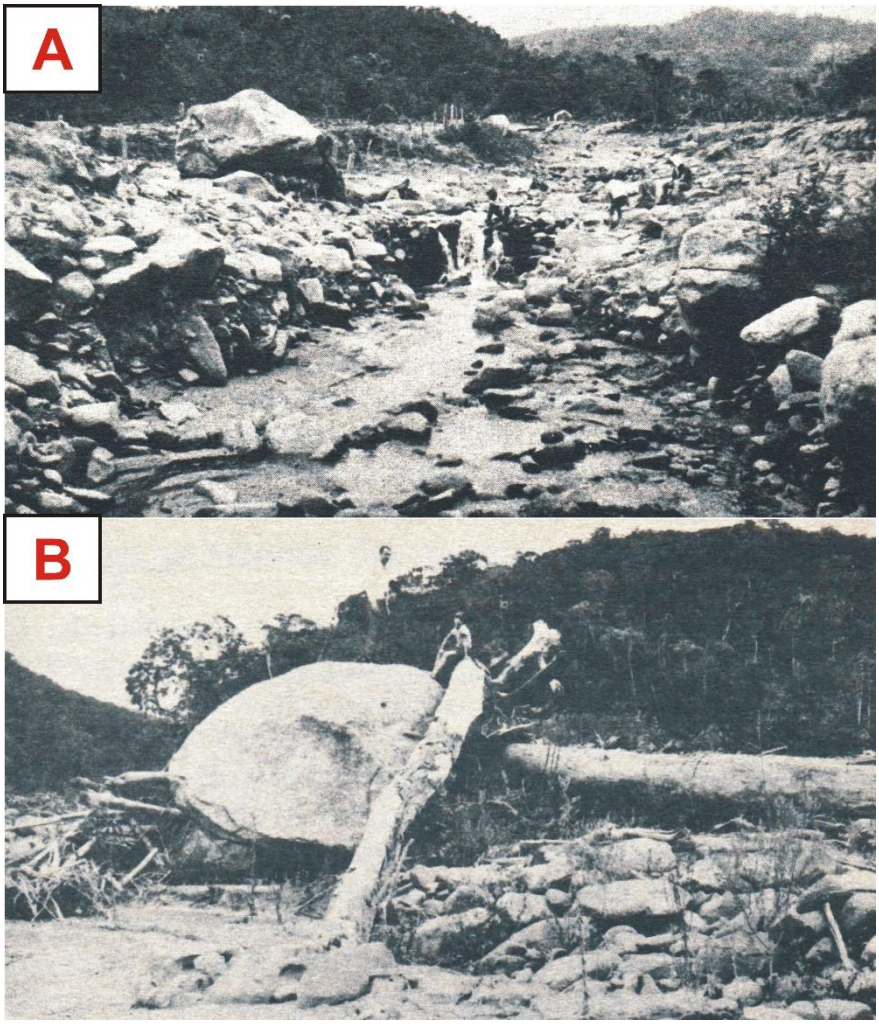

Figura 2: Depósitos de corridas de detritos ocorridas no evento de 1967, em Caraguatatuba/SP. A: vista geral dos depósitos de corridas de detritos, compostos por blocos e matéria orgânica (troncos de árvores); B: detalhe para o tamanho dos blocos transportados.
Fonte: Arquivo Público de Caraguatatuba.

Na escala do município, foram selecionadas quatro bacias hidrográficas (Ribeirão da Aldeia, Guaxinduba, Pau D'Alho e Santo Antônio) atingidas por corridas de detritos (Figura 3), por apresentarem volumes semelhantes de precipitação (entre as isoietas de 400 e 500 mm), e evidências de ocorrência de corridas de elevada magnitude, verificadas com base na literatura e em trabalhos de campo.

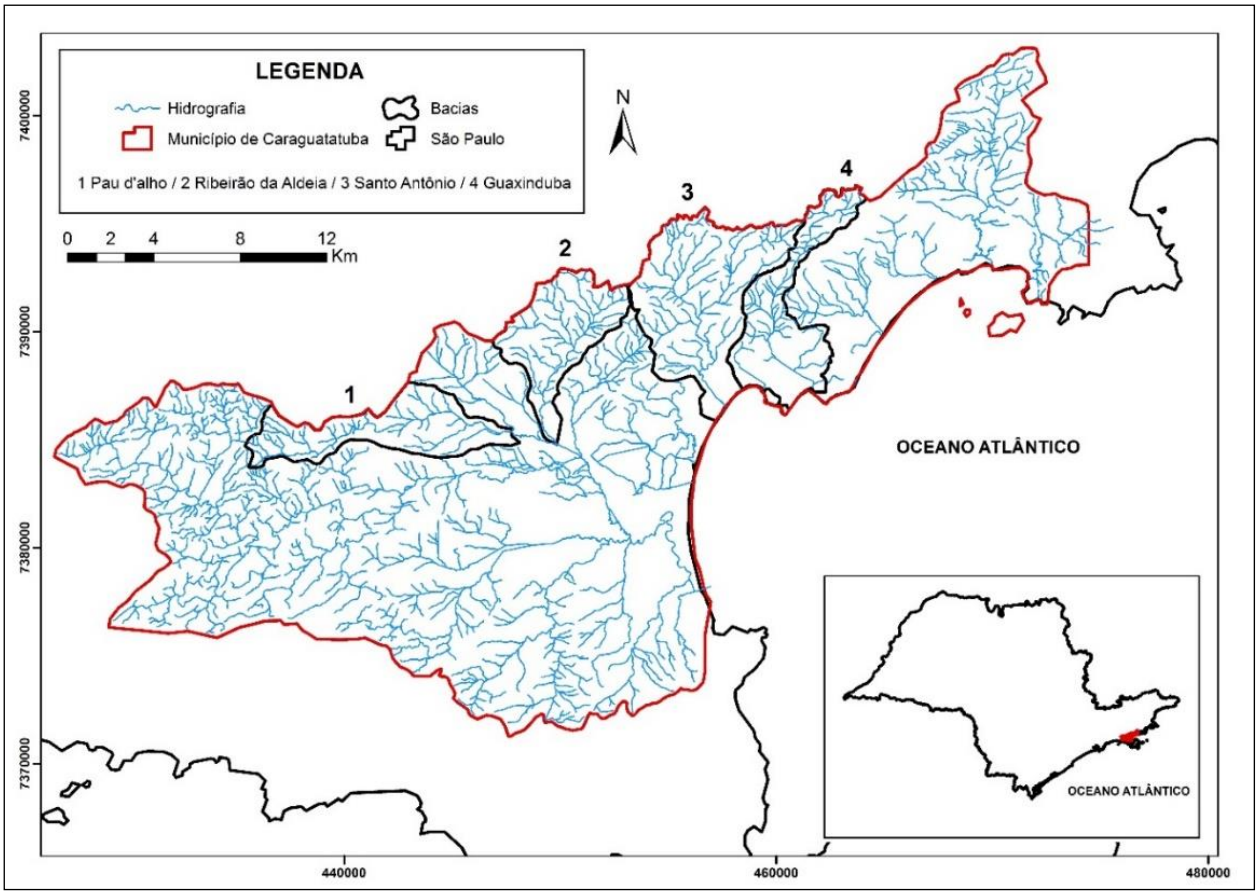

Figura 3: Localização das bacias selecionadas para análise no município de Caraguatatuba, litoral norte de São Paulo.

Materiais e métodos

Foram utilizadas três propostas metodológicas, que consideram diferentes critérios para estimar a capacidade de geração de corridas de detritos. O método desenvolvido por Gramani *et al*. (2005) (*M1*) propõe uma análise qualitativa simplificada baseando-se em Índices Adimensionais (IA's) de parâmetros morfométricos considerados como condicionantes de corridas induzidas por escorregamentos nas encostas. De acordo com os autores, esta análise tem o objetivo identificar o grau de criticidade relativo entre as bacias de drenagem estudadas. Os parâmetros empregados pelos autores nesta análise foram selecionados a partir de casos nacionais e internacionais reportados na literatura, sobretudo aqueles com maior frequência associados à maior predisposição às corridas na Serra do Mar, como a área total da bacia, a amplitude da bacia, a declividade da drenagem principal e o índice de circularidade.

Os valores obtidos para cada parâmetro foram transformados em índices adimensionais, isto é, para um mesmo parâmetro, os valores de cada bacia foram divididos pelo menor valor deles, o que foi denominado "normalização". Após esta etapa, procedeu-se à ponderação, cujos pesos foram definidos segundo sua importância relativa no processo de geração e desenvolvimento de corridas de massa (GRAMANI *et al*., 2005), com base em Kanji e Gramani (2001) (Tabela 1). Posteriormente, foram somados os valores ponderados de todos os parâmetros para cada bacia e, por fim, aplicou-se a normalização novamente, resultando em um índice relativo de criticidade entre as bacias, em que, quanto maior a soma, mais suscetível é a bacia. Nesta pesquisa para extração dos atributos morfométricos conforme a proposta de Gramani *et al*., (2005), foi utilizado o Modelo Digital de Elevação (MDE) com resolução de 5 metros da Empresa Paulista de Planejamento Urbano S. A (EMPLASA) e a base cartográfica 1:50.000 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Tabela 1: Parâmetros morfométricos e os respectivos pesos utilizados na análise quantitativa.

Fatores	**Peso**
% Área total declividade > 30°	2,50
Inverso da área total	0,50
Amplitude da bacia	1,00
Declividade da drenagem principal	0,50
Inverso da circularidade	0,50

Fonte: Gramani *et al*. (2005).

O segundo método (*M2*) baseia-se na dimensão dos blocos dos depósitos de corridas de detritos proposto por Stoffel (2010). O autor reconstruiu a relação magnitude-frequência de corridas nos Alpes Suíços, utilizando a dimensão dos blocos como um dos critérios para a determinação da magnitude das corridas, classificando os blocos em pequenos (< 0,5 m), médios (0,5 a 1,5 m), grandes (1,5 a 2,5 m) e gigantes (> 2,5 m) (Tabela 2). Assim, para este artigo foram realizados trabalhos de campo para mensuração do tamanho dos blocos das corridas de detritos de 1967, identificados com base nos seguintes critérios: proximidade dos blocos à rede de drenagem e sopés de encostas, inversão granulométrica e imbricamento dos blocos. Os depósitos identificados em campo foram georreferenciados para posterior mapeamento, elaborando-se um *buffer* de 50m nas drenagens, para relacionar os depósitos identificados em campo e os cursos d'água.

Tabela 2: classificação dos depósitos com base na dimensão dos blocos (diâmetros).

Classe	Dimensão dos blocos (diâmetro)
Pequeno (S)	< 0,5 m
Médio (M)	0,5 a 1,5 m
Grande (L)	1,5 a 2,5 m
Muito Grandes (XL)	> 2,5 m

Fonte: modificado de Stoffel (2010).

Um terceiro método (*M3*) foi baseado em Jakob (2005), que propôs uma classificação das consequências potenciais associadas a corridas a partir da avaliação do volume total mobilizado, pico máximo de vazão, e/ou a área de inundação (Tabela 3).

Tendo em vista que se trata de uma análise baseada em um evento ocorrido há quase 50 anos e que são imprecisos (ou até mesmo inexistentes) os dados de volume total mobilizado e do pico máximo de vazão de cada bacia com relação às corridas de detritos, optou-se pelo critério de área inundada (m²) de Jakob (2005). Neste é considerado o alcance total da corrida de detritos na bacia, ou seja, a área total inundada ou atingida. Para a sua determinação, além de trabalhos de campo para identificação de depósitos do processo, foram utilizados os mapas de áreas atingidas por movimentos de massa em 1967 e a carta geomorfológica da região de Caraguatatuba, elaborados por Cruz (1974) e Cruz (1990), respectivamente.

Tabela 3: Classificação de magnitude de corridas de detritos.

CLASSIFICAÇÃO DE MAGNITUDE DE CORRIDAS DE DETRITOS				
Nível	**Volume (m^3)**	**Pico de Vazão (m^3/s)***	**Área inundada (m^2)***	**Consequências Potenciais**
1	$< 10^2$	< 5	$< 4 \times 10^2$	Dano muito localizado em pequenas construções.
2	10^2 - 10^3	5 - 30	4×10^2 - 2×10^3	Pode enterrar/arrastar carros, destruir pequenas construções de madeira, derrubar árvores, bloquear dutos e descarrilar trens.
3	10^3 - 10^4	30 - 200	2×10^3 - 9×10^3	Pode destruir grandes construções, destruir pontes de concreto, bloquear ou danificar estradas e dutos.
4	10^4 - 10^5	200 - 1.500	9×10^3 - 4×10^4	Pode destruir partes de um vilarejo, destruir parte de infraestruturas, pontes e bloquear canais.
5	10^5- 10^6	1.500 - 12.000	4×10^4 - 2×10^5	Pode destruir partes de uma cidade, destruir florestas de 2km² de área, bloquear canais e pequenos rios.
6	10^6 - 10^7	N/A	$> 2 \times 10^5$	Pode destruir partes de uma cidade, entulhar vales ou depósitos de mais de 10 km² de tamanho, criar barragens de materiais em rios (bloqueio).
7	10^7 - 10^8	N/A	N/A	Pode destruir partes de uma cidade, obstruir vales, com depósitos de mais de 10 km² em tamanho e criar barragens de materiais em rios (bloqueio).

8	10^8 - 10^9	N/A	N/A	Pode destruir cidades e inundar grandes vales, com depósitos maiores de 100 km² de tamanho, criar barragens de materiais em rios (bloqueio).
9	10^9 - 10^{10}	N/A	N/A	Destruição vasta e completa por mais de centenas de km².
10	> 10^{10}	N/A	N/A	Destruição vasta e completa por mais de centenas de km².

Fonte: modificado de Jakob (2005).
*Dados específicos para corridas de detritos com blocos (não vulcânicas). N/A: sem observação destas magnitudes para corridas de detritos com grandes blocos.

Resultados e discussão

Quanto aos resultados da aplicação do *M1,* os parâmetros que apresentaram maior amplitude foram a Área e o Índice de Circularidade (Tabela 4). Para a Área, o valor mais elevado foi obtido para a bacia do Guaxinduba (2,25), seguido pelas bacias do Ribeirão Aldeia (1,50), Pau D'Alho (1,25) e Santo Antônio (1,00). Para o Índice de Circularidade, o maior valor também foi obtido para a bacia do Guaxinduba (3,57), e, para as demais, foram expressivamente inferiores: Pau D'Alho (0,98), Aldeia (0,64) e Santo Antônio (0,64).

Os parâmetros de Amplitude Altimétrica, Declividade Média do Canal e Área acima de 30° não exibiram grande variação. O Ribeirão Pau D'Alho apresentou maior Amplitude Altimétrica (1,56), seguida pela bacia do Guaxinduba (1,39), Santo Antônio (1,24) e Aldeia (1,15). Para a Declividade Média do Canal, o maior valor foi observado para o Ribeirão Pau D'Alho (0,73), e inferiores para a bacia do Aldeia (0,58), Santo Antônio (0,58) e Guaxinduba (0,52). A Área acima de 30°, por sua vez, é maior para a bacia do Aldeia (3,7), tendo sido obtidos valores próximos para as demais bacias – Pau D'Alho (3,15), Santo Antônio (3,02) e Guaxinduba (2,82).

Os valores de Índices Adimensionais (IA's) mais elevados para todos os parâmetros foram obtidos para as bacias do Ribeirão Pau D'Alho, sobretudo a Área acima de 30°, cuja ponderação foi a maior (2,5). A bacia do Aldeia apresentou valores medianos para a maior parte dos parâmetros, tendo sido elevado apenas para a Amplitude Altimétrica, enquanto para a Santo Antônio foram observados valores médios mais baixos para todos os IA's. A partir do M1, os IA's finais para cada bacia levaram à seguinte hierarquia do maior potencial de geração de corridas: Pau D'Alho, Guaxinduba, Aldeia e Santo Antônio.

Tabela 4: Resultados da aplicação do M1: parâmetros morfométricos absolutos, normalizados e ponderados (IA's), IA's por bacia e hierarquia do potencial de geração de corridas de detritos

PARÂMETRO		BACIA DE DRENAGEM			
		Aldeia	Guaxinduba	Pau D'Alho	Santo Antônio
Área (A)	A	18,05	10,74	20,01	24,14
	1/A	0,06	0,09	0,05	0,04
	IA 1/A	1,5	2,25	1,25	1,0
	IA*0,5	0,75	1,13	0,63	0,5
Índice de Circularidade (IC)	IC	0,43	0,26	0,28	0,4
	1/IC	2,33	3,85	3,57	2,33
	IA 1/IC	1	1,65	1,53	1
	IA*0,5	0,5	0,83	0,77	0,5
Amplitude Altimétrica (AA)	AA	762	921	1035	826
	IA AA	1,0	1,2	1,35	1,08
	IA*1,0	1	1,2	1,35	1,08
Declividade Média do Canal (DMC)	DMC	19,86	17,74	25,16	19,88
	IA DMC	1,12	1,0	1,41	1,12
	IA*0,5	0,56	0,5	0,7	0,56
% da área acima de 30° (A30)	A30	36,82	28,21	31,3	30,09
	IA A30	1,3	1,0	1,26	1,21
	IA*2,5	3,26	2,5	2,77	2,66
SOMA DOS IA's		6.07	6.16	6,22	5,03
IA FINAL		1,2	1,22	1,23	1,0
Hierarquização do potencial de geração de corridas de detritos		3	2	1	4

Conforme os critérios do *M2*, os depósitos de blocos rochosos identificados em campo são constituídos por blocos de dimensões decimétricas a métricas, ocorrendo em declives que não ultrapassaram os 20°, em sua maioria até a cota altimétrica de 150 m. Acima desta cota, foram encontrados patamares litoestruturais (*knickpoints)* e, quando ocorrem, há a formação de barramentos naturais principalmente nestes patamares (Figura 4A).

Em bacias com drenagem mais encaixada, os depósitos foram identificados no próprio canal, às suas margens e próximos ao sopé das encostas (Figura 4B). Em bacias onde ocorrem planícies aluviais mais desenvolvidas, os blocos também foram observados nelas, ainda que em menor concentração (Figura 4C). É notório que, nas bacias com planícies alveolares, a maior parte do material transportado depositou-se no interior destas.

Em todas as bacias verificou-se a existência de blocos "grandes" a "gigantes", indicando ocorrência de corridas de detritos de maior magnitude, levando-se em conta a classificação proposta por Stoffel (2010).



Figura 4: Depósitos identificados nas quatro bacias de drenagem: (A) Blocos depositados em soleira rochosa na bacia do Ribeirão Pau D'Alho; (B) Depósito no canal principal da bacia do Guaxinduba, próximo ao contato escarpa/planície e; (C) Blocos em menor concentração na planície aluvial do Ribeirão da Aldeia.

Com base em *M3*, a área de inundação foi de 0,61 Km² (bacia do Ribeirão Pau D'Alho), 0,32 Km² (bacia da Aldeia), 3,55 Km² (bacia do Santo Antônio) e 1,12 Km² (bacia do Guaxinduba) (Figura 5). Portanto, de acordo com a classificação proposta por Jakob (2005), a bacia do Santo Antônio foi considerada de nível 3, as bacias do Pau D'Alho e Guaxinduba são de nível 2 e a bacia do Aldeia é de nível 1 (Tabela 5).

O nível 3 (Santo Antônio) representa as consequências potenciais mais críticas às áreas atingidas, como a destruição de grandes construções, pontes de concretos e bloqueios ou danos a obras lineares, como estradas e dutos. O nível 2, constatado para as bacias do Pau D'Alho e Guaxinduba, indicam o arraste/enterro de carros, a destruição de construções de madeiras, queda de árvores e descarrilamento de trens. Por fim, o nível 1, verificado para a bacia do Ribeirão Aldeia, o menor entre todas as bacias, teria consequências localizadas em pequenas construções.

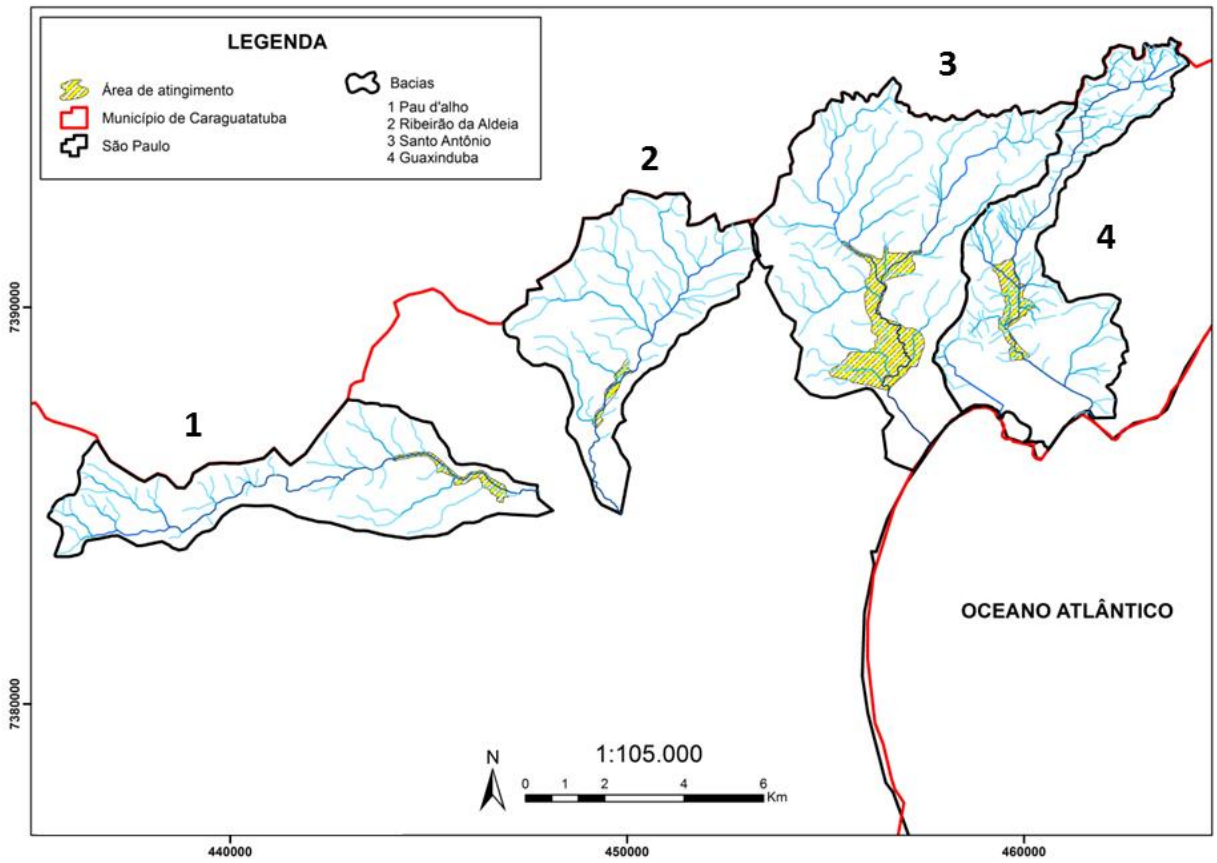

Figura 5: Área de Inundação das corridas de detritos. Estas foram definidas a partir dos mapeamentos de áreas atingidas por movimentos de massa em 1967 (CRUZ, 1990) e do mapa geomorfológico de Caraguatatuba (CRUZ, 1974).

Tabela 5: Consequências potenciais das corridas de detritos nas bacias de drenagem estudadas.

CLASSIFICAÇÃO DE MAGNITUDE DE CORRIDAS DE DETRITOS			
Nível	**Bacia hidrográfica**	**Área inundada (m²)**	**Consequências Potenciais**
1	**Ribeirão da Aldeia**	$< 4 \times 10^2$	Dano muito localizado em pequenas construções.
2	**Guaxinduba Pau D'Alho**	$4 \times 10^2 - 2 \times 10^3$	Pode enterrar/arrastar carros, destruir pequenas construções de madeira, derrubar árvores, bloquear dutos e descarrilar trens.
3	**Santo Antônio**	$2 \times 10^3 - 9 \times 10^3$	Pode destruir grandes construções, destruir pontes de concreto, bloquear ou danificar estradas e dutos.
4		$9 \times 10^3 - 4 \times 10^4$	Pode destruir partes de um vilarejo, destruir parte de infraestruturas, pontes e bloquear canais.
5		$4 \times 10^4 - 2 \times 10^5$	Pode destruir partes de uma cidade, destruir florestas de 2km² de área, bloquear canais e pequenos rios.
6		$> 2 \times 10^5$	Pode destruir cidades, entulhar vales ou depósitos de mais de 10 km² de tamanho, criar barranges de materiais em rios (bloqueio).

Fonte: modificado de Jakob (2005).

De forma geral, os três métodos – os Índices Adimensionais de Gramani *et al.* (2005) (*M1*), a mensuração dos blocos em campo, proposta por Stoffel (2010) (*M2*) e a determinação da área

de inundação (JAKOB, 2005) (*M3*) – resultaram em diferentes classificações da magnitude de corridas das corridas de detritos (Tabela 6). Os Índices Adimensionais (IA) e a Área de Inundação foram significativamente distintos, como se observa para a bacia do Santo Antônio, cujo IA é o menor e a Área de Inundação é a maior, enquanto para a Pau D'Alho a situação é inversa.

Tabela 6: Comparação entre resultados obtidos para os diferentes métodos (M1, M2, M3).

BACIA	MAGNITUDE DAS CORRIDAS DE DETRITOS		
	M1	M2	M3
Aldeia	3 (1,15)	MAIOR	4
Guaxinduba	2 (1,19)	MAIOR	2
Santo Antônio	4 (1,004)	MAIOR	1
Pau D'Alho	1 (1,24)	MAIOR	3

Pode-se justificar esta diferença levando-se em conta ao maior peso atribuído ao parâmetro Área acima de 30°, que é considerado por Gramani *et al.* (2005) aquele de maior importância na gênese e propagação de corridas induzidas por escorregamentos nas encostas. Portanto, bacias com altos valores para este parâmetro são aquelas com maior potencial de geração de corridas. Por outro lado, as bacias com um maior desenvolvimento das planícies aluviais, que possuem menor porcentagem de Área acima de 30°, são aquelas com maiores áreas de inundação pelas corridas de detritos.

As maiores Áreas de Inundação ocorreram em bacias de drenagem onde há uma planície alveolar mais desenvolvida – Santo Antônio e Guaxinduba - que favoreceram a formação de um depósito espesso de material de frações arenosas e de blocos rochosos.

A aplicação da proposta metodológica de Stoffel (2010) levou à classificação de todos os depósitos como oriundos de corridas de detritos de maior magnitude. Por outro lado, verificou-se que, ainda que tenham sido observados blocos acima de 2,5 m, a localização dos mesmos não se dá nos mesmos compartimentos morfológicos, o que poderia, ainda, indicar a ocorrência de corridas com diferentes magnitudes.

A única bacia que apresentou resultados próximos para os três métodos de classificação foi a Guaxinduba. Quanto à classificação a partir dos IA's, embora sua Área acima de 30° tenha sido a menor, para todos os outros parâmetros os valores foram elevados, lhe conferindo uma alta capacidade de geração de corridas. A Área de Inundação, perfazendo quase a totalidade da

planície aluvial, mostrou que a partir deste método pôde-se classificá-la como de elevada magnitude. Observa-se, também, que os depósitos de blocos identificados nesta bacia estão dispostos nos níveis de terraços e planícies de inundação, e concentram-se principalmente ao longo do canal principal no contato escarpa-planície, onde é observado o maior volume de blocos.

Considerações finais

Os resultados obtidos a partir de diferentes métodos destacam a dificuldade em se adotar apenas um destes métodos, devido à própria dinâmica do meio natural como, por exemplo, a ação fluvial, que retrabalha o material mobilizado e depositado por corridas; o reestabelecimento da cobertura vegetal, ficando os depósitos em subsuperfície; e, não menos importante, a ação antropogênica.

Por fim, os resultados distintos apontam para a necessidade de utilização de critérios múltiplos para a determinação da magnitude destes eventos. Acredita-se que a incorporação de outras informações, como o volume de materiais arenosos mobilizados pelas corridas, pode contribuir para tornar mais preciso o volume transportado bem como a estimativa da área de inundação, além de métodos complementares que possam facilitar a determinação de depósitos referentes a eventos diferentes.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos pesquisadores Marcelo Gramani e Agostinho Tadashi Ogura (IPT) pelo apoio nos trabalhos de campo, ao apoio financeiro do CNPq (Processo 443412/2015-4).

Referências bibliográficas

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

CRUZ, O. (1974) A Serra do Mar e o litoral na área de Caraguatatuba – SP. Contribuição à geomorfologia litorânea tropical. Tese de Doutorado. IG – Série Teses e Monografias nº 11, 181p.

CRUZ, O. (1990) Contribuição geomorfológica ao estudo de escarpas da Serra do Mar. Revista do IG 11, p. 9-20.

GRAMANI, M. F.; OLIVITO, J. P. R.; AUGUSTO FILHO, O.; MAGALHÃES, F. S. (2005) Análise da potencialidade de geração de corridas de massa nos trechos serranos do duto OSBAT. 11º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental. Anais. Florianópolis, 15p.

GRAMANI; M. F.; VIEIRA, B. C. (2015) Serra do Mar: the most "tormented" relief in Brazil. In Vieira, B. C.; Salgado, A. A. R.; Santos, L. J. C. (Ed.) *Landscapes and Landforms of Brazil. Springer*, p. 285-297.

GUIDICINI, G. e NIEBLE, C. M. (1984) Estabilidade de taludes naturais e de escavação. São Paulo: Editora Blucher, 2ª edição, 206p.

JAKOB, M. (2005) Debris-flow hazard analysis. In Jakob, M.; Hungr, O. (Org.) *Debris-flow hazards and related phenomena.* Springer, p. 442-474.

JOHNSON, A. M. (1970) Physical Processes in Geology. A method for interpretation of natural phenomena – intrusions in igneous rocks, fractures and folds, flow of debris and ice. Freeman, Cooper & Company, San Francisco, Califórnia. 577p.

JOHNSON, P. A., MCCUEN, R. H., HROMADKA, T. V. (1991) Magnitude and frequency of debris flow. Journal of hydrology, 123. Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam, p. 69 – 82.

KANJI, M. A.; GRAMANI, M. F. (2001) Metodologia para determinação da vulnerabilidade a corridas de detritos em pequenas bacias hidráulicas. In: III Conferencia Brasileira de Estabilidade de Encostas (III COBRAE), 2001, Rio de Janeiro. III Conferencia Brasileira de Estabilidade de Encostas (III COBRAE). Rio de Janeiro: ABMS / NRRJ, 2001. v. 1.

SELBY, M. J. (1993) Mass wasting of soils. In: Hillslope materials and processes. Second Edition. Oxford University Press, Oxford, p. 249-355.

STOFFEL, M. (2010) Magnitude-frequency Relationships of Debris Flow – A Case Study Based on Field Survey and Tree-ring Records. *Geomorphology* 116: 67-76.

TAKAHASHI, T. (2007) Debris Flow: mechanics, prediction and countermeasures. Taylor & Francis Group, London, UK. 439p.

THUNDER CONSULTANTS LTD. (1983) Mitigation of debris flow hazard, Springs Creek fan, report to Morgan Stewart and Company Limited. Victoria, B. C.

UJUETA, G., MOJICA, J. (1995) Fotointerpretación y observaciones del flujo de escombros de Noviembre 13 de 1985 en Armero (Tolima, Colombia). *Geologia Colombiana* 19: 5-25.