Avaliação da Vulnerabilidade das Construções às Corridas de Detritos por meio do método PTVA (*Papathoma Tsunami Vulnerability* Assessment)

Luzia de Jesus Matos[1]

Bianca Carvalho Vieira

Cláudio José Ferreira

Resumo: *O método PTVA (Papathoma Tsunami Vulnerability Assessment) vem sendo aplicado em diversos países para mensurar a vulnerabilidade física dos elementos em risco a diferentes eventos naturais perigosos como inundações, escorregamentos rasos e corridas de detritos. No Brasil, as pesquisas relacionadas, especificamente, às corridas de detritos, ainda são incipientes frente aos demais processos, não obstante sua importância quanto às perdas socioeconômicas. Neste sentido, este artigo teve como objetivo identificar a vulnerabilidade física de construções expostas às corridas de detritos no município de Caraguatatuba (SP) utilizando-se do método PTVA. As etapas metodológicas foram: a) Classificação dos depósitos de corridas de detritos; b) Seleção dos critérios que afetam a vulnerabilidade das construções e sistematização de banco de dados; c) Avaliação multicritérios e d) Representação da vulnerabilidade final. Como resultados, foram mapeadas 38 áreas com uma vulnerabilidade final alta (8% das áreas), média (70 %) e baixa (22%) apresentando uma variação numérica de aproximadamente 30% entre a vulnerabilidade mais baixa e a mais alta. Diante da necessidade de avaliações de risco às corridas de detritos no Brasil, acredita-se que este artigo possa contribuir para o reconhecimento dos cenários de vulnerabilidade, sobretudo em paisagens como a Serra do Mar.*

Palavras chaves*: Corridas de Detritos; Vulnerabilidade; Serra do Mar.*

Vulnerability Assessment of Buildings to Debris Flow through the method PTVA (Papathoma Tsunami Vulnerability Assessment)

Abstract: *The PTVA method (Papathoma Tsunami Vulnerability Assessment) has been applied in diverse countries to measure the physical vulnerability of the elements at risk to different natural hazardous events such as floods, shallow landslides and debris flows. In Brazil, the research related to debris flow, especially, is still on its early stages compared to the study of other processes, even considering its importance relative to the socioeconomic losses caused. In this sense, this study aims to identify the physical vulnerability of buildings exposed to debris flows in the city of Caraguatatuba (SP) using the PTVA method. The methodological steps were: a) Classification of deposits of debris flow; b) Selection of criteria that affects the vulnerability of buildings and systematization of database; c) Multi-criteria evaluation d) Representation of the final vulnerability. As results were mapped 38 areas with a final vulnerability of high (8% in area), average (70%) and low (22%) with a variation of 30% between the lowest vulnerability and the highest one. Given the need for risk assessments to debris flow in Brazil it is believed that this research highlights the importance of recognizing the vulnerability scenarios especially in landscapes as the Serra do Mar Ridge.*

Keywords: *Debris Flow; Vulnerability; Serra do Mar.*

1Luzia de Jesus Matos, Mestre em Geografia pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia Física da Universidade de São Paulo. E-mail luziamattos@hotmail.com

Introdução

Dentre os movimentos de massa, as corridas ou *flows*, quer sejam de lama, de terra ou de detritos são processos que mobilizam grande volume de material, podendo alcançar grandes distâncias e ocasionar danos significativos (GUIDICINI e NIEBLE, 1976; SELBY, 1993) (Figura 1). Ainda que eventos importantes de corridas de detritos na Serra do Mar (GRAMANI, 2001; IPT, 2002) sejam frequentes e tenham causado prejuízos consideráveis, como por exemplo, os ocorridos em Caraguatatuba (SP), em 1967 e em Cubatão (SP) nas décadas de 1970, 1980 e 1990, no Vale do Itajaí (SC) em 2008, no Rio de Janeiro em 2011 e na região de Itaoca (SP) em 2014, são escassos os mapeamentos de perigo e ainda os estudos de vulnerabilidade física dos elementos em risco a este processo. As estimativas de danos e prejuízos registrados para a Serra do Mar (Tabela 1) normalmente levam em conta apenas o primeiro ano da ocorrência do evento natural perigoso, conforme relatórios, imprensa e dados das Defesas Civis. Nesse sentido, Birkmann (2006) aponta que os registros de perdas e danos devem ser feitos ao longo de todo o processo de recuperação dos elementos de risco atingidos e não apenas no ano de ocorrência do evento, obtendo-se, portanto, valores mais realísticos das condições de vulnerabilidade.

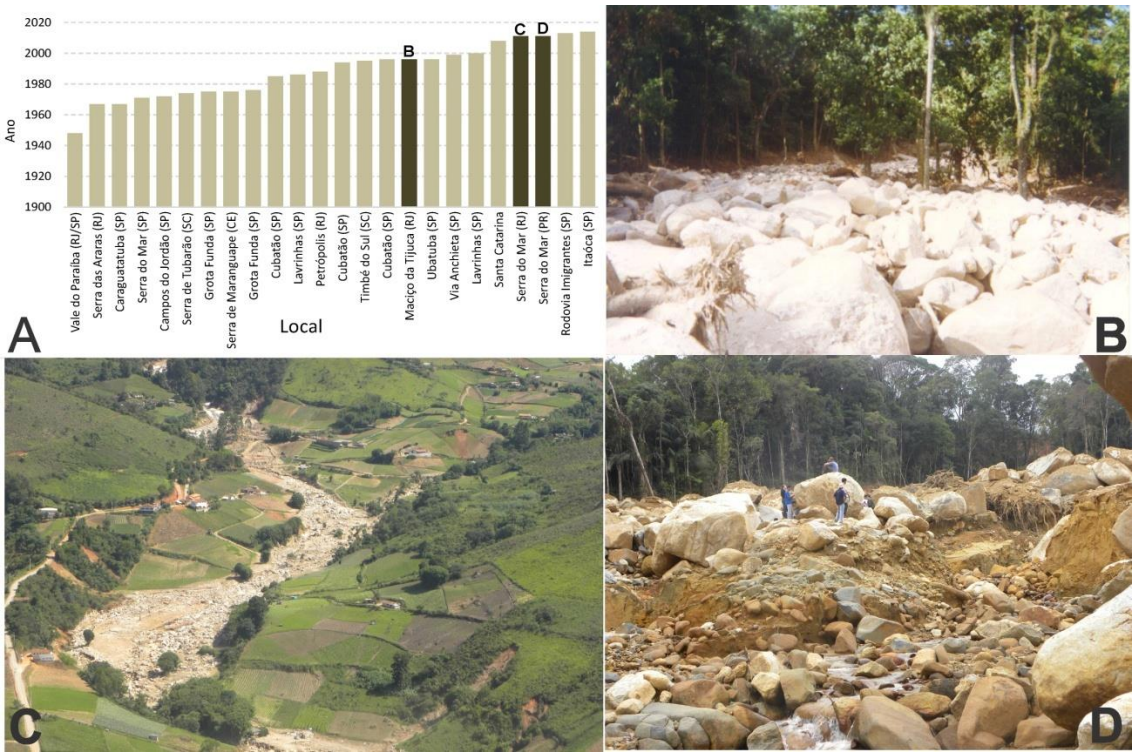


Figura 2: (A) Principais casos das corridas de detritos no Brasil; (B) Corrida no maciço da Tijuca (RJ) em 1996; (C) Corrida na Bacia do rio Vieira (Região Serrana do RJ) em 2011; (D) Corrida de detritos na Serra do Mar no município de Morretes (PR) em 2011. Fonte: Autores

Tabela 1: Ocorrências de corridas de detritos no Brasil e algumas perdas socioeconômicas.

LOCAL	DATA	PERDAS SÓCIOECONÔMICAS (*)	REFERÊNCIAS
Caraguatatuba (SP)	03/1967	Número de mortes entre 400 e 700; mais de 1.500 feridos; 200 casas destruídas; Interdição de rodovias.	Petri e Suguio (1971); Cruz (1974); jornais: Correio da Manhã e Folha da Tarde (1967, 1967a)/ Arquivo Público do Município de Caraguatatuba*.
Serra das Araras (RJ)	01/1967	1200 mortes, destruição de dezenas de casas, rodovias e uma usina hidrelétrica.	Gramani (2001)*
Serra de Tubarão (SC)	03/1974	199 mortos	Gramani (2001) adaptado de Augusto filho (1992)*
Petrópolis (RJ)	03/1988	171 mortes, 1100 moradias interditadas e 5000 desabrigados.	Gramani (2001)*
Cubatão (SP)	1976, 1994 e 1996	Copebrás: inundada por detritos e lama. Construções de novos reservatórios. Refinaria Petrobrás: inundada por detritos. Interrupção das operações de trabalho gerando perdas de US 44 milhões. Refinaria Petrobrás (RPBC), protegida por sistemas de emergência – não houve perdas, apenas limpeza.	Kanji et al. (1997); Gramani e Kanji (2001)*;Kanji et al. (2008)*
Lavrinhas (SP)	12/1996 e 01/2000	11 mortes; destruição de casas e pontes	IPT (1988); Gramani e Kanji (2001)*
Timbé do Sul/Jacinto Machado (SC)	12/1995	29 mortes; 20 casa destruídas; perdas na agricultura e pastagem	Pellerin et al. (1996/1997)*.
Santa Catarina	11/2008	110 mortes; 2 milhões de pessoas afetadas; mais de 80 mil pessoas desabrigadas e desalojadas; 60 municípios em estado de emergência; 14 em estado de calamidade pública	Banco Mundial (2012)*
Região Serrana (RJ)	01/2011	Mais de 1000 mortes	Banco Mundial (2012)*
Itaoca (SP)	01/2014	25 mortes e 2 desaparecimentos. Construções destruídas e 180 pessoas desalojadas.	Gramani e Mirandola (2014)*; Santoro (2014)* e Defesa Civil estadual*

Organização: Autores

Compreende-se por vulnerabilidade física (ou estrutural) a expectativa de perda do elemento exposto a um determinado fenômeno (VARNES, 1984; CARDONA, 2004; FUCHS et al. 2007; FUCHS, 2009). Na análise de risco, a vulnerabilidade física normalmente é expressa em porcentagem, indicando as características intrínsecas e relativas à magnitude de um evento perigoso (BIRKMANN, 2006; REMONDO et al. 2008).

A literatura nacional prima pela tentativa do reconhecimento físico e das classificações das corridas de detritos, como se observa em: Augusto Filho (1993); Gramani (2001); Gramani e Kanji (2001) e Kanji et al. (1997, 2003, 2008). Contudo, são escassos os estudos voltados a proteção e a recuperação das áreas atingidas pelas corridas de detritos. Ressalta-se, nesse sentido, a pesquisa de Kanji et al. (2001) que trataram da redução do impacto das corridas de detritos em Cubatão, propondo obras de proteção das encostas com a recuperação de áreas degradadas. Os autores destacaram que os serviços de proteção devem atender aos objetivos específicos de acordo com

os elementos de risco expostos (ex. as estruturas das propriedades). Ressaltaram também que os serviços de proteção devem considerar o cenário ambiental em que se localizam os elementos de risco fisicamente vulneráveis.

Sobre o assunto, a literatura internacional apresenta importantes avanços como: Fuchs et al. (2007); Weinmeister (2007); Holub e Hübl, (2008); Conway et al. (2010); Santi et al. (2011); Wen-Chun et al. *(*2012); Jakob et al. (2012); Thouret et al. (2014); Eidsvig et al. (2014) e Leonardi (2015). Destes trabalhos, destaca-se Holub e Hübl (2008) que discutiram as medidas de mitigação convencionais e a contribuição das estruturas locais em áreas suscetíveis às corridas de detritos, de modo a reduzir a vulnerabilidade de elementos de risco específicos, no caso, as construções, as pessoas e os danos financeiros.

Jakob et al. (2012) buscaram quantificar o dano nas construções (elemento de risco selecionado) quando atingidas pelas corridas de detritos, criando um índice de intensidade das corridas (*debris flow* índex) como produto da profundidade máxima esperada (*d* - profundidade) e a área da velocidade máxima do fluido (v) gerando a equação: (dfI = dv^2). Quatro classes de danos foram geradas em uma variação de "1" (uma inundação incômoda) a "4" (completa destruição). Weinmeister (2007) e Leonardi (2015) buscaram a diminuição do impacto das corridas de detritos com as estruturas físicas construídas por meio da descaracterização dos mecanismos das corridas (ex: separação dos detritos e fluidos, construção de reservatórios) e não do fortalecimento dos elementos de risco potencialmente atingidos.

O método **PTVA (*Papathoma Tsunami Vulnerability Assessment***), foco deste trabalho, determina a vulnerabilidade física dos elementos de risco expostos aos diferentes eventos naturais, sob uma abordagem qualitativa. Seus artigos base, Papathoma et al. (2003) e Papathoma e Dominey-Howes (2003), geraram o **PTVA-1** e foram modificados em Dominey-Howes et al. (2010), **PTVA-2** (TARBOTTON et al. 2012). Por fim, a elaboração do **PTVA-3** de Dall'Osso et al. (2009 e 2010) corresponde a versão mais recente e de ampla aplicação como verifica-se no seu uso por Barros et al. (2013) em Portugal; por Pagnoni e Tinti (2015) e Alberico et al. (2015) na Itália e por Marshall (2015) nos Estados Unidos. De modo geral, tais pesquisas consideraram a deflagração dos tsunamis, já que se trata do evento com o qual o método foi validado em 2004 na Ásia. Contudo, a versão do **PTVA-1** apresenta maior enfoque nos critérios de análise do elemento em risco do que no evento perigoso (TARBOTTON et al. 2012). Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi caracterizar a vulnerabilidade física das construções expostas às corridas de detritos no município

de Caraguatatuba (SP) utilizando-se o método PTVA (versão PTVA-1), considerando sua praticidade e capacidade de gerar importantes resultados acerca da vulnerabilidade física.

O Método PTVA (*Papathoma Tsunami Vulnerability Assessment*)

Este método apresenta três etapas de desenvolvimento: a) seleção dos critérios que afetam a vulnerabilidade; b) cálculo da vulnerabilidade por meio da avaliação de Multicritérios e c) representação espacial das classes de vulnerabilidade.

Conforme a classificação do elemento em risco (ex. pessoas, objetos, estruturas) são selecionados os critérios de vulnerabilidade. Após esta etapa, os mesmos critérios são quantificados e padronizados conforme a descrição de suas condições e exposição a partir do método de Avaliação de Multicritérios de Voogd (1983) com o cálculo da *Transformação Linear Simples.*

A este exemplo, ressalta-se as *construções,* elemento de risco avaliado em Papathoma et al. (2003) e Papathoma e Dominey-Howes (2003). Nestes estudos, um dos critérios selecionados foi o "*material de construção*", sendo suas características diante do evento perigoso descritas em três categorias: "*concreto*", "*alvenaria*" e "*material pobre* ou *menos resistente*", para as quais foram gerados os códigos "1", "2", e "3", respectivamente (PAPATHOMA et al. 2003; PAPATHOMA e DOMINEY-HOWES, 2003). A partir dessa quantificação aplicou-se o método da *Transformação Linear Simples* cujo cálculo corresponde à divisão de um dos "códigos" criados (1, 2 ou 3) pelo número máximo de códigos para cada critério. Assim, obtém-se a padronização dos critérios em valores que podem variar entre 0 e 1.

Calculada a padronização, atribui-se os pesos a cada critério selecionado, pois nenhum deles tem a mesma relevância na avaliação de vulnerabilidade. No caso das duas pesquisas de referência adotadas (PAPATHOMA et al. 2003 e PAPATHOMA e DOMINEY-HOWES, 2003), a atribuição e o ordenamento de pesos foram associados às medidas de mitigação e os resultados da *Transformação linear simples* multiplicados pelos pesos atribuídos. Seus resultados são posteriormente somados, em um cálculo da Avaliação de Multicritérios de Voogd (1983), chamado de *método de peso linear combinado* (PAPATHOMA-KÖHLE et al. 2007).

Em Papathoma-Köhle et al. (2007), o PTVA foi testado apenas para os escorregamentos considerando três elementos de risco; *as construções, as pessoas e as perdas financeiras* em Lichtenstein, vilarejo no sul da Alemanha. Sua discussão desenvolveu-se acerca da uniformidade das áreas então suscetíveis aos escorregamentos (zonas com diferentes intensidades de suscetibilidade) com o padrão da vulnerabilidade das construções sobre estas áreas. Assim, os critérios de vulnerabilidade utilizados para as *construções* foram: *material de construção,* as

condições do entorno, os *sinais de alerta como trincas e rachaduras nas paredes* e *número de andares*. Já em Kappes et al. (2012), o PTVA foi pensado para os perigos múltiplos (escorregamentos rasos, inundações e corridas de detritos), sendo o método adaptado da seguinte forma:(1) Classificação dos indicadores de vulnerabilidade; (2) Cálculo da vulnerabilidade com a criação do índice de vulnerabilidade relativa (RVI) (Equação 1); (3) Sobreposição dos efeitos das interações dos eventos perigosos, conforme variação da vulnerabilidade obtida e (4) representação espacial das classes de vulnerabilidade. O uso do Índice de Vulnerabilidade Relativa substitui a aplicação da Avaliação de Multicritérios, requerendo a etapa de efeitos da interação entre os eventos avaliados (Equação 1).

$$RVI = \sum_{1}^{m} W_m \cdot I_m S_n$$

Onde o Índice de Vulnerabilidade Relativa (RVI) é resultado da somatória dos pesos ($\sum_{1}^{m} W_m$) que são multiplicados pelos Indicadores (I_m) e contagens (S_n). Equação 1

Neste trabalho (Kappes et al. 2012) foram selecionados sete indicadores, dentre eles o *material de construção,* as *condições da construção, número de andares e a localização em direção da torrente*, sendo a atribuição de pesos ordenada conforme os interesses de dois grupos de agentes, o primeiro formado pelas autoridades locais, proprietários das construções e empresas de seguros, com o propósito da redução da vulnerabilidade, e o segundo por agentes dos serviços de emergência (ex. bombeiros) cujos objetivos voltam-se aos resgates e evacuações. Segundo os autores, os resultados para as corridas de detritos, voltados a redução de vulnerabilidade, mostraram os seguintes indicadores mais relevantes: *localização das construções na direção da torrente, localização das construções na direção da encosta* e o *Material de construção*.

Caraguatatuba e o evento de 1967, Bacia do Rio Guaxinduba

Em março de 1967 deflagraram-se no município de Caraguatatuba processos de escorregamentos, enchentes, corridas de lama e de detritos (Figura 2). Estes eventos foram condicionados pela junção das características do relevo da Serra do Mar e condições de pluviosidade no verão de 1966/1967 (CRUZ, 1974), com mais de 420 mm em 2 dias. Segundo os moradores foram mobilizadas toneladas de terras, madeiras e troncos de árvores que corriam para a baixada (OLIVEIRA, 1993), com movimentação de aproximadamente 2 milhões de toneladas de areias,

seixos e matacões, causando sérios transtornos para a população local e turistas. (PETRI e SUGUIO, 1971).

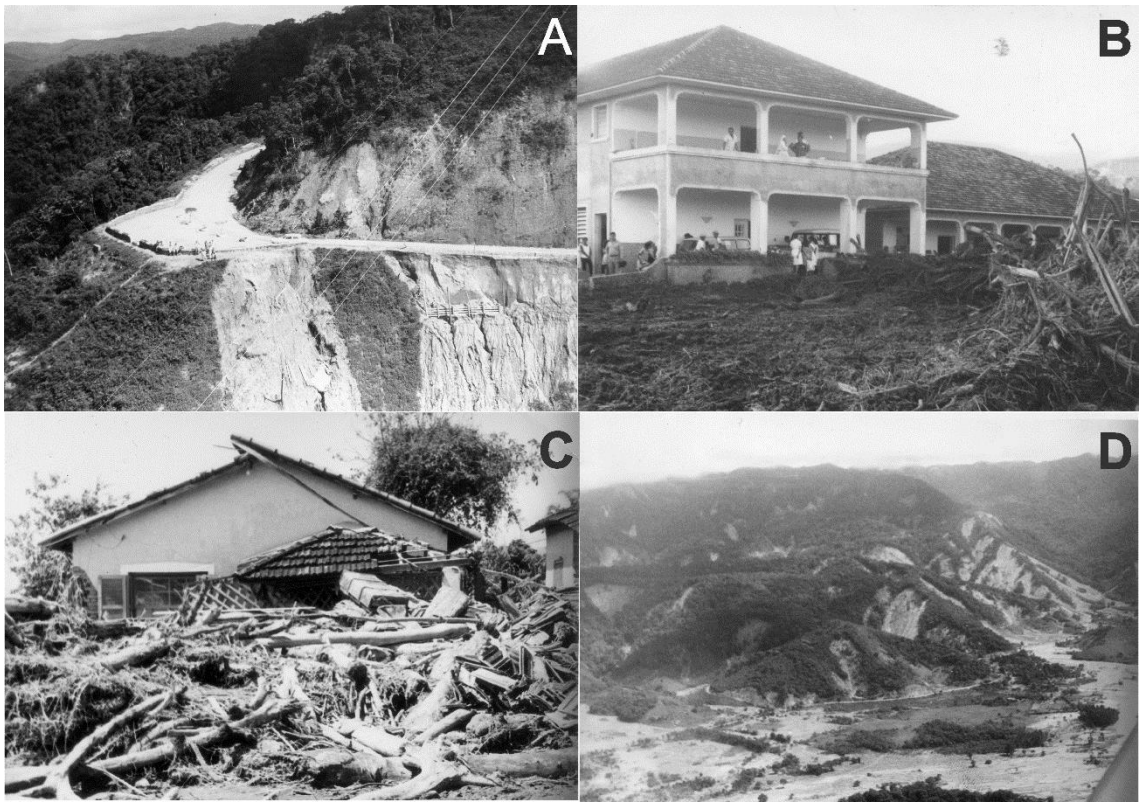


Figura 2: (A) Escorregamentos na Rodovia Tamoios, (B) Santa Casa, (C) Casa afetada pelos detritos e (D) Escorregamentos rasos e corrida de lama no centro do município. Fonte: Arquivo público/Caraguatatuba

Dentre as consequências imediatas da catástrofe, estima-se entre 400 e 700 o número de mortes, mais de 1.500 feridos e a destruição de 200 casas. Dois anos após a catástrofe, as dificuldades para estruturar a cidade ainda eram grandes, com estradas não recuperadas afetando o turismo, o funcionamento de instalações da Santa Casa de Misericórdia e o hospital (OLIVEIRA, 1993). Quatro anos depois, ainda eram notáveis na paisagem as cicatrizes deixadas pela remoção de material escorregado em um nítido contraste com as áreas vizinhas incólumes (PETRI e SUGUIO, 1971). Hoje, cerca de 50 anos depois da catástrofe, a presença de blocos de rochas mobilizados em direção à baixada e cicatrizes de escorregamentos recobertas por *Gleichênias* remontam o cenário de perdas.

Na bacia do rio Guaxinduba, selecionou-se para aplicação do modelo PTVA sua porção central, como uma amostragem do cenário de risco (Figura 3). Esta bacia com uma área de 24 km^2 foi amplamente atingida pelos processos de escorregamentos e de corridas de lama e detritos no verão de 1966/67conservando em sua paisagem depósitos de corridas pretéritas (CRUZ, 1974). Soma-se a isso as condições atuais no entorno de seu rio principal que apresenta ocupações rurais

e urbanas desde a sua cabeceira até a foz. A interação de suas características geomorfológicas, com o contínuo desenvolvimento urbano, vem consolidando o risco da área.

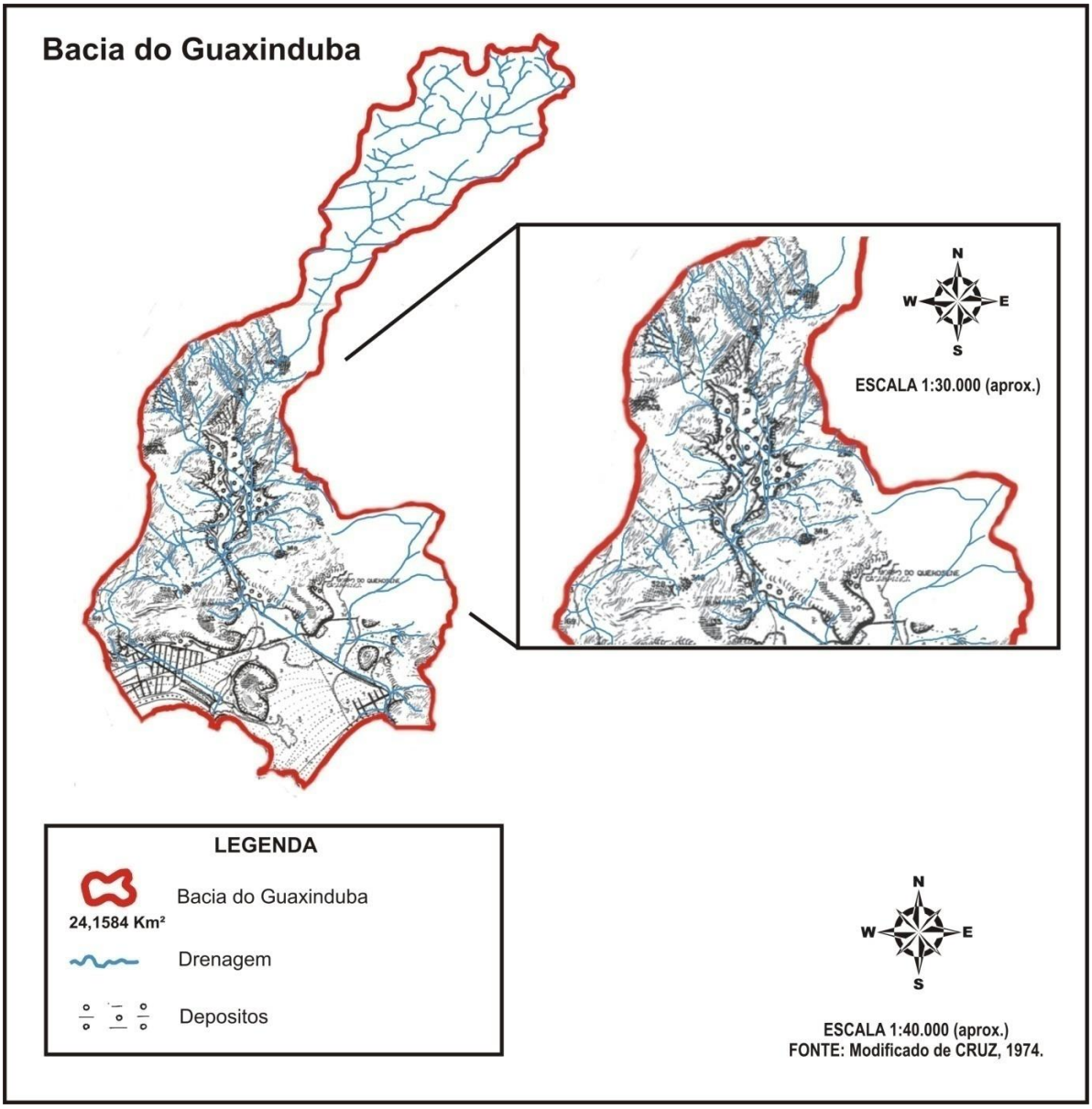


Figura 3: (a) Delimitação da bacia do rio Guaxinduba sobre área mapeada por Cruz (1974) onde predominam depósitos/blocos pretéritos. (b) Destaque para área de mapeamento das construções na bacia. Fonte: Dias et al. (2016)

Materiais e Métodos

Primeiramente foi necessário identificar os depósitos de corridas de detritos. Em um segundo momento o método PTVA foi aplicado, considerando as seguintes etapas: (1) seleção dos critérios que afetam a vulnerabilidade das construções; (2) avaliação de multicritérios e (3) representação da vulnerabilidade das construções. Ao todo foram mapeadas 38 áreas (unidades de análise) com

cerca de 250 construções (Figura 4), que foram selecionadas como elemento em risco pela ampla abordagem na literatura, conforme já citado, e pela sua relação com as corridas de detritos.

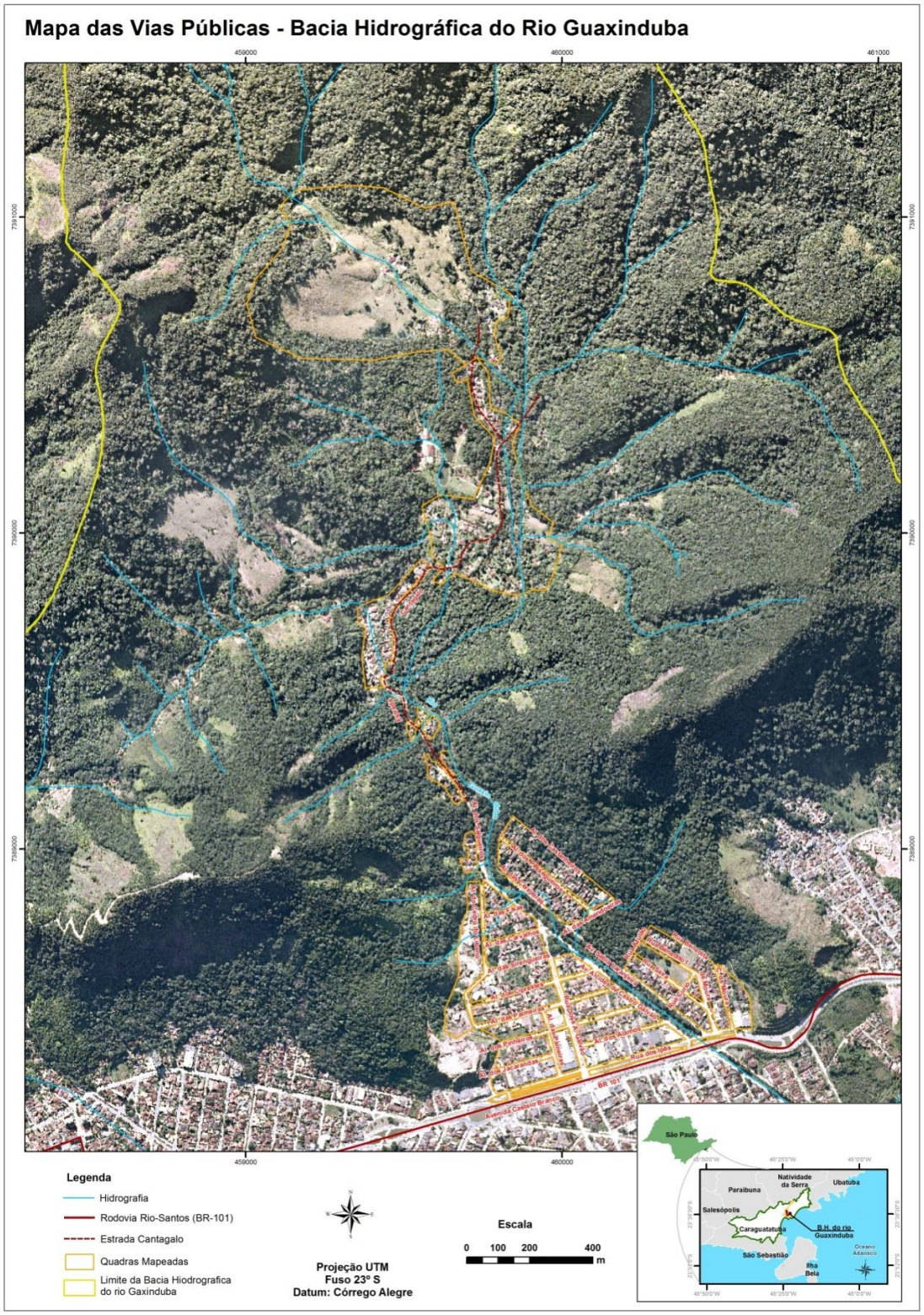


Figura 4: Representação das vias públicas mapeadas na bacia do rio Guaxinduba. Fonte: Matos (2014)

Classificação dos depósitos de corridas de detritos

A classificação dos depósitos foi feita por Dias et al. (2016) tendo em base os estudos de Stoffel (2010) que determinou a magnitude das corridas de detritos nos Alpes suíços a partir das características dos depósitos (volume do material e granulometria/tamanho dos blocos), classificado em S, M, L e XL (pequeno, médio, grande, muito grande) (Figura 5).

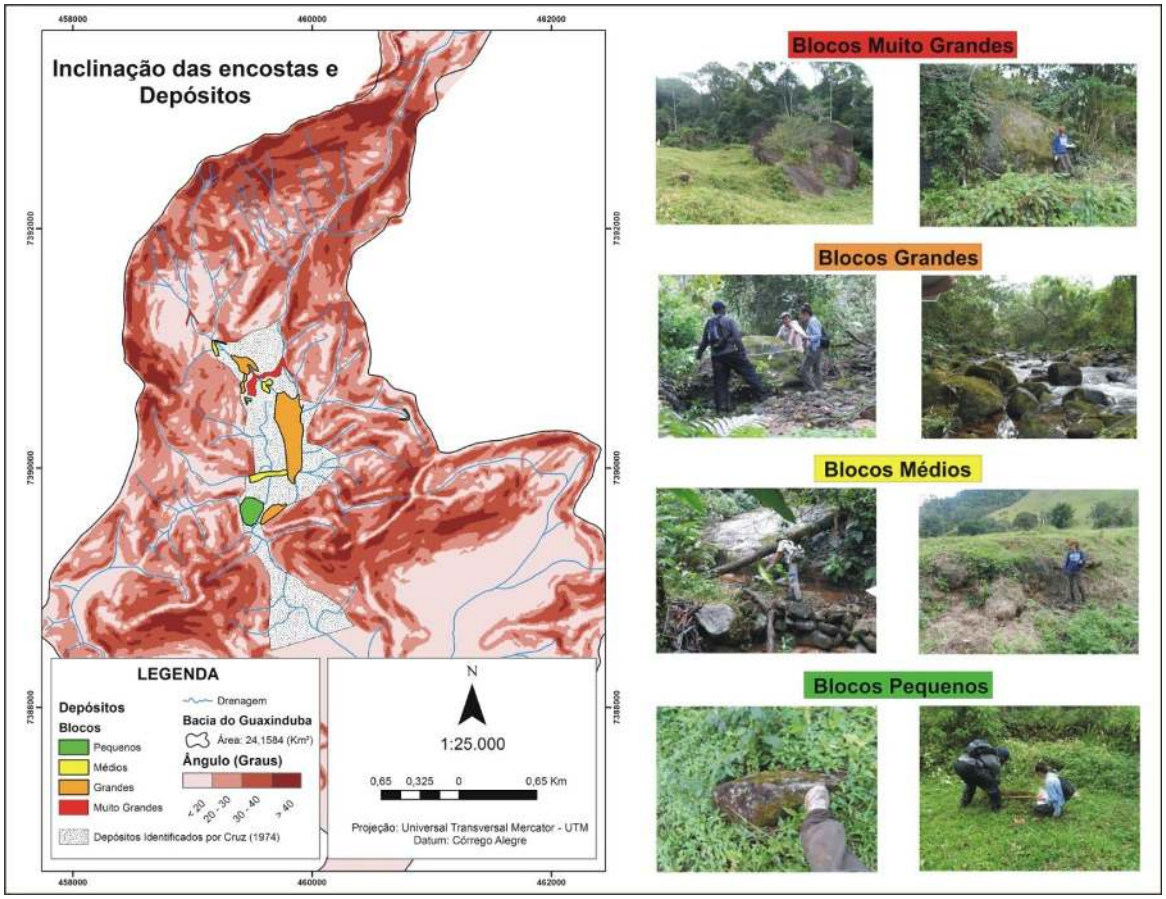


Figura 5: Mapa de depósitos e classificação de suas dimensões. Fonte: Dias et al. (2016).

Critérios de Vulnerabilidade e Aplicação do Método PTVA

A primeira seleção dos critérios de vulnerabilidade para esta pesquisa fundamentou-se nos seguintes trabalhos: Stiny (1997); Papathoma et al. (2003); Papathoma e Dominey – Howes (2003); Fuchs et al. (2007); Papathoma-Köhle et al. (2007), Holub e Hübl (2008) e Kappes et al. (2012).

Em Papathoma et al. (2003); Papathoma and Dominey – Howes (2003); Papathoma-Kohle et al. (2007) e Kappes et al. (2012) alguns critérios foram comuns mesmo para diferentes eventos perigosos; são eles: *Material para construção, número de andares, e condições do entorno (barreiras físicas como muros ou naturais como a vegetação)*. Em Fuchs et al. (2007) e Holub e Hübl (2008) foram comuns os critérios "*material de construção"* e "*presença de muros altos"* como

estratégias de mitigação local. Em Stiny (1997) observou-se a presença de pontes e barragens como elementos de risco potencializadores de cenários desastrosos envolvendo as corridas de detritos.

No presente trabalho, a seleção definitiva dos critérios de vulnerabilidade considerou três fatores: a) recorrência de sua abordagem ligada às corridas de detritos conforme revisão bibliográfica; b) observação técnica da presença e condições destes critérios na área de estudo e c) triagem dos critérios pré-selecionados de maneira que atingissem até o número sete conforme recomendado por Voogd (1983).

Dos sete critérios selecionados (Tabela 2), quatro se referem às construções (*material de construção, altura dos muros, número de pavimentos e presença de portas e janelas grandes*) e os demais para as condições do entorno (*terrenos baldios ou com ampla área descampada, presença de blocos e dimensões dos blocos próximos às construções*).

Tabela 2: Seleção dos critérios que afetam a vulnerabilidade.

Critérios	Descrição dos critérios
Material de Construção	Material menos resistente (Madeira); Composição mista (Madeira, Alvenaria); Material mais resistente (Alvenaria, Concreto)
Muros altos envolvendo as construções	Sim / Não
Número de pavimentos	1/ > 1
Presença de portas e janelas grandes/ largas	Sim / Não
Terrenos largos (Campos, Clubes, terrenos baldios	Sim / Não
Presença de blocos na Área Mapeada	Sim / Não
Tamanho dos blocos	< 1 m - 2,5 m (Pequenos); > 2,5 m - 5 m (Médios); < 5 m - 10 m (Grandes); > 10 m (Muito Grandes)

Fonte: Compilação de dados a partir de: Papathoma et al. (2003);
Papathoma e Dominey-Howes (2003) e Papathoma Köhle et al. (2007).

Quanto ao critério *material de construção,* a vulnerabilidade torna-se altamente dependente, pois a resistência do material nos muros altos, por exemplo, cobrindo as laterais da construção deve protegê-la de um contato direto com os detritos (FUCHS et al. 2007). Entretanto, a sua ausência, somada às construções com janelas e portas grandes, pode aumentar sua vulnerabilidade (HOLUB e HÜBL 2008; KAPPES et al. (2012). Já a *altura dos muros* poderá contribuir com a elevação ou redução da vulnerabilidade final, já que o processo de deposição de detritos é contínuo conforme fluxo da corrida, podendo alcançar diferentes volumes. Nesse sentido, Holub e Hübl (2008) documentaram o sucesso da construção de muros altos pela população local na Áustria, na década de 1990, como medida de proteção às corridas de detritos.

Em relação ao *número de pavimentos,* este também tem papel fundamental no grau de perdas socioeconômicas e de vidas, pois a construção com apenas um pavimento térreo oferece menor oportunidade de preservação dos bens materiais. Para as construções com mais de um pavimento as chances de salvamento são maiores, já que existem saídas verticais alternativas ao nível abaixo, contribuindo para redução da vulnerabilidade (PAPATHOMA et al. 2003; PAPATHOMA-KÖHLE et al. 2007; KAPPES et al. 2012)**.**

Quanto a *presença de portas e janelas grandes* foram aplicadas como critérios de vulnerabilidade em Papathoma-Köhle et al. (2007) e Kappes et al. (2012) para os escorregamentos e corridas de detritos, pois quanto maior sua abertura, maiores as chances de danos devido ao impacto com a massa de detritos. As aberturas em uma construção, sobretudo quando voltadas para a encosta, no caso dos escorregamentos, configuram-se como áreas de maior exposição ao dano já que compõem-se de materiais mais frágeis como vidros e madeira (PAPATHOMA-KÖHLE et al. 2007). No caso de *terrenos baldios ou com ampla área descampada,* Stiny (1997) e Papathoma-Köhle et al. (2007) afirmam que estes podem acelerar a movimentação das corridas de detritos, possibilitando seu maior impacto com as construções próximas, por tratar-se da falta de barreiras oferecendo menor condição à desaceleração da massa em movimento. Por fim, quanto aos critérios *presença de blocos* e *dimensões dos blocos próximos às construções*, estes podem contribuir na seleção dos critérios de vulnerabilidade a partir dos mapas de depósitos e de construções, destacando-se o potencial de dano nas construções deste cenário, tendo em vista a distribuição espacial das dimensões dos blocos e da sua proximidade com as construções mapeadas.

Avaliação Multicritérios

Nesta etapa aplicou-se o método de Avaliação Multicritérios de Voogd (1983) com a transformação linear simples na contagem de cada critério (Tabela 3) e a atribuição posterior de pesos para cada um (Tabela 4). O ordenamento dos critérios e a atribuição dos pesos para os cálculos de vulnerabilidade final foram organizados de forma decrescente, ressaltando a importância de cada critério para aplicação de medidas de mitigação pelo poder público. Dessa forma, os critérios com pesos maiores (7, 6, 5) representaram maior facilidade de gerenciamento do risco, porque reúnem as melhores condições de alteração em cada construção. Os critérios com pesos menores (4, 2, 3 e 1) envolveram as características do entorno das construções ou que indicaram situações mais complexas de gerenciamento do risco na mitigação dos danos e perdas.

Destaca-se no cálculo da vulnerabilidade final, o *cálculo do peso linear combinado* de Voogd (1983), com o qual soma-se os resultados da multiplicação entre os pesos e a contagem padronizada dos critérios. Neste processo, o valor máximo possível da vulnerabilidade que cada unidade de análise pode atingir corresponde a 28. Trata-se da soma dos pesos (28) multiplicados pelo valor máximo unitário (1,0) da contagem padronizada.

$$(7 \times a) + (6 \times b) + (5 \times c) + (4 \times d) + (3 \times e) + (2 \times f) + (1 \times g) =$$
$$(7 \times 0{,}33) + (6 \times 1) + (5 \times 0{,}5) + (4 \times 1{,}0) + (3 \times 1) + (2 \times 1) + (1 \times 1) =$$
$$2{,}31 + 6 + 2{,}5 + 4 + 3 + 2 + 1 = 20{,}81$$
$$20{,}81 \div 28 = 0{,}743$$
$$0{,}743 \times 100 = 74{,}3$$

Equação 2

Onde "a, b, c....*n*" correspondem aos valores da contagem padronizada do critério; "7, 6, 5.....*n*" representam cada peso atribuído.

Tabela 3: Padronização da contagem dos critérios de vulnerabilidade. Com destaque para a contagem padronizada do critério "presença de blocos na área mapeada" com valor final de 0,5 resultado da contagem bruta (1) dividida por 2.

Critérios	**Descrição dos Critérios**	**Contagem Bruta**	**Contagem Padronizada**
Presença de blocos na Área Mapeada	Não	1	0,5
	Sim	2	1,0
Tamanho dos blocos	Pequenos	1	0,25
	Médios	2	0,5
	Grandes	3	0,75
	Muito Grandes	4	1,0
Presença de portas e janelas Grandes/largas (Especialmente na direção do rio).	Não	1	0,5
	Sim	2	1,0
Número de pavimentos	Um andar	2	1,0
	Mais de um pavimento	1	0,5
Terrenos largos próximos às construções campos, clubes, terrenos baldios)	Não	1	0,5
	Sim	2	1,0
Material de Construção	Concreto	1	0,33
	Misto	2	0,66
	Material pobre (Madeira)	3	1,0
Muros altos envolvendo as construções.	Sim	1	0,5
	Não	2	1,0

Fonte: Modificado de Voogd (1983), Papathoma et al. (2003);
Papathoma and Dominey Howes (2003) e Papathoma Köhle et al. (2007).

Tabela 4: Atribuição de pesos nos critérios de vulnerabilidade.

Critérios	Pesos
Material de construção	7
Muros altos	6
Presença de portas e janelas grandes/ largas	5
Terrenos grandes/baldios	4
Número de pavimentos	3
Presença de blocos	2
Tamanho dos blocos	1

Fonte: Modificado de Papathoma et al. (2003); Papathoma e Dominey Howes (2003) e Papathoma Köhle et al. (2007).

Resultados e Discussões

A aplicação do PTVA na Serra do Mar gerou algumas considerações acerca da vulnerabilidade física às corridas de detritos, pois os resultados mostraram variações da vulnerabilidade conforme as condições e a exposição do elemento de risco ao evento perigoso, somadas a ausência de ações voltadas ao gerenciamento de risco. Com isso, esta variação foi classificada em graus de vulnerabilidade de modo que possa futuramente contribuir com o planejamento e com as medidas mitigatórias.

Critérios de Vulnerabilidade

De forma geral, os valores da vulnerabilidade variaram entre 15,31 e 23,21 (soma absoluta dos critérios), ou quando recalculados para o intervalo de 0 a 100, de 55% a 83% em relação à variação máxima possível de 0-28 (Figura 6). Constatou-se uma diferença de 28% entre as situações extremas de vulnerabilidade, refletindo a variação nas condições dos critérios de vulnerabilidade avaliados. Dessa forma, os resultados foram enquadrados em três classes de vulnerabilidade (Alta, Média e Baixa), por meio da divisão da variação total dos valores em intervalos iguais.

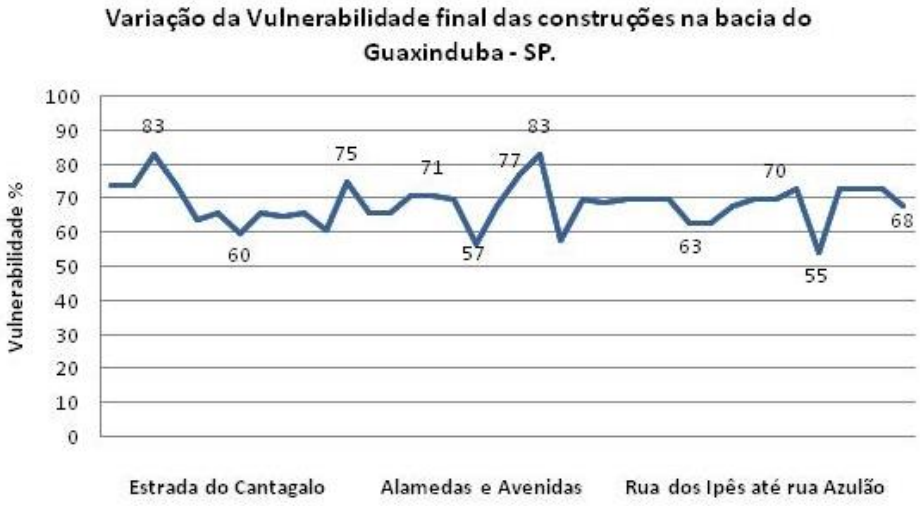


Figura 6: Variação da vulnerabilidade final das construções. Destaca-se a variação de 28% entre a vulnerabilidade mais baixa (55%) e a mais alta (83%). Observa-se também os maiores valores de vulnerabilidade na Estrada do Cantagalo (norte da área mapeada) e nas Alamedas (região central). Fonte: Matos (2014)

A Figura 7 resultou da Tabela 5, que mostra a relevância de cada critério, destacando aqueles responsáveis pelo seu aumento em ordem crescente da vulnerabilidade final: *falta de muros altos envolvendo as construções*, *presença de blocos no entorno* e *proximidade das construções mapeadas com terrenos descampados*. Por outro lado, outros critérios contribuíram para a redução da vulnerabilidade: *construções em alvenaria*, *distância de terrenos descampados como campos ou baldios e* a *ausência de blocos de corridas pretéritas.* Assim, nas áreas mapeadas, os critérios de *proximidade das construções com terrenos descampados e baldios e a presença* e *dimensão dos blocos* foram proporcionais tanto na elevação quanto na redução da vulnerabilidade.

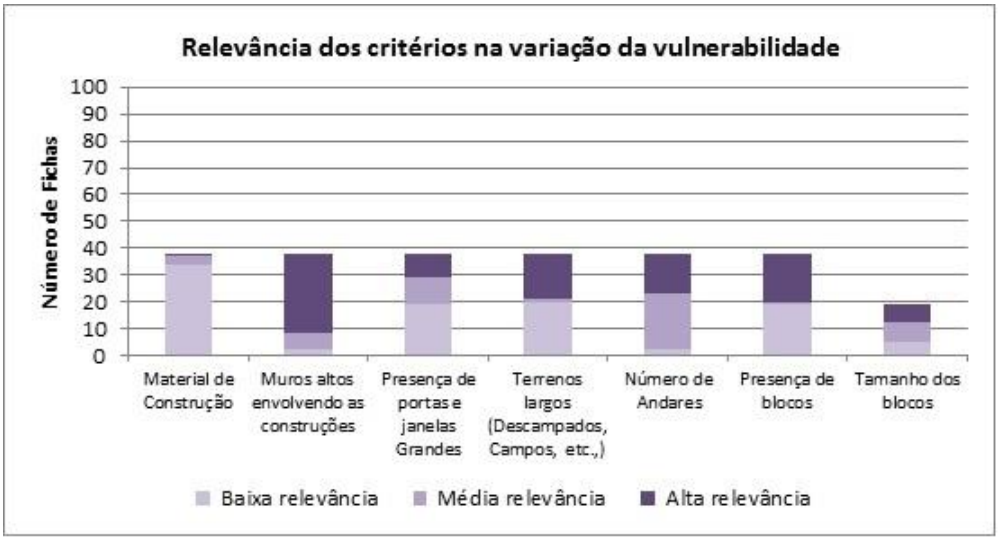


Figura 7: Relevância dos critérios na variação da vulnerabilidade. Nota-se que em *material de construção* predomina o lilás mais claro indicando sua baixa relevância para a vulnerabilidade final, tratando-se, portanto de um número reduzido de construções feitas com material pobre (madeiras). Fonte: Matos (2014)

Tabela 5: Critérios mapeados, sua descrição e amostragem.[1]Áreas (quarteirões) em que a presença ou as condições destes critérios não estavam claras ou definidas. [2] Classe 1 (Blocos Pequenos e Médios), Classe 2 (Blocos Médios e Grandes) e Classe 3 (Blocos Grandes e Muito grandes)

Critérios	Descrição dos Critérios	Número de Mapeamentos
Presença de blocos na Área Mapeada	Não Área mista[1] Sim	19 1 18
Tamanho dos blocos	Classe 1[2] Classe 2 Classe 3	5 7 7
Presença de portas e janelas Grandes / largas (na direção do rio)	Não Área mista Sim	19 10 9
Número de andares	Mais de um andar Área mista Um andar	2 21 15
Terrenos largos (campos, Clubes, terrenos baldios) próximos às construções	Não Área mista Sim	20 1 17
Material de Construção	Alvenaria/concreto Misto Material pobre	34 3 1
Muros altos envolvendo as construções	Sim Área mista Não	2 6 30

Fonte: Matos (2014)

Em *muros altos envolvendo as construções* observa-se o contrário, pois há predomínio do lilás mais escuro representando a ausência deste critério na maior parte das construções mapeadas. Os critérios, *portas e janelas grandes; terrenos largos (descampados, campos, etc)* e *presença de blocos* mostraram-se como sendo de baixa relevância para vulnerabilidade final da área mapeada, já que a maior parte das construções não apresentou amplas aberturas em suas janelas nem predominância de blocos ou áreas descampadas próximos às construções mapeadas. Destaca-se ainda a relevância média do critério *número de andares* posto que em muitas construções, a estrutura não se apresentou de forma definida (residências inacabadas, possíveis residências individuais em ordenamento vertical). E por fim, o critério, *tamanho dos blocos* apresentou relevância regular, indicando proporcionalidade entre as classes de blocos mapeadas.

De modo geral, conforme os cálculos finais da Avaliação de Multicritérios, no caso, *cálculos do peso linear combinado*, observou-se que a elevação ou a redução da vulnerabilidade final dependeu da conformidade das condições do maior número de critérios avaliados em cada unidade de análise. Dessa forma, nenhum critério absoluto foi determinante para a variação da vulnerabilidade final. A este exemplo, destacam-se a Alamedas das Palmeiras (Figura 8), Jacarandás e na Rua dos Ipês, classificadas com vulnerabilidade média, mas com ausência de blocos, e a Alameda dos Pessegueiros com vulnerabilidade alta, mas apresentando blocos da

classe 1 (Pequenos e Médios). Tal fato também foi observado nos trabalhos de Papathoma-Köhle et al. (2007) e Kappes et al. (2012) que não identificaram um fator determinante na avaliação de vulnerabilidade. Entretanto, para Marshall (2015) o critério *profundidade da inundação* foi aquele determinante nas classificações de vulnerabilidade alta e média alta aos tsunamis.



Figura 8: Alameda dos Palmeiras, classificada como de vulnerabilidade média mesmo apresentando ausência de blocos. Fonte: Autores

Em Papathoma et al. (2003), Papathoma e Dominey-Howes (2003), Papathoma-Köhle et al. (2007) e Kappes et al. (2012) os graus de vulnerabilidade resultantes não apresentaram conformidade necessária com os graus de suscetibilidade ou zonas de perigo sobre os quais foram desenvolvidos os mapas de vulnerabilidade. Enfatiza-se assim a independência entre os graus de intensidade do evento e de vulnerabilidade das construções. Dessa forma, infere-se que o aumento da resistência dos elementos artificiais/humanos instalados em área de risco (TUFFORD, 2001) permite a possibilidade de convívio entre eventos potencialmente catastróficos e sociedades vulneráveis, reduzindo as chances dos danos e das perdas evoluírem para a condição de catástrofe. Neste sentido, ações particulares ou públicas, voltadas ao gerenciamento de risco apresentam ampla importância, pois podem diminuir a variação da vulnerabilidade em determinado local (Figura 9).



Figura 9: Áreas construídas sobre blocos (indicados pela seta) na Estrada do Cantagalo demonstrando a necessidade de ações voltadas ao gerenciamento de risco. Fonte: Autores

Vulnerabilidade Final

Conforme o mapa das construções identificou-se 8% como sendo de vulnerabilidade alta, 70% média e 22% baixa (Figura 10). As altas vulnerabilidades (76% a 85%) concentram-se nas porções norte e central da área (Estrada do Cantagalo e Alamedas dos Castanheiros e Pessegueiros) com construções em que predominam os critérios: *blocos das classes 1 a 3*, *construções sem muros altos*, *cercadas por terrenos baldios* e *apenas um pavimento* (Figuras 10 e 11). As vulnerabilidades médias (66% a 75%) são predominantes e distribuem-se por toda área mapeada, ao passo que se observa as baixas vulnerabilidades (55% a 65%), sobretudo na porção central e sul (Área das Alamedas; Av. Alcides Galvão e Rua dos Ipês). Ainda sobre as baixas vulnerabilidades, observa-se o caso da Rua dos Ipês, cujo quarteirão atingiu a vulnerabilidade mais baixa de toda a área mapeada com 55%. Tal fato está relacionado aos seguintes critérios: *mais de um pavimento, muro alto envolvendo a área construída, portas e janelas pequenas* e *ausência de blocos* (Figuras 10 e 11).

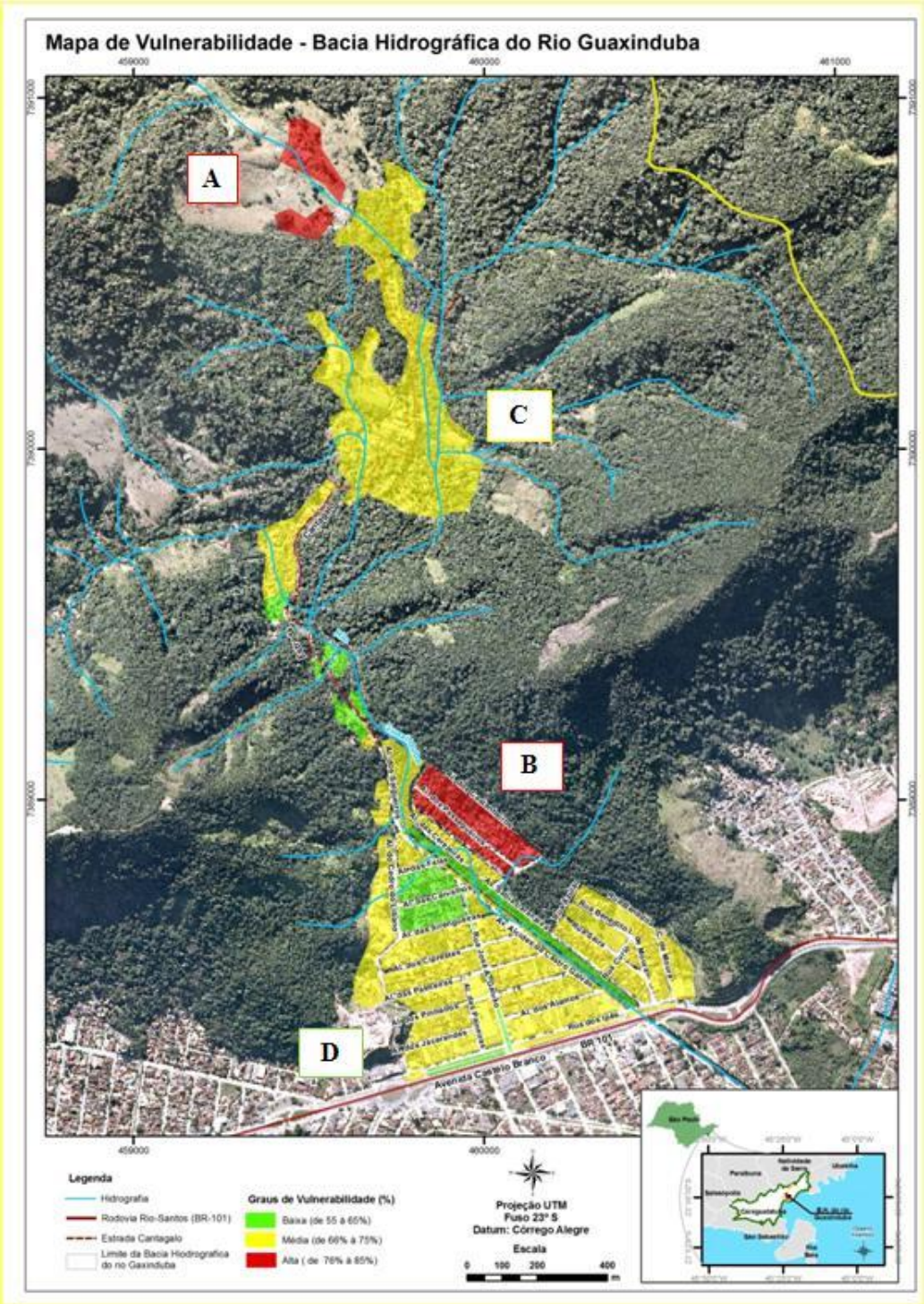


Figura 10: Mapa da vulnerabilidade dos elementos de risco às corridas de detritos na bacia do Guaxinduba. Cerca de 8% da área foi mapeada com alta vulnerabilidade (vermelho), 70% média (amarela) e 22% baixa (verde).
Fonte: Matos (2014)



Figura 11: Exemplos de Vulnerabilidade alta (A e B), com blocos das classes 1 a 3, construções sem muros altos, cercadas por terrenos baldios e apenas um pavimento, e Vulnerabilidades média (C) e baixa (D). (Localização na bacia na figura anterior). Fonte: Autores

Considerações Finais

Verificou-se neste trabalho que nenhum critério foi determinante na classificação final da vulnerabilidade, sendo seu resultado dependente da variação de um conjunto de critérios que tende a aumentar ou a reduzir a vulnerabilidade final. Assim, identificou-se que a conformidade entre o maior número de critérios avaliados em uma área construída pode definir a vulnerabilidade final. No caso da área de estudo, nenhuma das construções mapeadas atendeu a todos os critérios conjuntamente, aumentando ou diminuindo, ao máximo, o valor da vulnerabilidade final. Neste caso ressalta-se as vulnerabilidades, mínima e máxima, possíveis para este estudo: 12,31 (43,9%) e 28 (100%).

De modo geral a condição das construções que mais elevou a vulnerabilidade reuniu os seguintes critérios: (i) ausência de muros altos envolvendo a construção, (ii) presença de blocos no entorno, (iii) proximidade das construções mapeadas com terrenos descampados, e (iv) construções com apenas um pavimento.

Finalmente, a variação entre as vulnerabilidades, mínima e máxima alcançadas (28%), mostra a grande heterogeneidade das condições de vulnerabilidade das construções e alerta para a necessidade de medidas que reduzam os casos de alta vulnerabilidade, auxiliando, na diminuição do risco às corridas de detritos.

Agradecimentos
Os autores agradecem primeiramente aos revisores deste artigo pelas suas contribuições, ao CNPq pelo apoio financeiro por meio do Projeto 443412/2015-4 e ao Programa de Pós-Graduação em Geografia Física da USP. Agradecem também as sugestões metodológicas do Prof. Dr. Jurandyr Luciano Sanches Ross, e a colaboração em trabalhos de campo do Dr. Tiago Damas Martins, Vivian Cristina Dias, Helen Cristina Dias, Mário Silva e Juliana dos Santos pelas fotos cedidas.

Referências Bibliográficas

ALBERICO, I., DI FIORE, V., IAVARONE, R., PETROSINO, P., PIEMONTESE, L., TARALLO, D., PUNZO, M. e MARSELLA, E. The Tsunami Vulnerability Assessment of Urban Environments through Freely Available Datasets: The Case Study of Napoli City (Southern Italy)**.** In **Journal Marine Science and Engineering**, ISSN 2077-1312, Vol 3, DOI:10.3390 /jmse3030981, p. 981-1005, 2015.

ARQUIVO PÚBLICO DE CARAGUATATUBA. Catástrofe de 1967 no município de Caraguatatuba. Caraguatatuba, SP. 1967.

AUGUSTO FILHO, O. O estudo das corridas de massa em regiões serranas tropicais: um exemplo de aplicação no Município de Ubatuba, SP. In Congresso. Brasileiro em Geologia de Engenharia, **Livro de Resumos**, Poços de Caldas. ABGE. Vol 2, n°7, p. 63-70, 1993.

BANCO MUNDIAL. **Avaliação de Perdas e Danos: Inundações em Santa Catarina.** Relatório elaborado pelo Banco Mundial com o apoio do governo do estado de Santa Catarina. Brasília- DF. Editora Executiva- p. 63, 2012.

BARROS, L. J., EMÍDIO, A., TAVARES, O. A., SANTOS, A. Metodologias de avaliação da vulnerabilidade ao risco de tsunami: aplicação ao sector costeiro Cova-Gala – Leirosa; Figueira da Foz. In **IX Congresso da Geografia Portuguesa**, Geografia: espaço, Natureza, Sociedade e Ciência. Universidade de Évora – Nov. 2013. ISBN: 978-972-99436-6-9; p. 7, 2013.

BIRKMANN, J. Indicators and criteria for measuring vulnerability: theoretical bases and requirements. In J. Birkmann (Ed.), **Measuring vulnerability to natural disasters** - United Nations University Press. p. 55 e 77, 2006.

CARDONA, D. O. The need for rethinking the concepts of vulnerability and risk from a Holistic Perspective: A necessary review and criticism for effective risk management. In Bankoff, G. Frerks and D. Hilhorst, (Eds), **Mapping Vulnerability: Disasters, development and people**, London: Earth scan, p. 1-17, 2004.

CONWAY, F.S. DECALNE, A. BALME, R.M. MURRAY, B. J. TOWNER, C.M. A new approach to estimating hazard posed by debris flows in the Westfjords of Iceland. **Geomorphology** – Elsevier. DOI: 10.1016/J. Geomorphology. 2009.08.015. p. 556-572, 2010.

CRUZ, O. **A Serra do Mar e planície na área de Caraguatatuba- contribuição à geomorfologia litorânea tropical**. Série Teses e Monografias, 11, IGEOG/USP: 181 p. 1974.

PAGNONI, F., GONELLA, M., GABBIANELLI, G., WITHYCOMBE, G. & DOMINEY-HOWES, D. A revised (PTVA) model for assessing the vulnerability of buildings to tsunami damage. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, Vol. 9, 1557–1565, 2009.

DALL'OSSO, F., MARAMAI, A., GRAZIANI, L., BRIZUELA, B., CAVALLETTI, A., GONELLA, M. & TINTI, S. Applying and validating the PTVA-3 Model at the Aeolian Islands, Italy: assessment of the vulnerability of buildings to tsunamis. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, 10, 1547–1562, 2010.

DEFESA CIVIL DO ESTADO DE SÃO PAULO: **Defesa Civil continua atuando em Itaóca**. São Paulo – Disponível em: http://www.saopaulo.sp.gov.br. Último acesso em 29/05/2014.

DIAS, V.C; VIEIRA, B. C.; GRAMANI, M. F. Parâmetros morfológicos e morfométricos como indicadores da magnitude das corridas de detritos na Serra do Mar Paulista. **Confins** (Paris) , Vol.29, p.1-20 - , 2016.

EIDSVIG, K, M. U., PAPATHOMA-KÖHLE, J., GLADE, T. Du., B.V. VANGELSTEN, V.B. Quantification of model uncertainty in debris flow vulnerability assessment. **Engineering Geology**. Vol. 181 p. 15-26, 2014.

FUCHS, S. Susceptibility versus resilience to mountain in Austria – paradigms of vulnerability revisited, **Natural Hazards Earth Syst. Sci**., Vol9, p. 337-352, 2009.

FUCHS, S. HEISS, K. EHÜBL, J. Towards an empirical vulnerability function for use in debris flow assessment, **Nat. Hazards Earth Syst. Sci**., Vol7, p.495-506, 2007.

GRAMANI, M. F e MIRANDOLA, F. A. A Corrida de Massa no córrego Guarda- Mão- Município de Itaóca - SP: Impacto e observações de campo. In: **Desastres de 2014 na região Sudeste do Brasil**. São Paulo /ABGE/ p.28-36, 2014.

GRAMANI, M. F. **Caracterização geológico-geotécnica das corridas de detritos (Debris flows) no Brasil, em comparação com alguns casos internacionais**. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, p 135 – 225, 2001.

GRAMANI, M. F. KANJI, M. A. Inventário e Análise das Corridas de Detritos no Brasil. 3° Congresso Brassileiro de Estabilidade de Encostas (COBRAE), ABMS, **Livro de Resumos**, Rio Janeiro, 53-60, 2001.

GUIDICINI, G, C. M. NIEBLE. **Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação**. São Paulo. p. 09-27, 1976.

HOLUB, M. and HÜBL, J. Local protection against mountain hazards – State of the art and future needs. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, Vol 8, p. 81-99, 2008.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO, Parecer técnico na área dos bairros de Pedreira e Alto das Almas, Guaratinguetá, SP. Zoneamento de risco. São Paulo. (IPT, Relatório de Visita Técnica.) 1988.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Reconhecimento, Caracterização e Monitoramento de locais potencialmente sujeitos a instabilizações na serra do mar na área de influencia dos diversos sistemas de captação e abastecimento de água de tratamento de esgoto**, Estado de São Paulo. SCT. Relatório N° 59 123/02, 2002.

JAKOB. M, STEIN. D, ULMI. M. Vulnerability of buildings to debris flow impact. **Natural Hazards**: DOI 10.1007/S11069-011-0007-Vol 2. p. 241-261, 2012.

JORNAL CORREIO DA MANHÃ (1967). Retirados 200 corpos. Acervo: Arquivo Público do Município de Caraguatatuba. Quarta-Feira, 22 de Março de 1967. 2º caderno.

JORNAL DA TARDE - JORNAL O ESTADO DE SÃO PAULO (1967a). Primeira Visão de Caraguatatuba. Acervo: Arquivo Público do Município de Caraguatatuba. Segunda-Feira, 20 de Março de 1967. p7.

KANJI, M. A. CRUZ, P. T. MASSAD, F. Debris Flow affecting the Cubatão Oil refinery, Brazil. In**:** **Landislides**. Vol 5, Issue 1, pp. 71 – 82, 2008.

KANJI, M. A. CRUZ, P. T. MASSAD, F. ARAUJO FILHO, H. A **Environmental Effects of Debris Flows and Their Protection Measures**. Istanbul: A. Balkena Publishers. Vol 3, p. 1913-1916, 2001.

KANJI, M. A. MASSAD, F. CRUZ, T. P. Debris Flows in areas of residual soils: Occurrence and characteristics, P. 1-8, 2003.

KANJI, M. A., CRUZ, P. T., MASSAD, F., ARAÚJO FILHO, H. A. "Basic and common characteristics of debris flows" 2nd. Panamer. Symp. Landslides / 2º COBRAE, **Livro de Resumos**, Rio de Janeiro, n°1, p. 223-231, 1997.

KAPPES, M. S, PAPATHOMA-KÖLE, M. K. Assessing physical vulnerability for multi- hazards using an indicator-based methodology. Elsevier - **Applied Geography**, vol.32, Austria. p 577-590, 2012.

LEONARDI, A. **Numerical simulation of debris flow and interaction between flow and obstacle via DEM.**Tese (doutorado) – Engenharia Civil, Universidade de Pádua - Italia; p. 128, 2015.

MATOS, L. J. **A vulnerabilidade das construções às corridas de detritos na bacia experimental do rio Guaxinduba – Município de Caraguatatuba – SP**, Dissertação (mestrado). Departamento de geografia física (PPGF). Faculdade de Filosofia, Letras, e Ciencias Humanas – Universidade de São Paulo. p.90, 2014.

MARSHALL, A. R. **Using the Papathoma Tsunami Vulnerability Assessment Model to Forecast Probable impacts, and planning implications, of a 500-year tsunami in Cayucos, California.** Tese de (doutorado) - Departamento: Master of City and Regional Planning in Architecture and Environmental Design - Faculdade politécnica da Califórnia – San Luis Obispo. p. 56, 2015.

OLIVEIRA, M. **Projeto História Oral: "Recontando Caraguá"** Acervo: Arquivo Público do Município de Caraguatatuba, 1993.

PAGNONI, G. e TINTI, S. Tsunami vulnerability and damage for buildings analyzed by means of two methods (PTVA-3 and SCHEMA) in the area of Augusta and Siracusa, eastern Sicily, Italy. **Geophysical Research Abstracts** Vol. 17, EGU Vol.7, p.300, 2015.

PAPATHOMA-KÖHLE, M., NEUHÄUSER, B., RATZINGER, K., WENZEL, H., and DOMINEY-HOWES, D.: Elements at risk as a framework for assessing the vulnerability of communities to landslides, **Natural Hazards and Earth System Sciences**, Vol.7,p. 765-779, DOI:10.5194/nhess-7-765-2007.

PAPATHOMA, M., DOMINEY. H, D., ZONG, Y., and SMITH. D. Assessing Tsunami vulnerability, an example from Herakleio, Greece. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, Vol. 3, 377–389, 2003.

PAPATHOMA. M and HOWES D. Tsunami vulnerability assessment and its implications for coastal hazard analysis and disaster management planning, Gulf of Corinth, Greece. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, 3, European Geosciences Union. p. 733–747, 2003.

PELLERIN, J. et al. Timbé do Sul – Jacinto Machado: avaliação preliminar da extensão da catástrofe de 23-24/12/95.**Revista Geosul**, Florianópolis, Vol.23, p.71-86, 1997.

PETRI, S. e SUGUIO, K. Características granulométricas dos materiais de escorregamentos de Caraguatatuba, São Paulo, como subsídio para o estudo da sedimentação neocenozóica do sudeste brasileiro. **Anais 25º Congresso. Brasileiro de Geologia** São Paulo, Vol. 1 ed. 2º - p. 70-82, 1971.

REMONDO, J.; BONACHEA, J.; CENDRERO, A. Quantitative landslide risk assessment and mapping on the basis of recent occurrences. Geomorphology, Vol.94, p. 496-507, 2008.

SANTI. P.M, HEWITT. D. F, VANDINE. E, BARILLAS, C. Debris-flow impact, vulnerability, and response. **Natural Hazards** – DOI 10.1007/s11069-010-9576-8 – p. 371- 402, 2011.

SANTORO, J. Atendimento emergencial no município de Itaóca (SP) In: **Desastres de 2014 Na região Sudeste do Brasil**. São Paulo /ABGE/ p.22-27, 2014.

SELBY, M. J. (1993). Mass Wasting of soils In: Hillsope: **Materials & process.** New York, Publisher: Oxford University Press. USA. 2 editions. P. 480, 1993.

STINY, P. J. **Debris Flows**: **An attempted monograph with particular reference to the conditions in the Tyrolean Alps.** EBA Engineering Consultants Ltd., Vancouver, British Columbia. p.105, 1997.

STOFFEL, M. Magnitude-Frequency relationships of debris flow – A case study based on field surveys and tree-ring records. **Geomorphology** – Elsevier. DOI: 10.1016/J.geomorph.2009.10.009 p. 67-76, 2010.

TARBOTTON, C,. DOMINEY-HOWES, GOFF1, J. R., PAPATHOMA-KOHLE, M., DALL'OSSO, F., e TURNER I. L. GIS-based techniques for assessing the vulnerability of buildings to tsunami: Current approaches and future steps. **Geological Society** London Special Publications, Vol. 361-DOI: 10.1144/SP 361.10; p. 115-125, 2012.

THOURET, C. J., ETTNGER, S., GUITTON, M., SANTONI, O., MAGILL, C.,MARTELLI, K.,ZUCCARO, G.,REVILLA, V.,CHARCA, A. J., ARGUEDAS, A. Assessing physical vulnerability in large cities exposed to flash floods and debris flows: the case of Arequipa (Peru). **Natural Hazards** - DOI 10.1007/s11069-014-1172-x; p.1771–1815, 2014.

TUFFORD, D. The Hidden Costs of Coastal Hazards; Implications for Risk Assessment and Mitigation. Electronic Green Journal, 1(14), 2001.

VARNES, D. **Landslide Hazard Zonation: A review of principles and practices**. UNESCO, Paris. p 09-63, 1984.

VOOGD, H. **Multicriteria Evaluation for Urban and Regional planning**. ISBN 085086 1063. Pion Limited, London p.357, 1983.

WEINMEISTER, W. H. (2007) Integrated Debris Flow Disaster Mitigation: A comprehensive Method for Debris Flow Disaster Mitigation. **Journal of Mountain Science.** Vol. 4 Nº 4 p. 293-308, 2007.

WEN, C. L, TING, C. T, CHI, H. Building Vulnerability to debris flows in Taiwan: a preliminary study. Springer – **Natural Hazards**. Original Paper. p. 2107-2128, 2012.