

AVALIAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE À OCORRÊNCIA DE CORRIDA DE DETRITOS NA BACIA DO CACHOEIRA, SERRA DO MAR, SP

Vinicius Queiroz Veloso ¹; José Eduardo Zaine ²; Marcelo Fischer Gramani ³,

Fábio A. G. V. Reis ⁴;

Resumo – As corridas de detritos são os processos geológicos de movimentação de massa mais impactantes no Brasil, com destaque para ocorrências na região serrana do Estado de São Paulo. Comportam-se na forma de fluxos altamente densos, responsáveis pelo grande aporte de material detrítico-rudáceo ao longo das drenagens, com grande poder de impacto e raio de destruição. Este trabalho pretende demonstrar metodologia de mapeamento na qual pode se estimar o grau de suscetibilidade a ocorrência de movimentos de massa do tipo corrida de detritos, por meio de uma classificação sistemática do fenômeno e seus principais agentes deflagradores, elencando os principais fatores e atribuindo pesos e notas, tendo como produto final o grau de suscetibilidade da bacia. A área escolhida para a aplicação foi a bacia hidrográfica do Rio Cachoeira, no município de Cubatão/SP, devido ao grande histórico de eventos, como os ocorridos em 1994, que foram responsáveis pela paralisação das operações na Refinaria Presidente Bernardes, resultando em altos prejuízos financeiros. A aplicação desta metodologia mostrou-se satisfatória do ponto de vista de realizar a primeira análise nas bacias delimitando seu grau de suscetibilidade, dando subsídio para trabalhos posteriores, sejam eles de ordem estrutural com implantação ou correção de obras de infraestrutura, ou não estrutural, visando planos de contingência.

Abstract – Debris flow are the most shocking phenomenon in Brazil, with emphasis on the mountainous region of the State of São Paulo. They behave in the form of highly dense flows, responsible for the large amount of coarse material deposited along the drainage, with great impact power and radius of destruction. This work intends to demonstrate a methodology of mapping where it is possible to estimate the degree of susceptibility to the occurrence of mass movements of the type of debris flow, through a systematic classification of the phenomenon and its main triggers, listing the main factors and assigning weights and notes, and as the final result we have the degree of susceptibility of the basin. The chosen area to the application was Rio Cachoeira river basin in the municipality of Cubatão / SP, due to the great history of events, such as those occurred in 1994, which were responsible for paralysis of operations at the Presidente Bernardes Refinery, resulting in high financial losses. The application of this methodology was satisfactory from the point of view of performing the first analysis in the basins delimiting their degree of susceptibility, giving subsidy for later works, whether be of a structural order with implantation or correction of works of infrastructure, or non-structural, aiming at plans of contingency.

Palavras-Chave – corrida de massa, risco geológico, Serra do Mar, suscetibilidade

¹ Geog. Universidade Estadual Paulista – UNESP - Rio Claro – SP (19) 3526-9000, viniciusveloso@gmail.com

² Profº Dr. Universidade Estadual Paulista – UNESP - Rio Claro – SP (19) 3526-9000, jezaine@unesp.br

³ Geol. Ms. Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, São Paulo – SP (11) 3767-4000, mgramani@ipt.br

⁴ Profº Dr. Universidade Estadual Paulista – UNESP - Rio Claro – SP (19) 3526-9000, fabioreis@rc.unesp.br

1. INTRODUÇÃO

A ocupação de locais com possibilidade de ocorrência de desastres naturais é um processo recorrente na história da humanidade, principalmente em regiões com adensamentos populacionais, na maioria das vezes associados a fatores ambientais cuja natureza induz o acontecimento de eventos extremos.

Em regiões serranas, onde o registro de desastres naturais é recorrente, os principais condicionantes de eventos catastróficos são o relevo e a alta pluviosidade, e se manifestam na forma de movimentos de massa, que podem ser definidos como uma grande movimentação de solo, condicionadas por fatores ambientais, que podem se manifestar de diversas maneiras (AUGUSTO FILHO, 1992).

Este tipo de evento irá ocorrer onde houver condições particulares de suscetibilidade a processos de movimentos gravitacionais de massa do tipo corrida. A atual variabilidade climática global, com propensão ao aumento significativo dos volumes de chuva registrados acima das médias, caracteriza-se como um cenário favorável à ocorrência cada vez mais frequente deste fenômeno.

Na região de Cubatão, SP, as diversas formas de uso e ocupação do solo presentes nas planícies aluvionares, localizadas no sopé da escarpa serrana, e ao longo de travessias de drenagem, apresentam situações potenciais de risco. Nestes locais, a deflagração de movimentos de massa se dá majoritariamente por extremos pluviométricos e por condicionantes de ordem geomorfológica, geotécnica e geológica.

No caso específico das corridas de detrito, é essencial a classificação do fenômeno, dos seus condicionantes, da sua mecânica de formação e correlação com a precipitação. Deste modo, pode-se saber quais variáveis devem ser monitoradas – sejam elas climáticas, geotécnicas ou geológicas. Assim, é fundamental conhecer a probabilidade de ocorrência de uma corrida de detritos em uma determinada bacia hidrográfica, podendo antever os impactos do fenômeno em infraestruturas e áreas ocupadas.

Porém os estudos de probabilidade são complicados devido a complexidade dos parâmetros envolvidos. Como solução, (GRAMANI, 2001; KANJI & GRAMANI, 2001) desenvolveram uma metodologia para determinar o grau de suscetibilidade quanto a ocorrência de corridas de detrito, baseada no emprego de classes para os parâmetros e pesos que são convertidos em somatória que corresponderá ao grau de suscetibilidade.

Para validação desta metodologia foi escolhida a bacia hidrográfica do Rio Cachoeira no município de Cubatão onde se tem um cenário de risco com a Rodovia Imigrantes (SP-160) e uma rede de dutos da Petrobras sob risco direto de atingimento de uma provável corrida de detritos.

2. MÉTODO DE AVALIAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE À OCORRÊNCIA DE CORRIDA DE DETRITOS

O método utilizado baseia-se na concepção de Kanji e Gramani (2001), onde os principais fatores envolvidos na deflagração de corridas de detrito como, precipitação, inclinação de encostas, declividade do canal, área da bacia, altura da encosta uso e ocupação do solo e vegetação e aspectos geológicos são elencados e por meio de vistorias em campo e análise morfométrica, pesos e notas são conferidos a fim de chegar a uma soma final definindo o grau de suscetibilidade.

A Tabela 1, apresenta os fatores, pesos e classes utilizados para a definição das notas parciais de cada fator, cuja somatória será o grau de suscetibilidade, presente na Tabela 2.

Tabela 1 – Pesos e notas parciais dos fatores intervenientes na ocorrência de corrida de detritos (Fonte: Kanji e Gramani, 2001).

FATORES	CLASSES	PESO (P)	ATRIBUTOS	NOTA PARCIAL (NP)
CHUVA (R) (mm/h)	R1	3	>80	10
	R2		60-80	6,6
	R3		30-60	3,3
	R4		<30	0
INCLINAÇÃO DA ENCOSTA (S) (°)	S1	2,5	>45	10
	S2		45-30	6,6
	S3		15-30	3,3
	S4		<15	0
DECLIVIDADE DO CANAL(D) (°)	D1	0,5	>25	10
	D2		15-25	6,6
	D3		10-15	3,3
	D4		<10	0
ÁREA DA BACIA (A) (km ²)	A1	1	<5	10
	A2		5-10	6,6
	A3		10-20	3,3
	A4		>20	0
ALTURA DA ENCOSTA (H) (m)	H1	1	>750	10
	H2		500-750	6,6
	H3		200-500	3,3
	H4		<200	0
USO E OCUPAÇÃO/VEGETAÇÃO (V) (% da área ocupada ou desmatada)	V1	0,5	90-100	10
	V2		50-90	6,6
	V3		30-50	3,3
	V4		<30	0
ASPECTOS GEOLÓGICOS (G)	G1	1,5	G1	10
	G2		G2	6,6
	G3		G3	3,3
	G4		G4	0

A observância destes fatores é fundamental para uma boa validação desta metodologia, (GRAMANI, 2001) determina e define os pesos e fatores de acordo com sua importância na deflagração das corridas de detrito e por meio de estudos de casos anteriores.

O fator Chuva (R) destaca-se como o mais importante do ponto de vista de deflagração dos eventos de corrida de detrito, tendo um peso maior na análise final, especificamente neste tipo de fenômeno as chuvas mais críticas são as de picos horários, tendo suas medidas expressas em mm/h. O fator Inclinação de encostas (S) também de importância fundamental na avaliação, pois a inclinação destas é fator chave no aporte de material para as drenagens principais por meio de escorregamentos planares rasos, alimentando os fluxos de detritos.

A declividade dos canais (D) por sua vez, é fundamental pois é nesta superfície que os fluxos hiperconcentrados desenvolvem sua trajetória, tendo uma relação diretamente proporcional entre o aumento das declividades e velocidade do fluxo. Já o conhecimento da área da bacia (A), é necessário para dimensionamento da captação e concentração das águas pluviais e definição das principais trajetórias e dinâmicas de um fluxo de detrito no caso de deflagração. A altura das encostas (H), é importante para mensuração dos escorregamentos.

Os aspectos geológicos (G), incluem a identificação da litologia predominante da área de estudo, bem como, padrão de fratura dos maciços, espessura dos solos e mapeamento de depósitos que evidenciem corridas pretéritas. O uso e ocupação (V) diz respeito ao padrão de ocupação da área de estudo, devendo ser observado se a presença de solo exposto e infraestruturas sob risco.

Assim, com os fatores definidos a nota final (NF), é atingida com a somatória das notas parciais (NP) de cada classe multiplicadas pelo seu peso (P), segundo a Equação 1.

$$NF = \sum NP \times P \quad (1)$$

Por fim, para definição do grau de suscetibilidade a corridas de massa, na área escolhida se dá por meio da Tabela 2.

Tabela 2 – Notas finais e graus de suscetibilidade (Fonte: Kanji e Gramani, 2001)

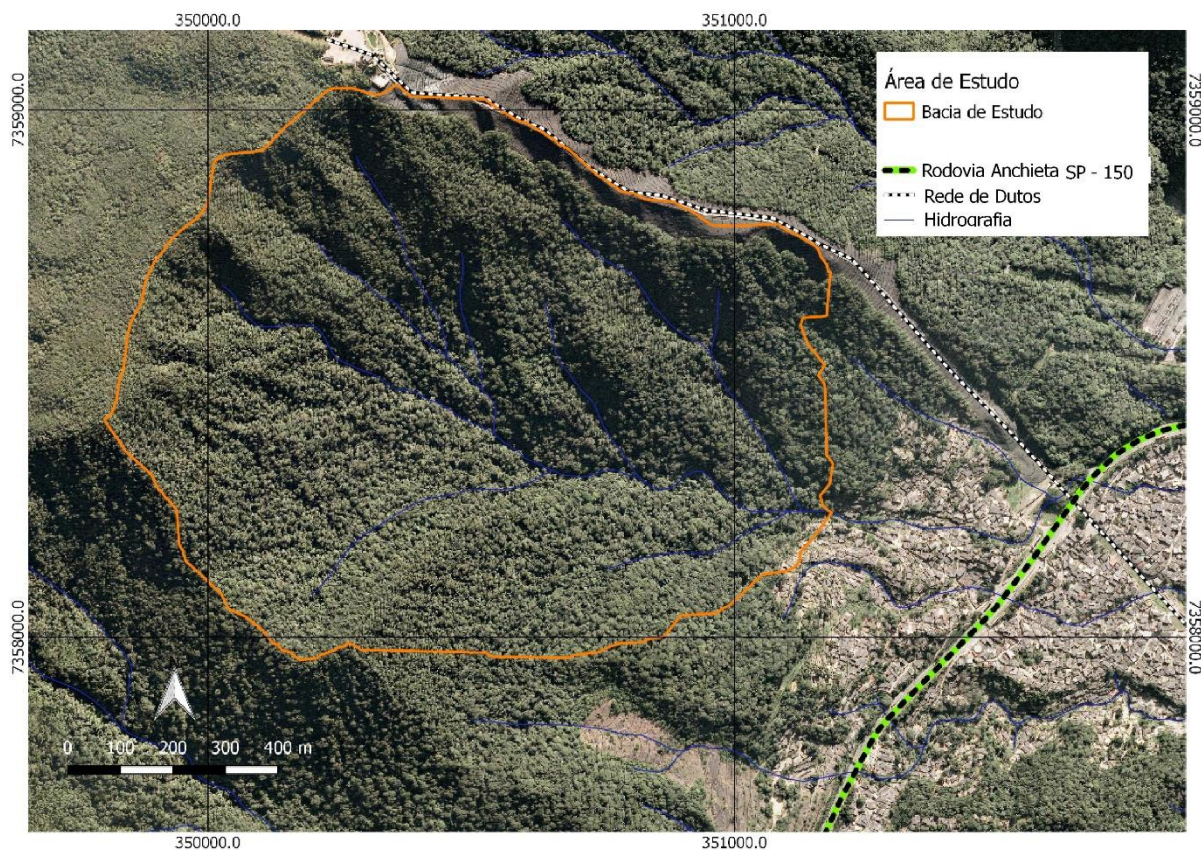
NOTA FINAL	GRAU DE SUSCETIBILIDADE
800 -100	Muito Alto
80 - 100	Alto
40 - 60	Médio
20 - 40	Baixo
0 - 20	Muito Baixo

3. ÁREA DE ESTUDO

A área definida para aplicação da metodologia foi a Bacia do Rio Cachoeira, localizada no município de Cubatão – SP (Figura 1). As características morfológicas, geológicas e pluviométricas foram determinantes para sua escolha. Também se levou em consideração o cenário de risco apresentado onde estão presentes na rota de uma possível corrida de detritos um trecho da Rodovia Anchieta (SP -150), uma rede de dutos da Petrobras e diversas residências.

O histórico de eventos dessa bacia segundo (KANJI et al., 2003), tem uma corrida de detritos no ano de 1976, onde a indústria Copebrás foi inundada pelo fluxo de lama, com limiares de precipitação crítica estimada em 40 mm/h e 276 mm/24 horas.

Figura 1 – Localização da área de Estudo

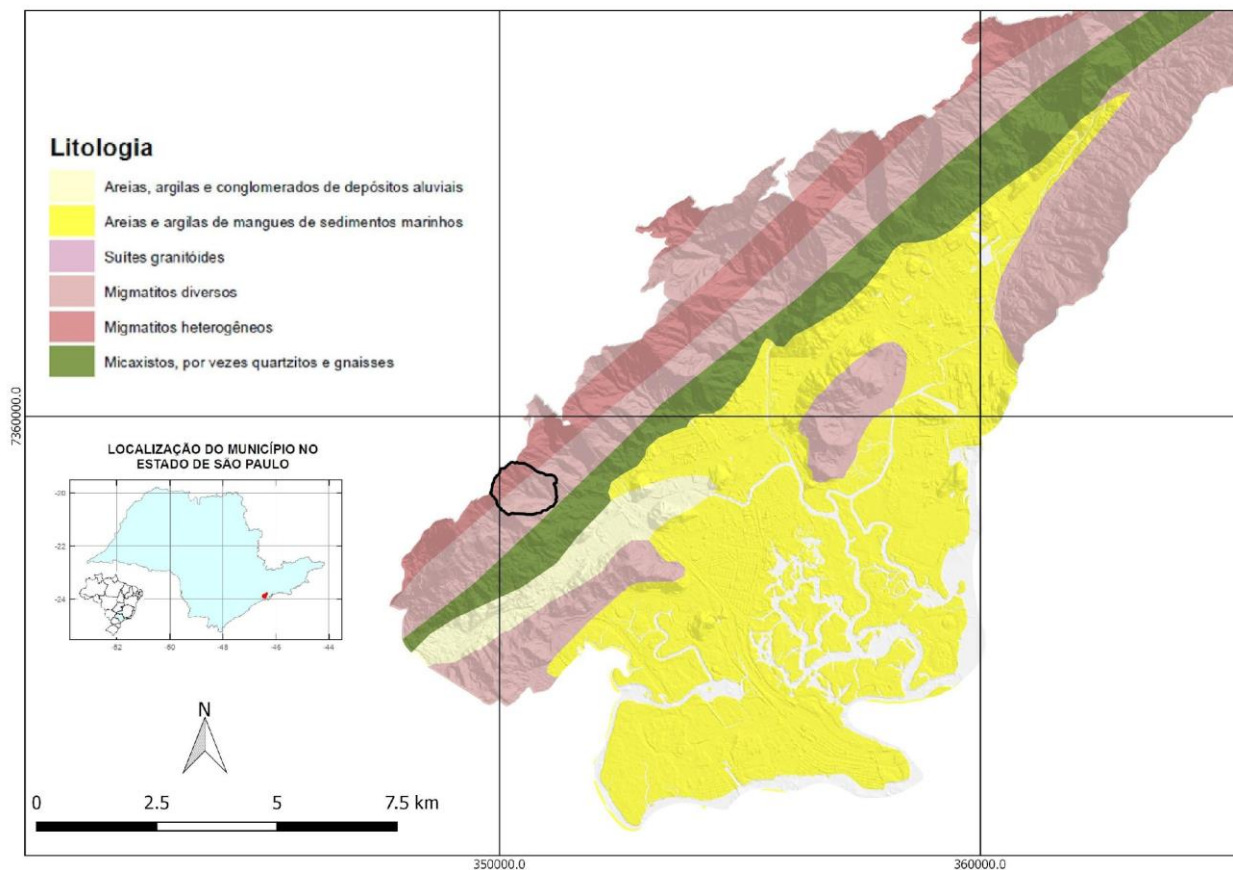


O contexto geológico da área (Figura 2), é composto por rochas de idade pré-cambrianas, pertencentes ao escudo Atlântico, sendo constituídas, predominantemente, por migmatitos, oftalmíticos, estromatíticos, xistos, filitos, quartzitos, rochas clásticas, miloníticas e granitos, apresentando xistosidade mergulhando para a encosta (TATIZANA et al. 1987). Tal subsistema de relevo caracteriza-se por apresentar drenagens de terceira e quarta ordem, desenvolvidas em anfiteatros típicos e bem definidos por interflúvios, que se estreitam na saída das drenagens (IPT, 1985).

Neste trecho do município de Cubatão, existe extensa ruptura negativa na meia encosta, ao longo de todo o anfiteatro. Esta ruptura separa duas porções bem características quanto a formas e processos dominantes. Na porção superior, predominam escarpas retilíneas de alta declividade (maiores que 30°), fortemente afetadas por processos de escorregamentos e outros processos de movimentação de massa como corridas de detrito. Já na porção inferior, predominam encostas de perfil convexo, com declividades médias (entre 20° e 30°) que vão se suavizando em direção aos vales, onde se localizam os depósitos a jusante (IPT, 1985).

Os solos são de pequena espessura, tornando-se praticamente inexistentes nas porções de maior declividade. Os perfis desenvolvidos nas regiões menos íngremes são constituídos por um tipo de colúvio marrom amarelado, argilo-silto-arenoso, plástico de baixa permeabilidade, com espessura média de 1 metro raramente passando de 2 metros, e abaixo desse colúvio a presença de um solo residual areno-siltoso, com teores de argila mais permeável, de espessura variável com valor médio de 2 metros (TATIZANA et al., 1987). Corpos de talus podem ser encontrados ao sopé das escarpas com feições de encostas convexas, apresentando grandes espessuras, podendo atingir 60 metros.

Figura 2 – Contexto geológico da área de estudo



4. RESULTADOS

Após definição e análise criteriosa da área de estudo, a metodologia foi aplicada para fins de validação e comparação, dessa forma os critérios foram mensurados através de trabalho de campo e análises morfométricas em modelo digital de elevação.

Os cenários escolhidos para precipitação foram respectivamente de 40 mm/h e 80 mm/h, devido ao histórico desta bacia hidrográfica, abaixo na Tabela 3 e 4, estão apresentados os valores mensurados para cada critério da metodologia e seu grau de suscetibilidade.

Tabela 3 – Fatores e pesos utilizados para definição da suscetibilidade na Bacia do Rio Cachoeira, Cubatão – SP (Cenário – 40mm/h)

Fatores	Parâmetros	Classe	Nota Final	Grau de Suscetibilidade
Chuva (R)	40 mm/h	R3	57,9	MÉDIA
Inclinação da Encosta (S)	30 - 45º	S2		
Declividade do Canal (D)	15º	D2		
Área da Bacia (A)	4,5 km ²	A2		
Altura da Encosta (H)	676 m	H2		
Uso e Ocupação (V)	<30%	V4		
Aspectos Geológicos (G)	G1	G1		

Tabela 4 – Fatores e pesos utilizados para definição da suscetibilidade na Bacia do Rio Cachoeira, Cubatão – SP (Cenário – 80mm/h)

Fatores	Parâmetros	Classe	Nota Final	Grau de Suscetibilidade
Chuva (R)	80 mm/h	R2	67,8	ALTA
Inclinação da Encosta (S)	30 - 45º	S2		
Declividade do Canal (D)	15º	D2		
Área da Bacia (A)	4,5 km ²	A2		
Altura da Encosta (H)	676 m	H2		
Uso e Ocupação (V)	<30%	V4		
Aspectos Geológicos (G)	G1	G1		

Podemos notar que para o cenário projetado com precipitação de 40 mm/h a bacia do Rio Cachoeira tem um quadro de suscetibilidade média, porém quando extrapolamos o cenário de precipitação para limiares horários próximos a 80 mm/h temos uma mudança de panorama onde a suscetibilidade é alta.

Isso demonstra a importância das chuvas na deflagração desse fenômeno e a relevância no seu monitoramento contínuo, atentando para os picos de intensidade horários após grandes acumulados de 72 horas, Kanji e Gramani (2001) apresentam alguns casos também no município de Cubatão onde eventos recentes foram deflagrados e permitem uma análise crítica sobre os valores apresentados.

Na Bacia do Córrego da Pedras, trecho muito próximo da Bacia do Rio Cachoeira e famosa pelos eventos de 1994 e 1996 que atingiram a Refinaria da Petrobras com chuvas estimadas da ordem de 60 mm/h, após aplicação da metodologia teve seu grau de suscetibilidade entre alta a muito alta.

5. CONCLUSÕES

O presente trabalho teve a intenção de contribuir nos métodos e técnicas para definição de cenários de risco voltados para a dinâmica das corridas de detrito nas regiões serranas brasileiras. Seu principal objetivo foi reproduzir e validar metodologia proposta por Kanji e Gramani (2001), em outra bacia hidrográfica com potencial de ocorrência a corridas de detrito.

Ficou constatado que os parâmetros morfométricos, geomorfológicos e geológicos tem influência direta na deflagração dos eventos e não devem ser menosprezados, mas o principal agente responsável pelo desenvolvimento das corridas é a chuva, especificamente aquela com picos de intensidade horários.

Esta metodologia, se mostrou eficiente como abordagem de mapeamento inicial em bacias hidrográficas serranas, pois por meio de sua aplicação se pode conhecer intimamente as principais características que podem levar a deflagração de eventos futuros.

Mas é importante deixar claro que sua principal função é como mapeamento inicial, métodos de dimensionamento com equações empíricas como as de Massad (2002), adoção de correlações de chuva versus deflagração de corridas de detrito e modelagens em softwares específicos devem ser feitas com o intuito de quantificar volumes, trajetórias e objetos sob risco, para se reduzir ao máximo o impacto desses fenômenos de magnitude destrutiva, auxiliando em planos de contingência ou na implantação de obras de contenção.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade Estadual Paulista (Unesp) e ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT)

REFERÊNCIAS

AUGUSTO FILHO, O. Caracterização geológica-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 1, 1992, Rio de Janeiro: ABMS/ABGE. P. 721-733.

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

GRAMANI, M. F.; KANJI, M. A. Inventário e análise das corridas de detritos no Brasil. In: III COBRAE - Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas, 2001, Rio de Janeiro. III COBRAE - Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas, 2001.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT. Elaboração de subsídios técnicos para um plano de emergência para a área de Cubatão, Estado de São Paulo. São Paulo. 1985 (IPT, Relatório nº 22.797).

KANJI, M. A.; CRUZ, P. T.; MASSAD, F.; ARAÚJO FILHO, H. A. Triggering Conditions and Assessment of Susceptibility of Debris Flow Occurrence. In: Panamerican Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Boston. 2:2503-2508. 2003

KANJI, M. A.; GRAMANI, M. F. Metodologia para determinação da vulnerabilidade a corridas de detritos em pequenas bacias hidráulicas. In: III COBRAE - Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas, 2001, Rio de Janeiro. III COBRAE - Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas, 2001.

MASSAD, F. Corridas de massas geradas por escorregamentos de terra - relação entre área deslizada e a intensidade de chuva. In: XII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Abms. São Paulo, v.2 p. 1223 – 1234. 2002.

TATIZANA, C.; OGURA, A.T.; CERRI, L.E.S.; ROCHA, M.C.M. Análise da correlação entre chuvas e escorregamentos na Serra do Mar, município de Cubatão. Anais do Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 5, São Paulo, v.2, p. 225-236. 1987.