

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**CORRIDA DE DETRITOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PAÚBA  
(SÃO SEBASTIÃO, SP)**

Tiago Fabrin Manzolli

Orientador: Prof. Dr. Paulo César Boggiani

Co-orientador: Prof. Dr. Edilson Pissato

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA  
(TF-2015 / 50)

SÃO PAULO

2015

TF  
M296  
TF.c

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS



**CORRIDA DE DETRITOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PAÚBA  
(SÃO SEBASTIÃO, SP)**

Tiago Fabrin Manzolli

Orientador: Prof. Dr. Paulo César Boggiani

Co-orientador: Prof. Dr. Edilson Pissato

**MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA  
(TF-2015 / 50)**

IGc-Instituto de Geociências



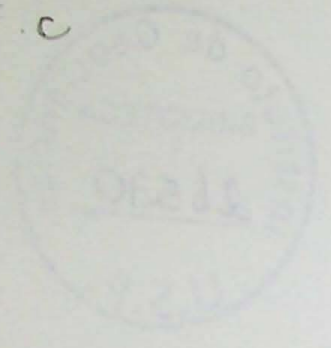
Corrida de detritos na bacia hidrográfica do Rio Paúba  
(São Sebastião, SP).

M26530

SÃO PAULO

2015

TF  
M296  
TF.c



U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE  
OFFICE OF FOREIGN TRADE DEVELOPMENT

OFFICE OF FOREIGN TRADE DEVELOPMENT  
U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE

Page 1 of 1

U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE  
OFFICE OF FOREIGN TRADE DEVELOPMENT

OFFICE OF FOREIGN TRADE DEVELOPMENT  
U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE

U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE  
OFFICE OF FOREIGN TRADE DEVELOPMENT

## AGRADECIMENTOS

Quero agradecer ao meu pai, por tudo que ele fez por mim, especialmente por ter me ensinado a lutar e a vencer.

Agradeço também ao meu pai, por ter me ensinado a lutar e a vencer, especialmente por ter me ensinado a lutar e a vencer.

Agradeço também ao meu pai, por ter me ensinado a lutar e a vencer, especialmente por ter me ensinado a lutar e a vencer.

Agradeço também ao meu pai, por ter me ensinado a lutar e a vencer, especialmente por ter me ensinado a lutar e a vencer.

Agradeço também ao meu pai, por ter me ensinado a lutar e a vencer, especialmente por ter me ensinado a lutar e a vencer.

Agradeço também ao meu pai, por ter me ensinado a lutar e a vencer, especialmente por ter me ensinado a lutar e a vencer.

---

Tiago Fabrin Manzolli

De acordo:

---

Prof. Dr. Paulo César Boggiani

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer à todos que participaram e tornaram possível a realização deste trabalho.

À Universidade de São Paulo e todos os professores do Instituto de Geociências pela oportunidade e conhecimento que tornaram possível a minha formação como geólogo.

Àos professores Paulo César Boggiani e Edilson Pissato pelo apoio e confiança durante todo o ano, pelas dicas e discussões que auxiliaram o desenvolvimento do trabalho e também pela companhia durante os trabalhos de campo.

À todo o pessoal da Vetec Engenharia, em especial aos geólogos Marcos Saito e Márcio Cunha pela oportunidade de conhecer o mercado de trabalho, pelos ensinamentos e pela ajuda durante a realização deste trabalho, fornecendo fotos, dados e idéias.

À todos os colegas da graduação, em especial aos meus amigos Igor Haruiti Hirayama, pelo AoE flag, à Mikaella Balis, Victor Amadeus Tropiano Alem e Milton Silas de Andrade Neto pela companhia e amizade durante todos esses anos de Geologia e à Mariane Borba de Lemos pelo carinho, compreensão, inspiração e companhia durante os dias de trabalho e, principalmente, de preguiça.

E à minha família, especialmente meus pais, Luiz Carlos e Mirian Regina pelo suporte, amor e também comida, conforto e roupa lavada dos finais de semana dos últimos cinco anos.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	6
ABSTRACT .....	7
1. INTRODUÇÃO.....	8
1.1 Corrida de Detritos.....	8
1.2 Área de Estudo.....	9
2. OBJETIVOS .....	10
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
3.1 Movimentos de massa.....	11
3.2 Corrida de detritos .....	13
3.2.1 Definição .....	13
3.2.2 Origens das corridas de detritos .....	14
3.2.3 Deflagração da corrida de detritos .....	15
3.2.3.1 Chuvas.....	15
3.2.3.2 Degelo .....	18
3.2.3.3 Vulcanismo .....	18
3.2.3.4 Sismicidade.....	19
3.2.3.5 Queimadas.....	19
3.2.4 Transporte e deposição em corridas de detritos .....	19
3.3 Corrida de Detritos Ocorrida em Caraguatatuba – Catástrofe de 1967 .....	25
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	32
5. RESULTADOS OBTIDOS.....	36
5.1 Trabalho de Campo .....	36
5.2 Corrida de detritos de Paúba .....	41
5.3 Determinação da vulnerabilidade a corrida de detritos .....	47
5.3.1 Parâmetros físicos da bacia.....	47
5.3.2 Aspecto geológico .....	47
5.3.3 Pluviosidade .....	48
6. DISCUSSÃO .....	51
7. CONCLUSÃO .....	53
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	54
ANEXO 1 – PERFIS TOPOGRÁFICOS DA BACIA DO RIO PAÚBA.....	57
ANEXO 2 – DADOS DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA MARESIAS – DAEE-SP.....	57

ANEXO 3 – DADOS DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA SÃO SEBASTIÃO – EMAE. .... 57  
ANEXO 4 – DADOS DE PLUVIOMETRIA DO SIMCOSTA – BOIA SP-CEBIMAR-USP. .... 57  
ANEXO 5 – VÍDEO DA CORRIDA DE DETRITOS AO LONGO DA RUA BELO HORIZONTE. 57

## RESUMO

Neste presente trabalho de formatura foi estudada corrida de detritos ocorrida na bacia hidrográfica do Rio Paúba em São Sebastião, SP, no dia 23 de dezembro de 2014. O estudo foi desenvolvido com estudo do processo, através da bibliografia, principalmente para entendimento dos processos de deflagração e posterior classificação do evento ocorrido, com observação local e levantamento de informações a respeito do mesmo. Para efeitos de comparação, foi também estudado o caso histórico da catástrofe de 1967 que ocorreu em Caraguatatuba, SP, devido à proximidade das duas regiões e o mesmo contexto geológico-geomorfológico. Além desses estudos, foi aplicado à bacia hidrográfica em questão um método de determinação da vulnerabilidade a corridas de detritos para pequenas bacias hidrográficas, proposto por Gramani e Kanji (2001). O método consiste em análise de determinados fatores, tais como: chuvas, declividade das encostas, declividade da drenagem, área da bacia hidrográfica, altura das encostas, porcentagem da área ocupada ou desmatada e aspectos geológicos favoráveis a movimento de massa. A bacia apresentou, segundo o método utilizado, vulnerabilidade média (nota 57,9 de 100) para ocorrência de corridas de detritos, fato confirmado pelo evento de dezembro de 2014. O gatilho principal para deflagração da corrida de detritos foram as chuvas dos dias 22, 23 e 24 de dezembro de 2014, com acúmulo de 20.6mm, 97.06 e 94.11mm por dia, respectivamente. O período de maior intensidade da chuva (entre as 16 e 18 horas do dia 23) coincide com o horário da deflagração da corrida de detritos, aproximadamente as 18 horas do dia 23, período no qual foi registrada precipitação acumulada de 43,92mm. A corrida de detritos desenvolveu-se ao longo do Rio Paúba até um ponto que, devido a um barramento natural, o acúmulo de água e detritos foi suficiente para romper a margem do rio e invadir a Rua Belo Horizonte, onde ocorreu a deposição do material transportado. A análise dos dados levantados possibilitou identificar as principais características de corridas de detritos conforme apresentado na literatura e inferir que a deflagração do evento se deu pelo aumento do fluxo superficial de água no Rio Paúba, possibilitando a mobilização dos materiais depositados no seu leito. Apesar das chuvas do mês de dezembro estarem dentro das médias mensais da região, conclui-se que chuvas de maior intensidades concentradas em curto espaço de tempo, podem deflagrar corridas de detritos se a bacia apresentar condições geológicas e geomorfológicas favoráveis.



## ABSTRACT

In the present work debris flows occurred in the Paúba's River hydrographic basin in São Sebastião, SP, on December 23th, 2014 has been studied. The work was developed with the study of the process, through bibliography, mainly for understanding the triggering processes and classification of the event, along with local observation and information gathering. For comparison, It was also studied the historical case of the 1967's catastrophe of Caraguatatuba, SP, due to the proximity and the same geological and geomorphological context. Beyond these studies, it was applied a method of debris flow vulnerability determination in smalls hydrographic basins proposed by Gramani and Kanji (2001). The method consists of analysis of follow factors: rainfall, slopes steepness, stream channel steepness, area of the basin, slopes heights, percentage of occupied and deforested area and favorable geological aspects to landslides. The basin presented, according to the method, medium vulnerability to debris flows, a fact confirmed by the 2014 event. The main trigger of the debris flow was the rain from the days 22, 23 and 24 of December. It rained 20.6mm, 97.06mm and 94.11mm a day, respectively. The highest intensity of rain was between 4p.m. and 6p.m., matching the debris flow triggering. The debris flow developed itself along the Paúba River, to a point that, due to a natural plugging, the accumulation of water and debris was enough to break the river margin into the Belo Horizonte street, where the debris flow was deposited. Analyzing the data it was possible to identify the main characteristics of a debris flow as stated in the literature and infer that its deflagration was due to increased superficial water flow in the river, allowing it to carry the debris deposited on its bed. Despite the rainfall of that month to be within normal range, it's concluded that high intensity rains, within a short period of time, may trigger a debris flow if the basin is susceptible to mass movements such as landslides.

## 1. INTRODUÇÃO

No presente trabalho de formatura, para conclusão do curso de Geologia, foi estudada corrida de detritos ocorrida na bacia hidrográfica do Rio Paúba em São Sebastião, SP, no dia 23 de dezembro de 2014. O estudo foi desenvolvido com estudo dos processos, através da bibliografia, principalmente para entendimento dos processos de deflagração e posterior caracterização do evento ocorrido, com observação local e levantamento de informações a respeito do mesmo. Para efeitos de comparação, foi também estudado o caso histórico da catástrofe de 1967 que ocorreu em Caraguatatuba, SP, devido à proximidade das duas regiões e o mesmo contexto geológico-geomorfológico que elas se inserem. Além desses estudos, foi aplicado à bacia hidrográfica em questão um método de determinação da vulnerabilidade a corridas de detritos para pequenas bacias hidrográficas. O método consiste em análise de diversos fatores, entre eles: chuvas, declividade das encostas, declividade da drenagem, área da bacia hidrográfica, altura das encostas, porcentagem da área ocupada ou desmatada e aspectos geológicos favoráveis a movimentos de massa.

### 1.1 Corrida de Detritos

O estudo e previsão das corridas de detritos são dificultados devido à ocorrência de forma repentina e em curtos espaços de tempo com velocidades relativamente grande, comparada aos demais processos de movimento de massa. As corridas de detritos podem ser deflagradas por diversos mecanismos, desde fortes precipitações após longos períodos de chuvas leves (mais comum na região de estudo) a até erupções vulcânicas, degelo e sismos. Embora vários estudos tenham sido realizados no âmbito de prever o volume do material escorregado, o alcance e prováveis trajetórias, ainda não se tem um conhecimento satisfatório para entender completamente as corridas de detritos.

Tais movimentos de massa são processos que ocorrem com frequência nas bacias hidrográficas da Serra do Mar da região sudeste do Brasil. Segundo Gramani (2014) as corridas de detritos dessa região originam-se a partir de um ou mais eventos de deslizamentos nas encostas serranas, geralmente em vales encaixados com drenagens de alta declividade. Durante esse processo de desenvolvimento da corrida de detritos, são comuns consideráveis alterações volumétricas da massa mobilizada em função de incorporação de material de outros deslizamentos ou do próprio leito da drenagem. Podem ocorrer também deposição de materiais devido a barragens naturais da drenagem ou diminuição da capacidade do fluxo de mobilizar os materiais mais grossos.

Jakob e Hungr (2005) definem as corridas de detritos como o fenômeno global mais desastroso relacionado a movimentos de massas em encostas seja em quantidade de mortes ou em prejuízos econômicos. Entre os danos causados pelas corridas de detritos os autores citam a morte de pessoas, destruição de construções, danos a rodovias, ferrovias e dutos, acidentes de trânsito, descarrilamento de trens, impactos ambientais por derramamentos de produtos tóxicos, destruição de áreas de agricultura, corte no fornecimento de água e suprimentos para as regiões afetadas pela corrida entre outros inúmeros danos que são difíceis de prever devido ao caráter único de cada evento.

## 1.2 Área de Estudo

O trabalho irá contemplar os movimentos de massa que ocorrem na região da Serra do Mar no litoral norte do estado de São Paulo, mais especificamente as corridas de detritos, para isso, será estudada uma bacia hidrográfica típica da região na qual ocorreu uma corrida de detritos recentemente. No final de dezembro de 2014 os moradores do bairro de Paúba no município de São Sebastião presenciaram o fenômeno que bloqueou o acesso ao bairro por vários dias devido a deposição do material mobilizado pela corrida ao longo da rua Belo Horizonte (principal acesso ao bairro de Paúba). A bacia hidrográfica em estudo e as principais drenagens estão localizadas na Figura 1.



Figura 1 – Mapa de localização da bacia hidrográfica em estudo (google earth).

A ocorrência das corridas de detritos na região é controlada por diversos fatores, os aspectos reconhecidos são relacionados às condições geológicas, geomorfológicas, climáticas, hidráulicas e da cobertura vegetal da bacia. Alguns exemplos destas condições são:

- Geológicas: Fonte abundante de material para ser mobilizado, o clima favorece o intemperismo do maciço rochoso granítico-gnaissico, gerando solos espessos com muitos matacões gerados por esfoliação esferoidal.
- Geomorfológicas: As encostas da região costumam ter declividades elevadas, maiores que 30°, e atingem cotas acima de 600 metros de altitude em relação ao nível do mar, tornando-as muito instáveis.
- Hidráulicas: As drenagens dessas bacias são encaixadas nos vales das encostas e também são íngrimes, atingindo declividades acima de 20°, gerando um fluxo de água de alta energia capaz de mobilizar materiais de grandes dimensões. Outra característica das drenagens, intimamente relacionados às condições geológicas, é a presença de vários blocos de rocha de diversas dimensões, desde decimétricas a métricas, de eventos anteriores.
- Climáticas: O clima tropical da região, caracterizado por grandes índices pluviométricos nos meses de novembro a fevereiro, favorece a deflagração das corridas de detritos, aumentando intensamente a quantidade de água no solo, fluidificando-o e nas drenagens, aumentando o potencial destas de mobilizar os blocos de rochas já existentes no seu curso.
- Vegetação: A ausência de vegetação pode diminuir a estabilidade das encostas e ocasionar escorregamentos do regolito, fornecendo material para as corridas de detritos.

## 2. OBJETIVOS

O presente trabalho de formatura teve por objetivo:

- Estudo e entendimento do processo de corridas de detritos e suas classificações.
- Caracterização da Bacia hidrográfica do Rio Paúba localizada no bairro de mesmo nome no município de São Sebastião, através de levantamento de perfis topográficos ao longo das encostas e drenagens para melhor representá-la, análise da bacia quanto ao contexto geológico favorável à ocorrência de corridas de detritos, análise dos dados pluviométricos históricos da região e dados pluviométricos do final do ano passado, quando ocorreu a corrida de detritos, para então, seguindo a metodologia proposta por Kanji e Gramani (2001).

- Determinar a susceptibilidade a ocorrência de corridas de detritos na bacia
- Descrever a corrida de detritos que ocorreu em 2014 na bacia e caracterizar o material depositado ao longo da rua Belo Horizonte.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Movimentos de massa

Os movimentos de massa são comuns em todo tipo de desnível no terreno, podendo ocorrer em encostas, margens de corpos d'água como rios ou mesmo lagos e litorais. Estrada (2010) considera os movimentos de massa um fenômeno natural que molda a evolução da paisagem e que o seu crescente estudo proporciona a compreensão dos mecanismos que governam os deslocamentos, fornecendo subsídios para o controle, contenção e previsão dos diversos tipos de movimentos de massa.

Dentre as classificações dos tipos de movimentos de massa, uma das mais populares é a de Varnes (1978), apresentada na tabela 1.

Tabela 1 – Classificação dos movimentos em encostas segundo Varnes (1978).

Tipo de movimento		Tipo de material		
		Matriz	Engenharia de solos	
			Predominantemente grosseiro	Predominantemente fino
Quedas		Queda de rochas	Queda de detritos	Queda de terra
Tombamento		Tombamento de rochas	Tombamento de detritos	Tombamentos de terra
Escorregamentos	Rotacional	Deslizamentos de rochas	Deslizamento de detritos	Deslizamentos de terra
	Translacional			
Expansões laterais		Expansões de rochas	Expansões de detritos	Expansões de terra
Corridas / escoamentos		Corridas de rochas (rastejo profundo)	Corrida de detritos	Corrida de terra (Rastejo de solo)
Complexos: combinação de 2 ou mais dos principais tipos de movimentos				

Os movimentos de massa são fenômenos que ocorrem no mundo todo em todos os tipos de ambientes e climas portanto classificações muito generalizadas podem perder um pouco o poder descritivo.

A classificação de Varnes (1978) é genérica e aplicável a condições ambientais e climáticas diversas, devido a que Augusto Filho (1992) elaborou, com base nela, classificação que melhor se adequa à dinâmica ambiental do Brasil.

Na classificação de Augusto Filho (1992) é apresentado, além das informações do tipo de material movimentado e natureza do movimento, informações de comportamento dos tipos de movimentos como velocidades e forma do movimento, em um ou mais planos de deslocamento (Tabela 2).

Tabela 2 – Características dos principais grandes grupos de processos de movimentos em encostas segundo Augusto Filho (1992).

Processos	Características do movimento, material e geometria
Rastejo ou fluência	Vários planos de deslocamento (interno) Velocidades muito baixas (cm/ano) a baixas e decrescentes com a profundidade Movimentos constantes, sazonais ou intermitentes Geometria indefinida
Escorregamentos	Poucos planos de deslocamento (externos) Velocidades médias (km/h) a altas (m/s) Pequenos a grandes volumes de material Geometria e materiais variáveis Planares - solos pouco espessos, solos e rochas com um plano de fraqueza Circulares - solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas Em cunha - solos e rochas com dois planos de fraqueza
Quedas	Sem planos de deslocamento Movimentos tipo queda livre ou em plano inclinado Velocidades muito altas (vários m/s) Material rochoso Pequenos a médios volumes Geometria variável: lascas, placas, blocos, etc. Rolamento de matação Tombamento
Corridas	Muitas superfícies de deslocamento (internas e externas a massa em movimentação) Movimento semelhante ao de um líquido viscoso Desenvolvimento ao longo das drenagens Velocidades média a altas Mobilização de solo, rocha, detritos e água Grandes volumes de material Extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas

Dentre os variados tipos de movimentos de massa o foco do presente trabalho é nas corridas de detritos, caracterizadas como movimentos mais catastróficos, e de maior magnitude e intensidade comparado aos demais.

Nas encostas da Serra do Mar as corridas de detritos ocorrem restritas aos fundos de vales e na maioria das vezes associados a outros movimentos de massa. Os materiais movimentados por escorregamentos e quedas atingem as drenagens, que durante períodos de chuvas intensas estão com uma vazão superior à média, podendo mobilizar o material nela concentrado, gerando a corrida de detritos.

## 3.2 Corrida de detritos

### 3.2.1 Definição

As corridas de detritos, ou *debris flow*, foram estudadas ao longo do tempo com várias propostas de definição. Apesar de pequenas diferenças entre as definições disponíveis na literatura, esse tipo específico de movimento de massa pode ser definido como um fluxo com mistura de sólidos e fluídos que se movimentam, através da gravidade, como uma única fase onde as partículas transportadas, de tamanho variando de argilas até blocos de dimensões métricas, são suportados pela grande quantidade de fluído entre as partículas (Takahashi (1981), Coussot e Meunier (1996)).

Segundo Hungr (2005), uma das primeiras classificações para um tipo específico de movimento de massa foi feita por Stiny (1910), a definição do autor para *debris flow* é uma enchente em uma montanha carregando materiais em suspensão e que incorpora detritos do canal, conforme a quantidade de sedimento carregada pela corrida aumenta, “a corrida atinge um limite onde ela se transforma em uma massa viscosa composta por água, solo, areia, cascalho, rochas e detritos vegetais misturados, que fluem como lava em direção a um vale”.

Takahashi (2014) define uma corrida de detritos (*debris flow*) como um fluxo de sedimentos e água misturados como se fossem fluxo de fluído contínuo movimentado pela gravidade. O fluxo ganha grande mobilidade pois os espaços entre os sedimentos estão preenchidos por água ou lama, diminuindo o atrito interno da corrida.

Hungr et al. (2001) apresentam nova classificação para diversos movimentos de massas associados a fluxos, separando-os em classes de acordo com o material transportado, quantidade de água, velocidade e algumas condições especiais. Segundo essa classificação os *debris flows* ou corridas de detritos são fluxos muito rápidos a extremamente rápidos (segundo

a classificação de Cruden e Varnes (1996) apresentada na tabela 3) de detritos saturados não plásticos em um canal íngreme.

Tabela 3 – Escala de velocidade de escorregamentos (Cruden e Varnes (1996)).

Classe de velocidade	Descrição	Velocidade (m/s)	Velocidade típica
7	Extremamente rápida	5	5 m/s
6	Muito rápida	0,05	3 m/minuto
5	Rápida	5x10	1.8 m/h
4	Moderada	5x10	13 m/mês
3	Lenta	5x10	1.6 mm/ano
2	Muito lenta	5x10	16 mm/ano
1	Extremamente lenta		

### 3.2.2 Origens das corridas de detritos

O processo de corrida de detritos tem origem quando quantidades significativas de materiais são mobilizados encosta abaixo pelos canais de drenagens, fornecendo a quantidade de água necessária para gerar um fluxo contínuo de detritos em suspensão. De acordo com Gramani (2001), as corridas de detritos têm origem nas cabeceiras das drenagens primárias e secundárias, associadas a concentração de sedimentos e água numa quantidade crítica para o seu desenvolvimento no canal. O autor cita algumas condições favoráveis para a ocorrência das corridas de detritos:

- abundante fonte de partículas e detritos de solos e/ou rocha inconsolidados;
- encostas íngremes (geralmente acima de 25°);
- fonte abundante de água atingindo os materiais suscetíveis à escorregamentos, como chuvas, degelo ou rompimentos de lagos, e
- vegetação esparsa.

Em regiões serranas, como o local de estudo do trabalho localizado na Serra do Mar, Gramani (2001) identifica quatro formas de geração de uma corrida de detritos:

- as partículas mobilizadas em escorregamentos atingem os canais de drenagem na forma de um fluido viscoso. A mistura deste material com a água do escoamento superficial mobiliza o material grosseiro presente nas drenagens;



- os materiais mobilizados por escorregamentos criam, ao atingir a drenagem, um barramento, o represamento de água no local aumenta e atinge um limite onde ocorre a ruptura do barramento, gerando as corridas de detritos;
- chuvas muito intensas elevam a vazão da drenagem, atingindo um nível em que a água é capaz de mobilizar o material grosseiro presente no leito e os solos residuais das margens;
- ruptura de lagos formados pelas morenas glaciais causadas por chuvas intensas, instabilidade dos materiais do barramento ou quedas de grandes blocos no lago.

### 3.2.3 Deflagração da corrida de detritos

A deflagração de corridas de detritos pode ser dada por vários fatores externos à bacia hidrográfica, sendo todos eles associados à fluidificação ou instabilização do material suscetível a movimentos de massa. Dentre esses fatores podemos citar: chuvas (precipitações pluviométricas), abalos sísmicos, erupções vulcânicas, degelo e queimadas.

#### 3.2.3.1 Chuvas

A precipitação pluviométrica é o principal fator para deflagração de uma corrida de detritos. Mesmo entre os demais mecanismos descritos no trabalho as chuvas estão sempre presentes, isso se deve ao fato de que a água é o principal componente das corridas, a saturação do solo e dos detritos em água aumenta sua mobilidade, possibilitando que ele flua de forma contínua como uma única fase.

Entre as principais formas de um evento de chuvas intensas deflagrar uma corrida de detritos podemos citar: a precipitação contínua ao longo de alguns dias pode intabilizar encostas levando a escorregamentos e deslizamentos, o material transportado pelo movimento de massa atinge canais de drenagens, barrando-as e acumulando água até um limite em que uma corrida de detritos é iniciada ou; uma grande quantidade de chuva em pouco tempo aumenta repentinamente o fluxo de água superficial em uma drenagem, este aumento do fluxo resulta em forças capazes de mobilizar os materiais depositados no leito da drenagem iniciando uma corrida de detritos.

Gramani (2001) comenta sobre as controvérsias na definição do tipo de chuva que favorece a deflagração de corridas de detritos. A discussão principal é se as corridas ocorrem em chuvas de longa duração e pequena intensidade ou curta duração e alta intensidade. Gramani (2001) apresenta um gráfico com cinco curvas limites para deflagração de corridas de detritos para diferentes regiões do mundo. O gráfico leva em consideração a relação da

intensidade e a duração das chuvas e os resultados são diferentes para cada local devido às diferenças climáticas, geológicas e geomorfológicas (figura 2).

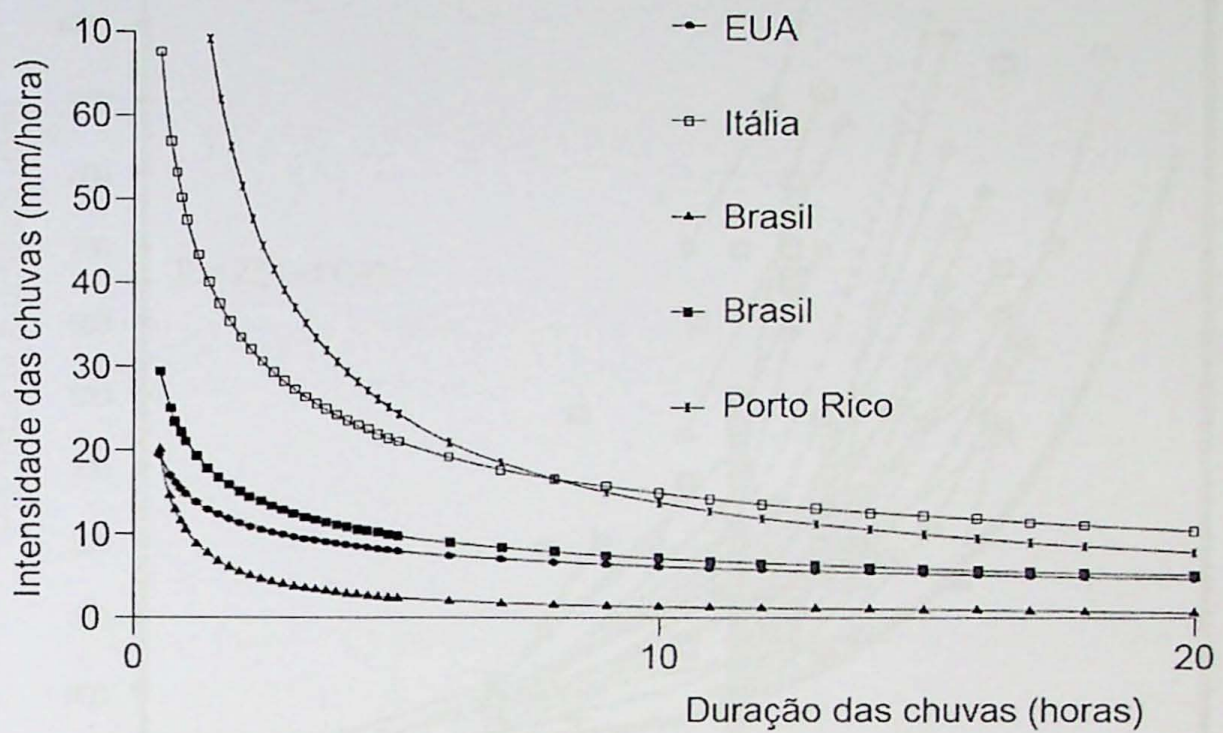
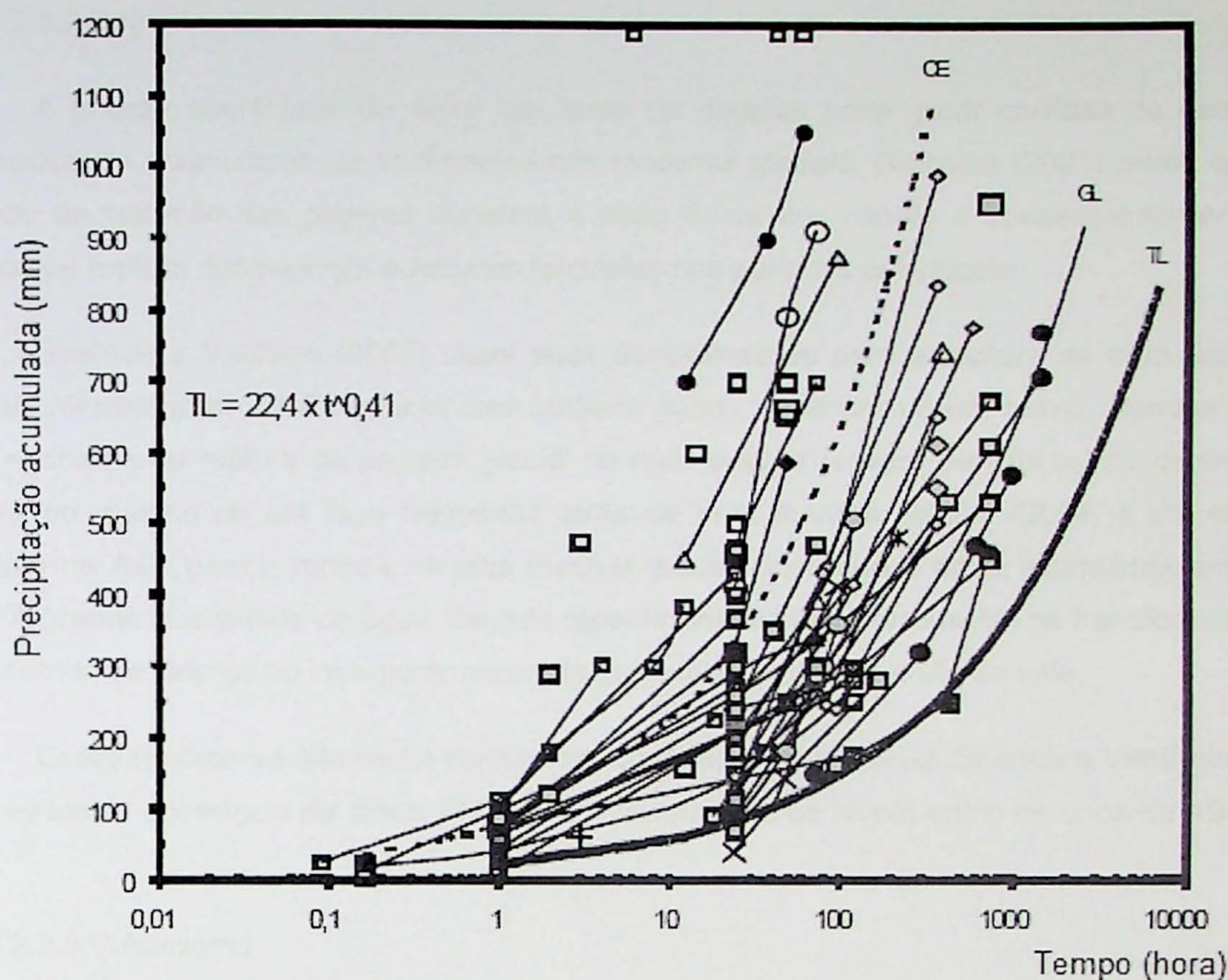


Figura 2 – Curvas limites para deflagração de corridas de detritos em diferentes regiões do mundo (Gramani (2001)).

Kanji et al. (2003) ressaltam que a comparação entre diferentes eventos é prejudicada pois não existe uma forma definida de representar as intensidades das chuvas, sendo representadas em termos de milímetros por períodos diferentes de tempo. Para os autores, uma chuva de 1mm/minuto ou menos ocorrendo por vários minutos pode deflagrar uma corrida de detritos se as condições da bacia forem favoráveis. Porém, um período de chuvas de maior duração e menor intensidade é necessária.

Para melhor comparar diferentes eventos de corridas de detritos e escorregamentos generalizados, Kanji et al. (2003) lançou vários dados obtidos na literatura em gráfico que relaciona a intensidade da chuva (chuva acumulada) com a sua duração (figura 3). A partir do gráfico foi interpretado que escorregamentos catastróficos estão relacionados com grandes precipitações ao longo de um período de vários dias a semanas e corridas de detritos ocorrem, principalmente, em eventos de intensidade muito grande em períodos de tempo curtos (minutos ou poucas horas) após períodos de chuvas de baixa intensidade.



- |       |  |   |   |
|-------|--|---|---|
| ●     | Colombia                                   | ○ | Maiquetia 99                                |
| +     | Antofagasta 91                             | ● | Caragua 67                                  |
| ▲     | S. Araras 67                               | △ | Tubarão 74                                  |
| ◇     | R. Janeiro 00                              | ■ | Cubatão 94                                  |
| ▲     | Ubatuta 96                                 | * | Via Anchieta 99                             |
| ×     | M. Quieto 00                               | ○ | C. Jordão 00                                |
| □     | Outros casos brasileiros                   | ■ | Outros casos internacionais                 |
| —     | Curva crítica - limite de deflagração (TL) | — | Curva limite de deslizamentos generalizados |
| - - - | Curva limite de eventos catastróficos (CE) |   |   |

Figura 3 – Gráfico relacionando a chuva acumulada em um evento com a sua duração. A curva inferior representa o limite para movimentos de massa em encostas (Kanji et al (2003)).

A partir do gráfico Kanji et al. (2003) interpretam que escorregamentos catastróficos estão relacionados com grandes precipitações ao longo de um período de vários dias a semanas e corridas de detritos ocorrem, principalmente, em eventos de intensidade muito grande em períodos de tempo curtos (minutos ou poucas horas) após períodos de chuvas de baixa intensidade.

### 3.2.3.2 Degelo

A grande quantidade de água resultante de degelos pode gerar corridas de detritos, acrescidos da acumulação de sedimentos nas morenas glaciais. Gramani (2001) relata que o período de retração das geleiras aumenta a ação fluvial dos canais e conseqüentemente a chance de ruptura das barragens naturais formadas nos períodos pré-degelo.

Skemer e VanDine (2005) citam duas denominações para a ruptura de uma represa glacial, *Jökulhlaup* e GLOFs (*glacial lake outburst flood*). O primeiro é um termo islandês para uma enchente de ruptura de barreira glacial no qual a água provém de trás ou de dentro da geleira ou mesmo de um lago represado atrás de uma morena glacial. GLOF é um termo utilizado na Ásia para a ruptura de uma morena glacial, liberando a água acumulada em um lago. A grande quantidade de água liberada repentinamente pode facilmente se transformar em uma corrida de detritos ao incorporar materiais provenientes do substrato do vale.

Esses fenômenos são muito comuns na Cordilheira do Himalaia, Skemer e VanDine (op. cit.) relatam a ocorrência de cinco GLOFs nas vizinhanças do Nepal entre os anos de 1977 e 1998.

### 3.2.3.3 Vulcanismo

As corridas de detritos podem ser deflagradas por atividades vulcânicas de várias formas diferentes, Vallance (2005) cita algumas características e formas de ocorrência dessas corridas. A grande diferença das corridas de detritos vulcânicas é o volume de material mobilizado, enquanto que uma corrida de detritos comum mobiliza de  $10^2$  m<sup>3</sup> a  $10^7$  m<sup>3</sup>, uma corrida de detritos vulcânica mobiliza de  $10^4$  m<sup>3</sup> a mais de  $10^9$  m<sup>3</sup>. O autor relaciona essa diferença de volume à grande quantidade de material friável nas encostas dos vulcões de origem piroclástica.

Entre as formas de ocorrência de uma corrida de detritos vulcânica podemos citar:

- erupções vulcânicas geram avalanches de rochas e cinzas quentes, podendo derreter geleiras e neve, gerando corridas de detritos;
- erupções vulcânicas em lagos de crateras podem gerar enchentes que mobilizam os sedimentos dos arredores;
- erupções ou terremotos associados podem fazer com que o edifício vulcânico colapse, se houver a presença de água necessária, isso pode gerar corridas de detritos;

- os materiais suscetíveis a erosão acumulados nas encostas dos vulcões provenientes de erupções explosivas associados a períodos de chuvas intensas podem gerar corridas de detritos ou *lahars*.

Gramani (2001) define *lahar* como materiais de origem piroclástica das encostas vulcânicas sendo mobilizados por eventos de grande intensidade de chuvas.

#### 3.2.3.4 Sismicidade

Materiais inconsolidados podem ser instabilizados por abalos sísmicos, a vibração proveniente do terremoto pode fluidificar sedimentos previamente saturados ou mesmo insaturados, uma vez instabilizados esses materiais podem fluir para canais de drenagens onde a incorporação de água pode dar início a uma corrida de detritos.

Adicionalmente a esse fato, Gramani (2001) caracteriza as regiões sujeitas a sismicidade pelas suas topografias íngremes, atividades vulcânicas frequentes, presença de rochas metamórficas de baixo grau (rochas de baixa resistência, como quartzitos friáveis, ardósias, filitos e mica-xistos) e outros processos geológicos que produzem muito material inconsolidado ou extremamente alterado.

#### 3.2.3.5 Queimadas

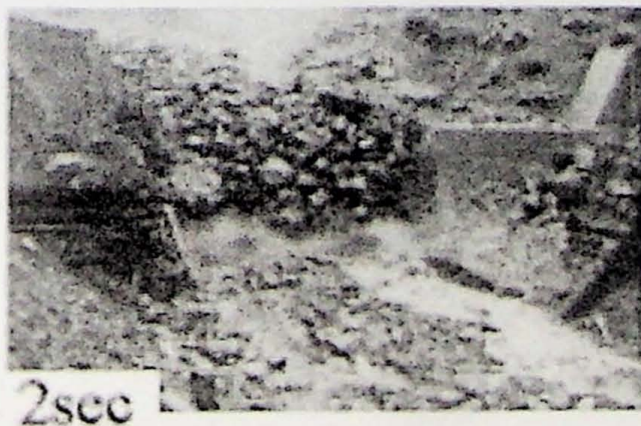
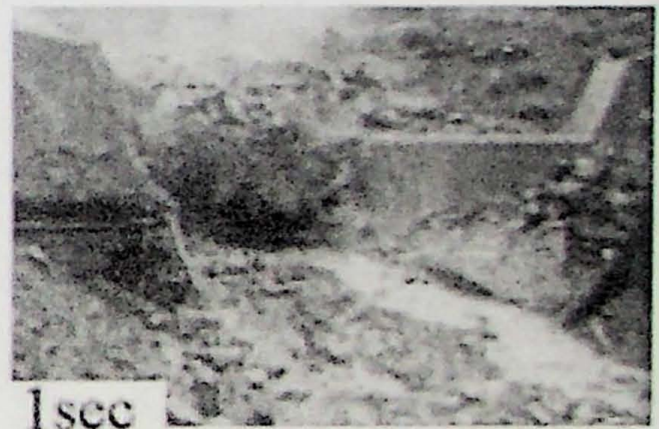
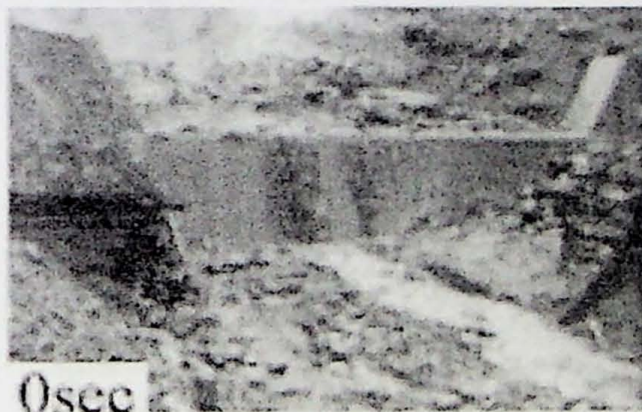
Cannon e Gartner (2005) estudaram o efeito de queimadas em bacias hidrográficas na geração de corridas de detritos e concluíram que essas corridas geradas pelas queimadas ocorrem, principalmente, devido a erosão causada pelo escoamento superficial da água. O fogo faz com que a permeabilidade do solo diminua, aumentando a quantidade de água que escorre pela superfície. Essas corridas de detritos associadas às queimadas ocorrem em até dois anos após o incêndio e geralmente em resposta às primeiras chuvas de maior intensidade dos períodos chuvosos.

#### 3.2.4 Transporte e deposição em corridas de detritos

A característica fundamental que define uma corrida de detritos, segundo Hungr et al. (2001), é a existência de um de um canal ou caminho preferencial por onde a corrida irá se desenvolver, isso é importante pois o canal contém água na superfície que é incorporada na corrida, aumentando seu conteúdo de água e o confinamento lateral ajuda a manter a profundidade do fluxo e facilita a seleção longitudinal do material e desenvolvimento de ondas e pulsos de transporte.

Para determinar a forma do transporte de uma corrida de detritos Takahashi (2014) apresenta 10 fotos tiradas ao longo de 10 segundos (figura 4) de um evento ocorrido em Kamikamihorizawa em 3 de agosto de 1976 e define o transporte em 5 etapas:

- A frente da corrida ganha profundidade rapidamente a partir de praticamente nenhum fluxo preexistente.
- Os maiores blocos de rocho se concentram na porção frontal da corrida com pouco conteúdo de líquido, podendo ser chamado de *stone flow*
- O fluxo se eleva mais no lado direito das fotos, provavelmente por causa de uma pequena curva no canal da drenagem
- A porção frontal com acumulo dos maiores blocos é curta, aparecendo apenas por alguns segundos nas fotos, enquanto que o corpo da corrida assemelha-se a um fluxo de lama com fluxo decrescente
- Estimada através das imagens, a velocidade da corrida é maior na porção central porém apresenta um gradiente de velocidade lateral pequeno.



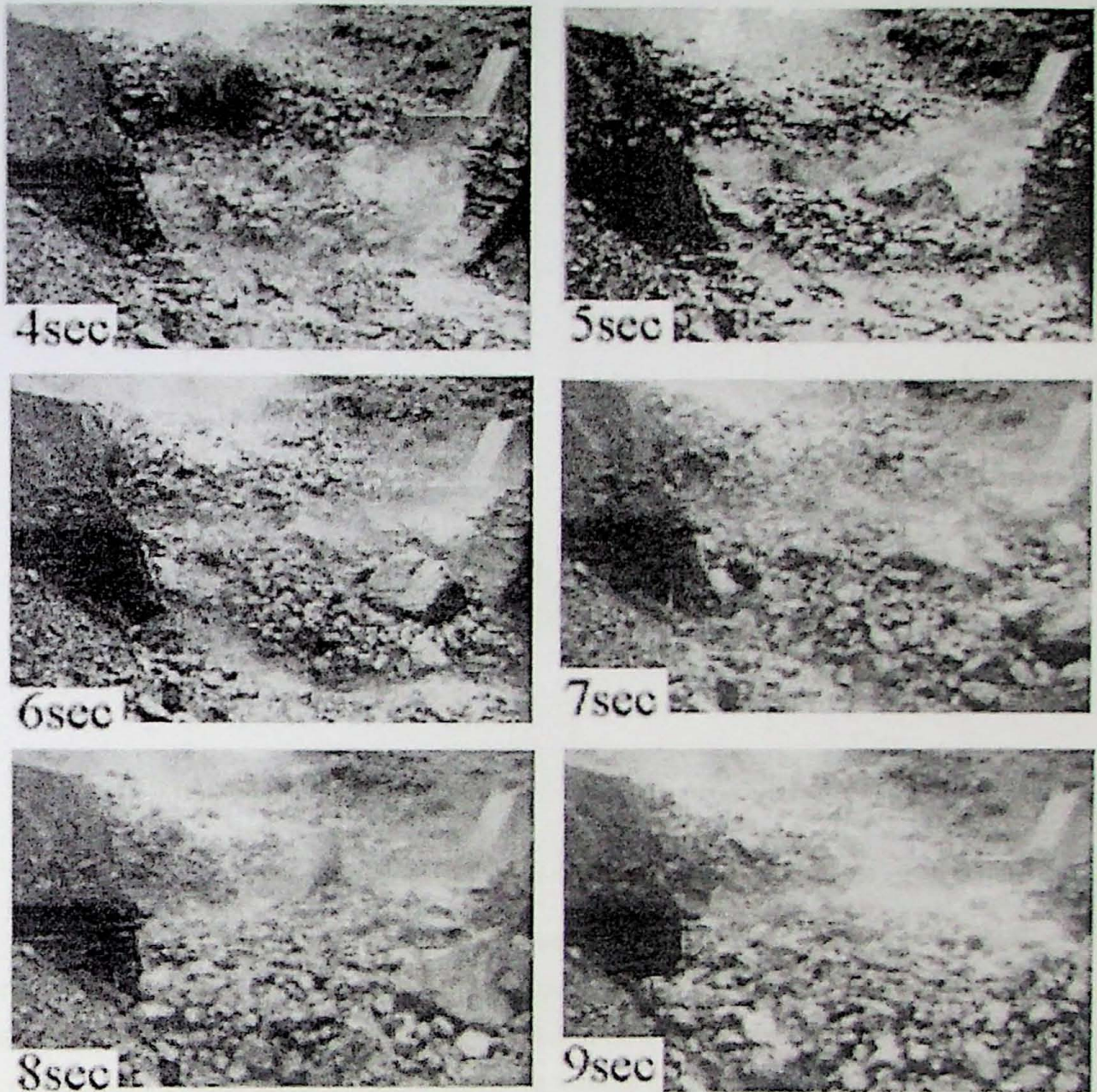
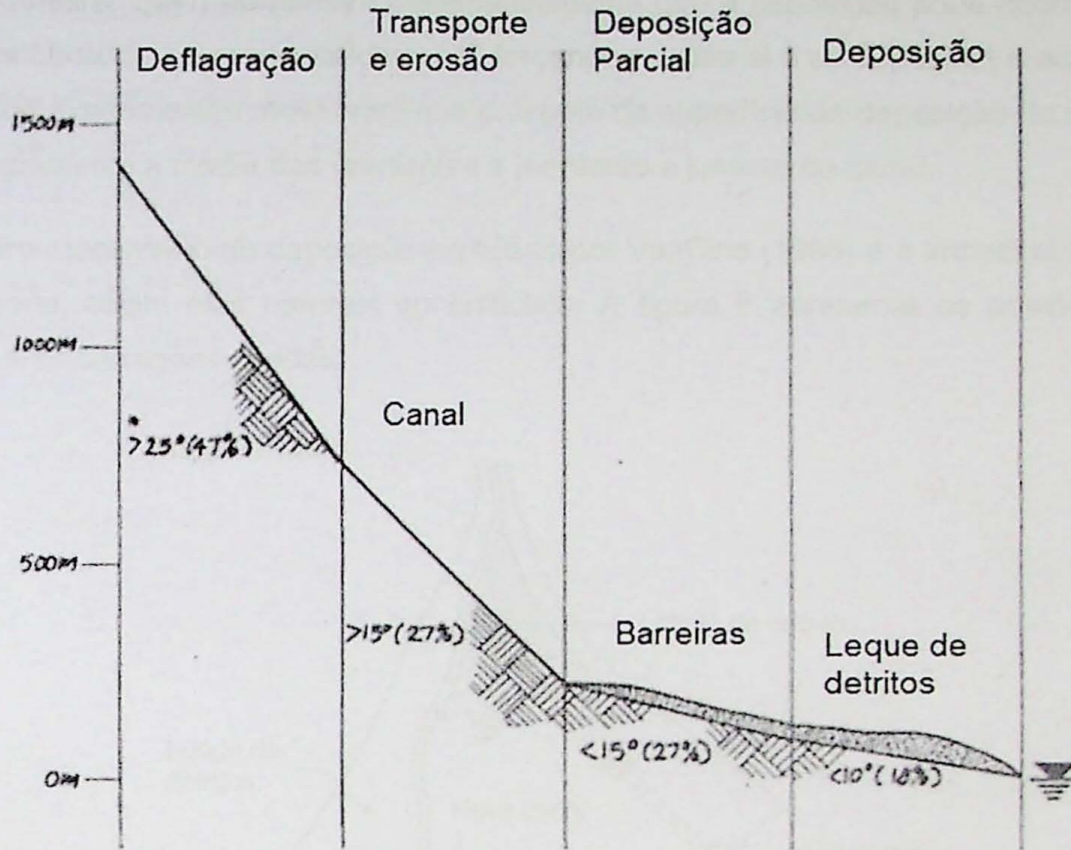


Figura 4 – Corrida de detritos em Kamikamihorizawa, 3 de agosto de 1976 (Takahashi (2014)).

VanDine (1996) divide o perfil de um canal sujeito a corridas de detritos em três zonas: início ou deflagração; transporte e erosão; e deposição, conforme a figura 5.



Gradientes típicos dos canais

Figura 5 – Perfil genérico de uma corrida de detritos canalizada (VanDine (1996)).

A zona de deflagração é geralmente caracterizada por gradiente do canal maior que 25°; a zona de transporte e erosão requer gradientes maiores que 15°; a de deposição parcial em barreiras geralmente ocorre em gradientes menores que 15° e a deposição do leque de detritos ocorre quando o gradiente do canal diminui para menos de 10°.

Esses valores podem variar de acordo com vários fatores, o autor cita como os mais importantes os seguintes:

- confinamento relativo do canal;
- composição e gradação dos detritos, que em termos depende da geologia da área; e
- razão entre detritos em relação à água.

A deposição de uma corrida de detritos canalizada é o resultado de várias condições que podem agir sozinhas ou em conjunto e, de modo geral, está associada à separação da água e dos detritos, diminuindo a velocidade de transporte.



Takahashi (1981) demonstra matematicamente que a deposição pode ocorrer devido a diminuições abruptas no gradiente do canal, forçando o material a se depositar, o autor também comenta que experimentos mostraram que o ângulo da superfície de deposição de uma corrida é aproximadamente a média dos gradientes a montante e jusante do canal.

Outro mecanismo de deposição explicado por VanDine (1996) é o impedimento do fluxo por barragens, sejam elas naturais ou artificiais. A figura 6 apresenta os possíveis modos deposição e as barragens criadas.

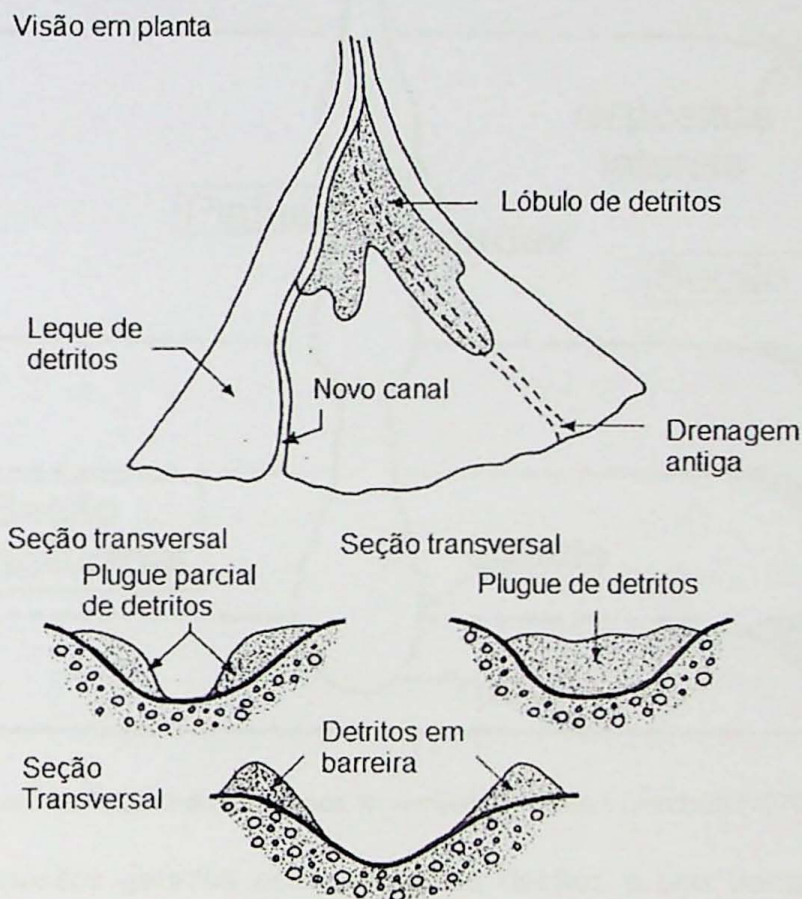


Figura 6 – Formas de deposição de corridas de detritos canalizadas (VanDine (1996)).

Na figura 6 é possível ver o depósito em forma de lóbulos ao longo das drenagens em planta e nas seções transversais (*sectional view*), os tipos impedimentos de fluxo. Os *debris levees* são barragens laterais dos canais, podendo chegar a vários metros de altura e os plugues (*plugs*) são barragens do próprio canal, podendo ser parcial ou total, nos casos em que ocorre o fechamento total do canal o fluxo geralmente rompe o leito do canal mudando abruptamente de direção.

Outra forma de deposição das corridas de detritos interpretadas por Johnson (1970) podem ser observadas na figura 7, em planta, seções longitudinais e transversais. Gramani

(2001) caracteriza esses pulsos como grandes picos de descarga de sedimentos e descreve os depósitos apresentados. Em planta nota-se as frentes de ondas mais largas e com concentração do material mais grosseiro provenientes da erosão do canal. Na seção longitudinal é possível ver os diferentes pulsos consecutivos e a distribuição granulométrica, predominantemente mais grosseira nas frentes dos pulsos. Nas seções transversais aparece a evolução da massa dentro do canal, com a frente de onda mais alta composta de material mais grosseiro e diminuindo de altura para trás.

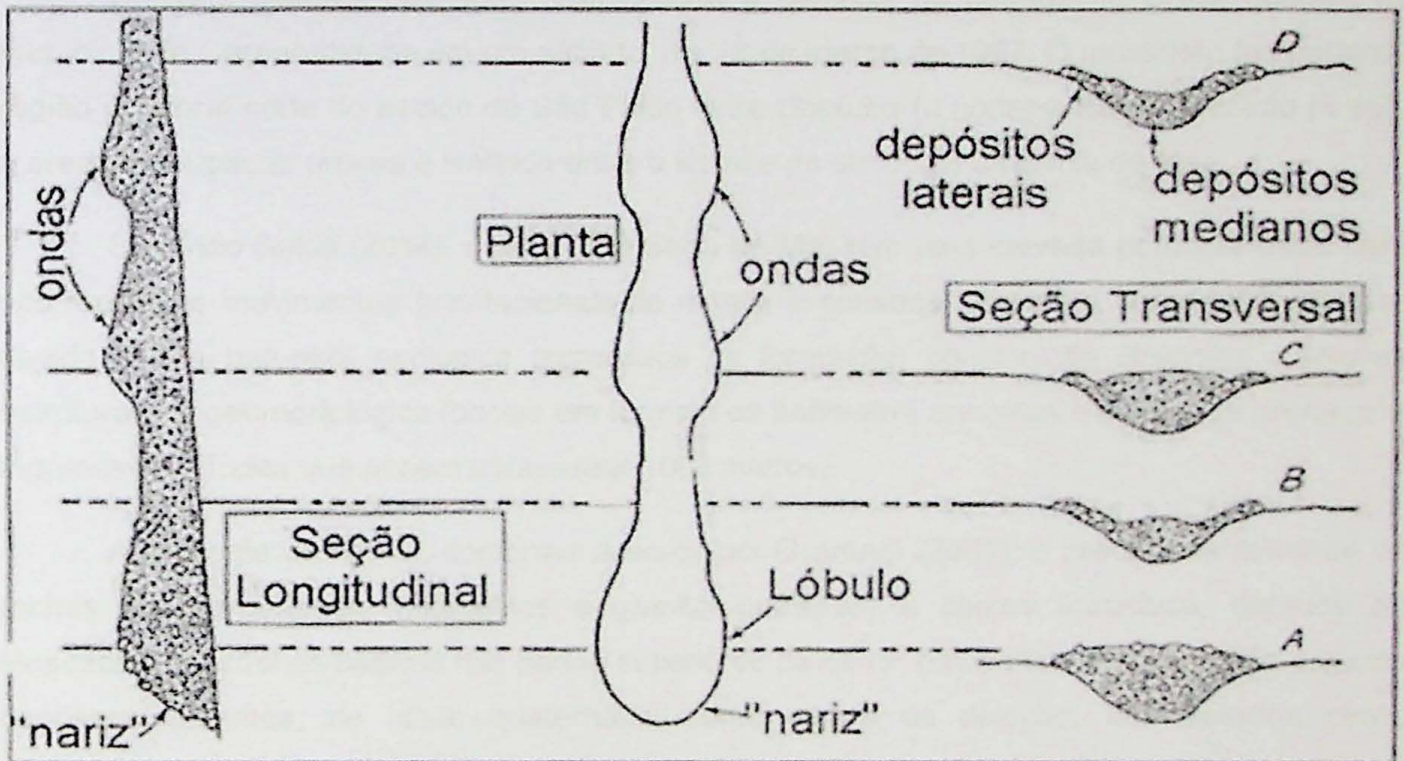


Figura 7 – Feições dos depósitos de corridas de detritos (Johnson (1970)).

Sobre os depósitos gerados pela corrida de detritos e seu transporte, Hungr et al. (2001), identifica a presença de uma certa seleção granulométrica que tende a trazer os maiores blocos de rocha próximos da superfície do depósito, gerando uma gradação inversa, esse mesmo processo ocorre longitudinalmente devido ao grande gradiente de velocidade vertical, criando uma frente composta pelo material mais grosseiro, dando à corrida um poder de destruição ainda maior. Quando essa frente, confinada em um canal, atinge a planície de deposição, ela sofre um alargamento, expelindo o material para os lados e formando os lóbulos vistos na figura 7.

Segundo Coussot e Meunier (1996) os depósitos de corridas de detritos são compostos por toda a massa envolvida na corrida, incluindo a água logo após a deposição. A forma desse depósito difere minimamente do material inerte, mesmo depois de acomodado e drenado. Pelo

fato das corridas de detritos apresentarem uma alta densidade, alta viscosidade e o material ser fortemente cisalhado e misturado durante a corrida, nenhuma seleção significativa aparece nos depósitos. Entretanto em muitos casos a maior concentração de material grosseiro se dá na frente da corrida. O depósito apresenta uma grande variedade de tamanhos, desde argila até grandes blocos de rocha de diâmetros métricos.

### **3.3 Corrida de Detritos Ocorrida em Caraguatatuba – Catástrofe de 1967**

Um dos maiores desastres relacionados a corridas de detritos no Brasil ocorreu no município de Caraguatatuba em um sábado, dia 18 de março de 1967. O município faz parte da região do litoral norte do estado de São Paulo entre Ubatuba (a norte) e São Sebastião (a sul), a área de ocupação urbana é limitada entre o litoral e as encostas da Serra do Mar.

Segundo Sakai (2014), a região da Serra do Mar tem uma elevada potencialidade para ocorrência de movimentos gravitacionais de massa e conseqüentemente corridas de detritos devido à sua natureza geológica (processos de formação, constituição litológica e feições estruturais) e geomorfológica (bacias em formato de anfiteatro, encostas e canais de drenagens íngrimes e altitudes que podem ultrapassar 1000 metros).

A geologia da região, conforme descrita por Gramani (2001), é predominantemente de rochas Pré-Cambrianas (migmatitos e granitos-gnaisses) e corpos intrusivos, datados do Mesozóico, de rochas básicas nas partes superiores da serra, nas partes inferiores são comuns depósitos recentes, de idade quaternária, como cones de dejeção, interpretados como depósitos de corridas de detritos pretéritas, terraços aluviais e os depósitos marinhos recentes, compostos por interdigitações de areias e argilas com estrutura plano paralelas sub-horizontais.

As rochas do Complexo Costeiro que formam a Serra do Mar, embasamento dos sedimentos marinhos quaternários, apresentam estruturas geológicas orientadas preferencialmente na direção NE-SW, tais como: foliações (mergulhando para SE na maioria dos casos, diques de diabásio, falhas e fraturas e leucossomas graníticos nos migmatitos de composição mais micácea.

As bacias de captação na forma de anfiteatros citadas por Sakai (2014) e descritas por Gramani (2001) apresentam altas declividades nas regiões superiores, chegando a declividades maiores que 45° e sofrem diminuição abrupta no pé da serra onde, segundo Cruz (1974), ocorrem depósitos heterogêneos com grandes blocos com até 4 metros, seixos, areias, sedimentos muito finos e matéria orgânica. Essa quebra abrupta no relevo representa a transição entre as zonas de transporte e deposição de material, a grande diminuição na energia

do fluxo e a proximidade da quebra de relevo em relação a origem do material (cerca de 500-750 metros) faz com que ocorra a deposição dos materiais grosseiros e redução da competência de transporte das partículas maiores.

A água captada nas pequenas bacias em formato de anfiteatro cria diversos padrões de drenagens nas encostas da Serra do Mar, elas entalham o terreno em vales em forma de “V” e são controladas, de acordo com Gramani (2001), pelas litologias e feições estruturais. As litologias apresentam diferentes resistências à alteração, permitindo a penetração superficial de maneira distinta e também os contatos e sistemas de fraturas nas rochas são zonas de fraqueza que favorecem a percolação de água. Outro fator importante controlado pelas litologias e composições mineralógicas é a espessura de solo formado, rochas quartzofeldspáticas tendem a gerar regolitos menos espessos e mais arenosos enquanto que zonas ricas em biotitas (muito comum nos migmatitos da região) geram regolitos espessos e argilosos com até 10 metros.

Além dessas características físicas da região, outro motivo, se não o mais importante, para a ocorrência da catástrofe de 1967, foram os altos índices pluviométricos, que a caracteriza como a região mais chuvosa do país. Isso ocorre devido ao barramento de massas de ar úmido que chegam do Oceano Atlântico, ao colidir com a Serra do Mar a massa de ar úmido se resfria gerando as chuvas típicas da região.

O verão de 1967 foi atípico em relação às chuvas, com chuvas praticamente em todos os dias desde o início do ano. Segundo Cruz (1974) as chuvas foram contínuas ao longo de vinte dias do mês de janeiro, acumulando 541,2mm, e quatorze dias em fevereiro, acumulando 268,6mm e todos os dias de março até a tragédia no dia 18 deste mês. A chuva que deu início aos escorregamentos começou no dia 16 de março, aumentando de intensidade na tarde do dia 17, com a incidência de 115mm neste dia e 420mm no dia 18.

A incidência anômala de chuvas no verão de 1967 pode ser verificado nos dados do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (Figura 8), no mapa de Precipitação Acumulada as áreas em verde indicam grande quantidade de chuvas acumuladas no mês de março de 1967 e no mapa de Anomalia de Precipitação, também de março de 1967, as áreas em azul são anomalias positivas de chuva (chuvas acima da média).

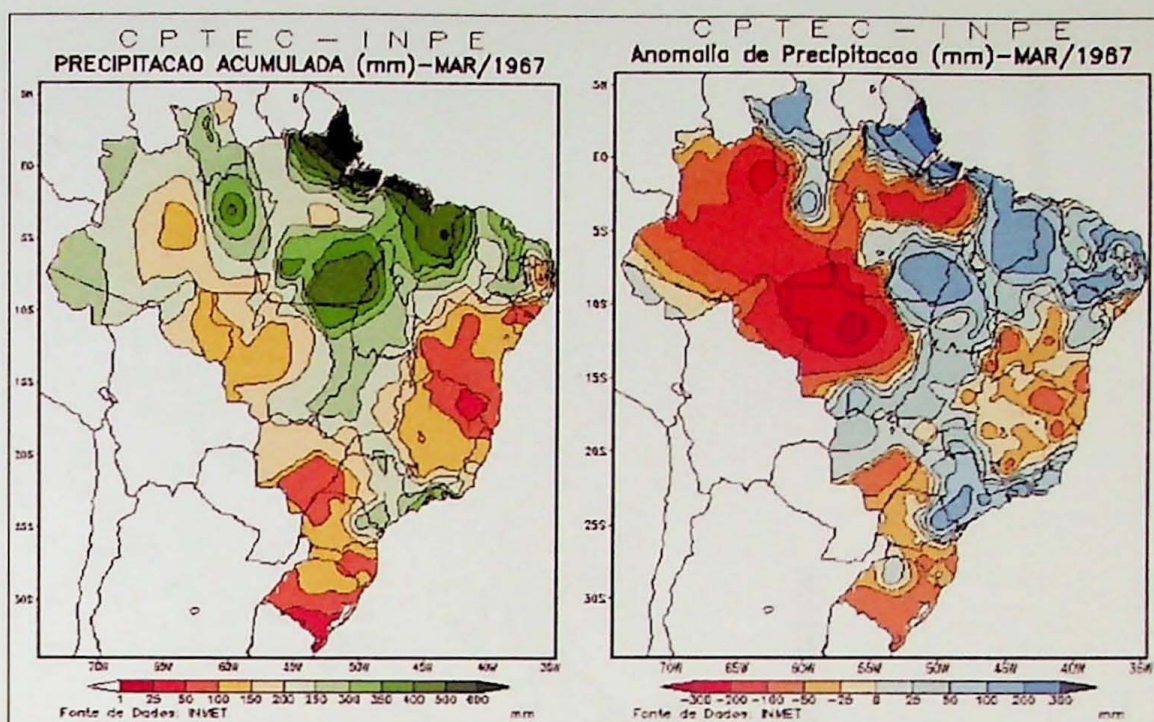


Figura 8 – Precipitação acumulada e anomalia de precipitação em março de 1967 (INPE).

Devido à grande quantidade de chuvas nos dias anteriores à catástrofe, as encostas da Serra do Mar, principalmente nas cabeceiras dos rios Pau D'alto, Casa Alta, Camburu e Santo Antônio, instabilizaram-se e ocorreram inúmeros escorregamentos, Fulfaro et. al. (1976) delimitam os escorregamentos através de fotointerpretação de levantamentos da VASP de 1973, na escala 1:25.000 e observações de campo (Figura 9). No mesmo trabalho é estimado a quantidade de material que foi mobilizado através da análise dos vazios deixados pelos escorregamentos nas encostas, totalizando 16.400.000 de metros cúbicos, que em termos de toneladas seria algo em torno de vinte e nove milhões e meio.

Durante os escorregamentos generalizados, Gramani (2001), diz que os materiais mobilizados foram canalizados e transformados rapidamente em corridas de detritos com grande mobilização de material vegetal. Os processos ocorreram num raio variando de 7 a 15 quilômetros de extensão e, devido à grande área afetada e às várias diferenças entre cada local, as características alteraram-se conforme o escoamento, passando de “debris flows”, “mud flows” e “mud flood”. Independente de como o processo é classificado, Gramani (2001), ressalta a violência dos deslizamentos citando termos utilizados pela população para descrever o ocorrido, como “a casa rodou”, “o morro rodou” ou “a pedra rodou”.

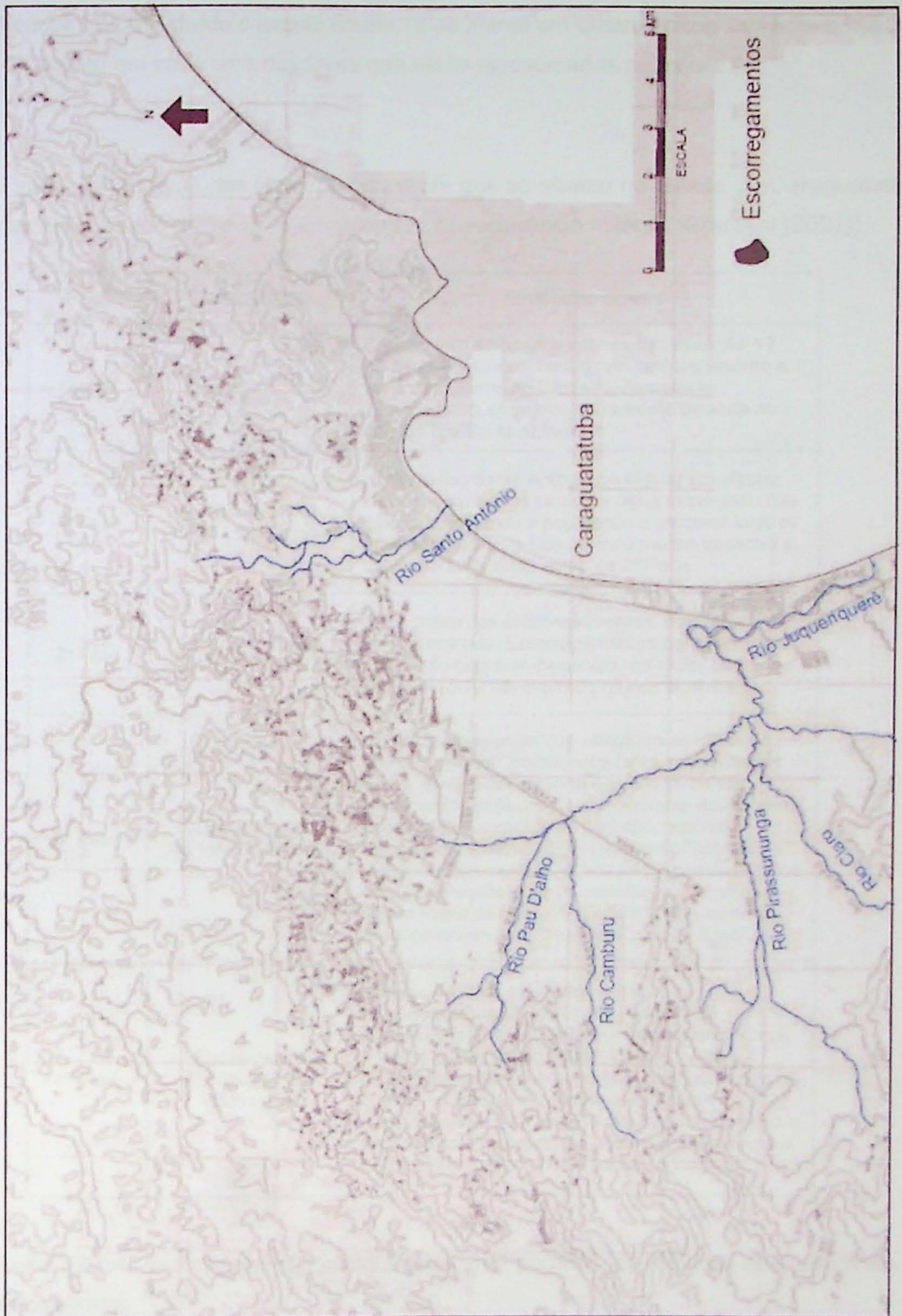


Figura 9 – Mapeamento dos escorregamentos da catástrofe de 1967 (Fulfaro et. al.(1976)).

Gramani (2001) divide o evento do dia 18 de março em quatro principais fases e faz uma síntese do evento em cada uma das fases que estão apresentadas na tabela 4.

Tabela 4 – Síntese das fases da catástrofe que se abateu na cidade de Caraguatatuba no ano de 1967, devido a chuvas muito violentas de recorrência milenar (Gramani (2001)).

Fase	Denominação	Síntese do evento
Dia 18	Primeiras horas da manhã	Começaram a cair as primeiras barreiras. Às 13 horas veio a avalanche total de pedras, árvores e lama dos morros do Cruzeiro, Jaraguá e Jaguarazinho, enquanto outra frente se abria no vale do Rio Santo Antônio
1ª Fase	Enchente inicial (12:00 - 16:00 horas)	Nível do Rio Santo Antônio se elevou em alguns metros e em alguns pontos a água extravasou nas margens, forçando a população a procurar lugares mais seguros. Este fato auxiliou muitas pessoas a salvarem suas vidas antes da 2ª Fase.
2ª Fase	Escorregamentos (16:00 - 16:30 horas)	Fase crítica dos escorregamentos, pois alguns já tinham ocorrido. Escorregamentos generalizados. A superfície de ruptura atingia, na maior parte dos casos, a rocha sã, expondo muitas cicatrizes.
3ª Fase	"Debris Flows" (16:15 - 17:00 horas)	Os escorregamentos que atingiram as linhas de drenagem foram mobilizados (solo, rocha, árvore, água) canalizados, retidos e acumulados em barramentos naturais. Com o aumento do material acumulado e aumento da pressão, ocorreu o rompimento violento destes, gerando "debris flow". Segundo testemunhas, o fato foi precedido de forte barulho (~ trovão), com o material movimentando-se em forma de onda. Próximo a Caraguatatuba, transformou-se num "mud flow", "wood flood".
4ª Fase	Enchente por bloqueio (17:00 - 18:00 horas)	A ponte metálica localizada próximo a desembocadura do Rio Santo Antônio foi completamente bloqueada por troncos de árvores, trazidos pelos "debris flows", formando um represamento natural, originando uma enchente de grandes dimensões. A região a montante transformou-se num imenso reservatório de água e sedimentos em suspensão. Como consequência a ponte entrou em colapso e liberou o material.

Sakai (2014) lista algumas consequências das corridas de detritos que atingiram a região neste evento:

- Ao todo foram observados cerca de 700 pontos de escorregamentos (figura 10);



Figura 10 – Pontos de escorregamentos em Caraguatatuba (Acervo do Arquivo Municipal de Caraguatatuba).

- Cerca de 30.000 árvores foram arrancadas das encostas e depositadas nas partes planas (figura 11);



Figura 11 – Restos vegetais arrastados das encostas para a planície (Acervo do Arquivo Municipal de Caraguatatuba).

- Ao longo do Rio Santo Antônio formaram-se depósitos com até 5 metros de altura, com blocos métricos pesando entre 30 e 100 toneladas;
- Alargamento do Rio Santo Antônio, atingindo larguras de 80 metros, sendo que nas condições normais o rio tem entre 10 e 20 metros de largura (figura 12);



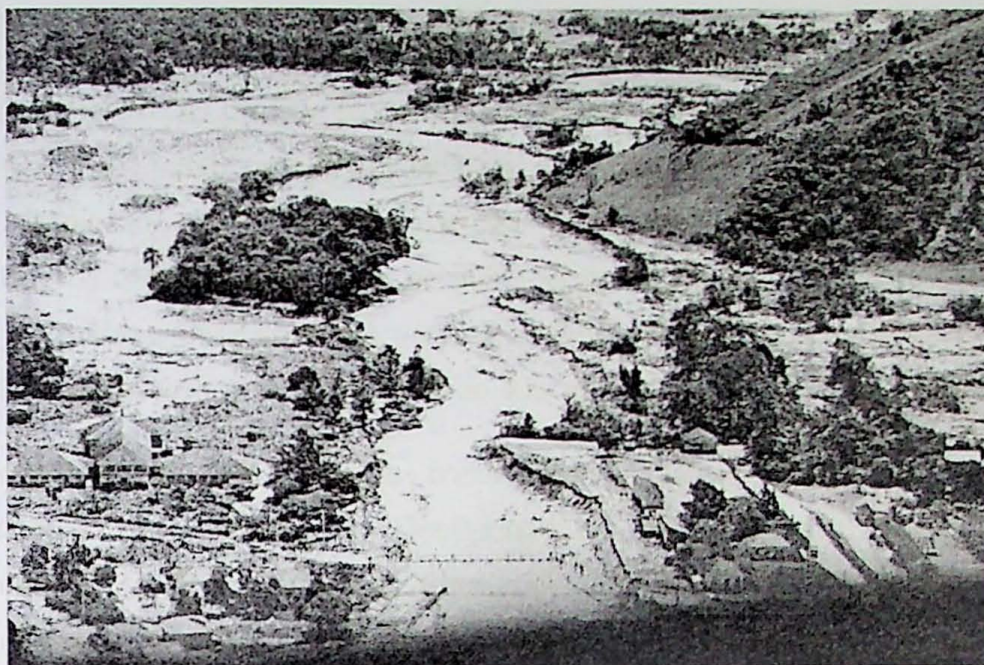


Figura 12 – Alargamento do Rio Santo Antônio (Acervo do Arquivo Municipal de Caraguatatuba).

- 436 mortes registradas oficialmente (embora seja estimado número superior devido ao difícil trabalho de localização e identificação das vítimas), 400 casas destruídas e 3.000 desabrigados, sendo que a população total da cidade na época era de 15.000;
- 7,56 milhões de toneladas de material movimentado apenas no vale do Rio Santo Antônio;
- Trechos da Rodovia dos Tamoios (SP-99) foram destruídos (figura 13).



Figura 13 – Rodovia dos Tamoios destruída (Acervo do Arquivo Municipal de Caraguatatuba).

#### 4. MATERIAIS E MÉTODOS

Para caracterização do evento de corrida de detritos ocorrido no bairro de Paúba (São Sebastião,SP) e determinar a susceptibilidade de ocorrência de novos eventos na bacia hidrográfica, foi utilizado o método proposto por Kanji e Gramani (2001). O método leva em conta vários fatores que influenciam na geração de fluxos de detritos, estabelecendo pesos e classes para cada fator. Uma vez determinada a classe de um fator atribui-se à ele uma nota parcial que será utilizada para o cálculo final de suscetibilidade à corrida de detritos.

São considerados sete fatores condicionantes: Chuva, em milímetros por hora; Declividade das encostas, em graus; Declividade da drenagem, em graus; Área da bacia hidrográfica, em quilômetros quadrados; Altura das encostas, em metros; Porcentagem da área ocupada ou desmatada; Aspecto geológico, tipo de solo e rocha, estruturas e propriedades geotécnicas como pode ser observado na tabela 5.

A nota final para a suscetibilidade (SG) varia de 0 a 100, sendo dividida cinco categorias: muito baixa (0 a 20), baixa (20 a 40), média (40 a 60), alta (60 a 80) e muito alta (80 a 100) e é calculada pela soma das notas parciais (PG) de cada fator vezes o seu peso (W) atribuído, segundo a equação (1):

$$(1) SG = \sum (PG_i \cdot W_i).$$

Os parâmetros físicos da bacia, como declividades de encostas e drenagens, altitude máxima das encostas e área da bacia foram determinados através de perfis topográficos construídos, com uso do software AutoCAD da imagem digital da carta topográfica de Maresias em escala 1:50.000 do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística).

Para determinação mais confiável das declividades das drenagens foi utilizado como distância horizontal do perfil topográfico o comprimento real da drenagem e não um perfil aproximado retilíneo como feito para as encostas (figura 14).

Os limites da bacia foram adotados como as cristas dos espigões da Serra do Mar que dividem topograficamente as drenagens e seus afluentes, de forma que toda água proveniente das chuvas na bacia seja captada para o rio principal da bacia.

Tabela 5 – Pesos, Intervalos e Notas Parciais de cada fator. (Kanji e Gramani. (2001)).

Fator	Classe	Peso (W)	Intervalos (RV)	Nota Parcial (PG)
Chuva (R) (mm/h)	R1	3	>80	10
	R2		60-80	6,6
	R3		30-60	3,3
	R4		<30	0
Declividade das encostas (S) (°)	S1	2,5	>45	10
	S2		45-30	6,6
	S3		30-15	3,3
	S4		<15	0
Declividade do rio (D) (°)	D1	0,5	>25	10
	D2		15-25	6,6
	D3		10-15	3,3
	D4		<10	0
Área da bacia (A) (km <sup>2</sup> )	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 da terra, Vegetação (V) *	V1	0,5	90-100	10
	V2		50-90	6,6
	V3		30-50	3,3
	V4		<30	0
Aspecto geológico (G) **	G1	1,5	G1	10
	G2		G2	6,6
	G3		G3	3,3
	G4		G4	0

\* % da área ocupada ou desmatada

\*\* inclui tipo de solo e rocha, propriedades geotécnicas e estruturas

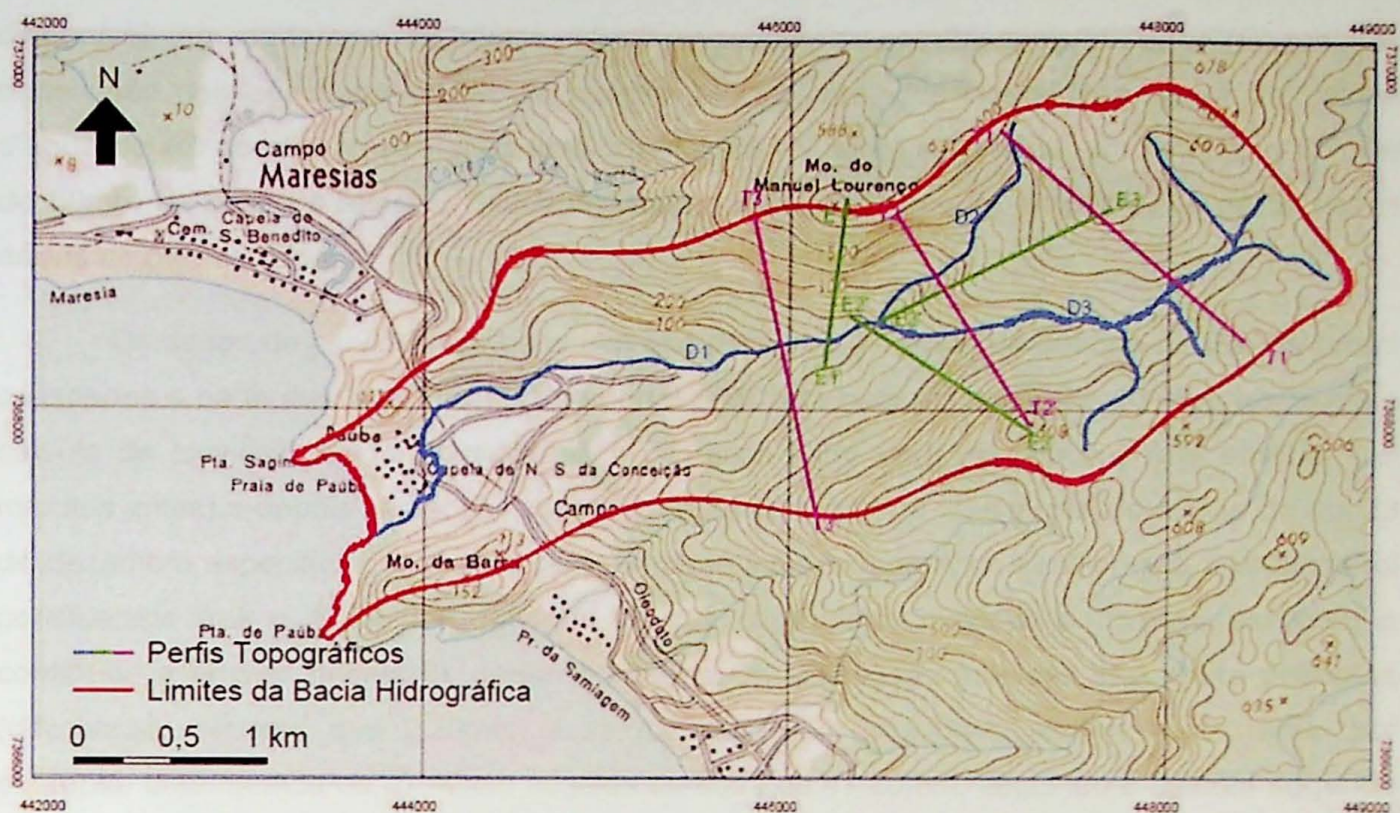


Figura 14 – Localização dos perfis topográficos levantados para caracterização da bacia. Detalhe da carta topográfica de Maresias 1:50.000.

O aspecto geológico da bacia foi estudado em campo e através de outros trabalhos da região, incluindo o tipo de rocha, espessura de solos, presença de matacões nas camadas de solo de alteração de rocha, estruturas que podem ser favoráveis aos deslizamentos ou não. Foram também incluídas considerações sobre o clima tropical que intensifica o intemperismo, o relevo fortemente acidentado próximo do oceano, que barra as massas de ar úmido formando nuvens na região da Serra do Mar, mesmo em períodos relativamente secos, mantendo o solo sempre com grande quantidade de água, o que é um dos principais condicionantes para a deflagração de corridas de detritos.

O fator chuva foi analisado em duas escalas de tempo, uma que leva em conta dados históricos da região, através das séries históricas obtidas no HidroWeb, um sistema de informações hidrológicas da ANA (Agência Nacional de Águas) e outra mais atual que abrange o período chuvoso do verão de 2014, responsável pela corrida de detritos ocorrida no bairro de Paúba, esses dados atuais foram disponibilizados pelo Portal SiMCosta (Sistema de Monitoramento da Costa Brasileira). O projeto possui uma boia próxima a costa em São Sebastião (boia SP-CEBIMAR-USP) que registra dados oceanográficos e meteorológicos coletados a cada uma hora. O pluviômetro utilizado é da R. M. Young, modelo 50202 que mede a precipitação acumulada até 50mm, segundo o manual de instruções do pluviômetro

disponível no endereço eletrônico [http://www.youngusa.com/Manuals/50202-90\(D\).pdf](http://www.youngusa.com/Manuals/50202-90(D).pdf), os dados são coletados através de um sistema elétrico que, dependendo da altura da coluna d'água dentro do pluviômetro, gera uma corrente de voltagem específica, uma vez que o limite de 50mm de chuva é atingido o aparelho esvazia automaticamente e continua a gerar novos dados de pluviosidade.

Os dados de pluviosidade da chuva que deflagrou a corrida de detritos de Paúba foram calculados a partir dos logs baixados no portal SiMCosta com resolução de 10 minutos. Para o cálculo de pluviosidade foi considerada a diferença entre uma medida e a sua anterior (10 minutos antes) e depois somadas essas diferenças para obter a chuva total do mês e do dia 23 de dezembro especificamente. Nos casos em que a medida anterior é maior que a próxima foi considerado que o pluviômetro chegou na sua capacidade máxima de 50mm, esvaziou e continuou a encher (tabela 6), porém há casos em que essas medidas são muito próximas (diferenças menores que 0,20mm) e as medidas de pluviosidade seriam muito altas, por exemplo: uma medida de 47,40mm seguida de outra de 47,20mm, seguindo o cálculo sugerido seria obtido uma pluviosidade de 49,80mm em 10 minutos (valor muito alto comparado com os demais), optou-se então desconsiderar esses valores uma vez que o erro do pluviômetro é de 1mm para mais ou para menos em suas medidas.

Tabela 6 – Exemplo de cálculo da quantidade de chuva para cada um dos casos citados no texto.

Data	Hora	Medida do Pluviômetro (mm)	Pluviosidade (mm)	Cálculo
12/23/2014	16	47.25	-	-
12/23/2014	16	49.80	2.55	$49.80 - 47.25 = 2.55$
12/23/2014	16	4.71	4.90	$(50 - 49.80) + 4.71 = 4.90$

Para a descrição do depósito sedimentar da última corrida de detritos ocorrida na bacia do Rio Paúba serão utilizados dados de campo obtidos a partir de visitas ao bairro de Paúba, registro fotográfico, informações fornecidas pelo geólogo Márcio Angelieri Cunha que visitou o local dias após o evento e relatos de moradores.

## 5. RESULTADOS OBTIDOS

### 5.1 Trabalho de Campo

O trabalho de campo foi realizado no dia 3 de julho de 2015, no bairro de Paúba em São Sebastião, e teve como principal objetivo reconhecer a área e a corrida de detritos que ocorreu no dia 23 de dezembro de 2014. O acesso a área de estudo se deu através da Rodovia Ayrton Senna da Silva e Rodovia Governador Carvalho Pinto (SP-070), Rodovia dos Tamoios (SP-099) e Rodovia Governador Mário Covas (SP-055), no local o trabalho concentrou-se na Rua Belo Horizonte ao lado do Rio Paúba onde ocorreu a corrida de detritos. Os pontos observados estão localizados no mapa de localização (figura 15).



Figura 15 – Mapa de localização dos pontos descritos em campo (google earth).

A corrida de detritos, provavelmente, iniciou-se ao longo do Rio Paúba, com possível represamento próximo do ponto 3. A quantidade de água e material represado aumentou até um limite em que ocorreu a ruptura da barragem e a corrida foi desviada para a Rua Belo Horizonte, por onde seguiu até próximo do ponto 1 com deposição de grande quantidade de material, inclusive blocos decimétricos a métricos. Segue uma breve descrição de cada um dos pontos observados.

Ponto 1: Deu-se início às observações de campo próximo à estação de tratamento da SABESP. Este foi o ponto mais distal onde os blocos de rocha foram encontrados. Foi possível descrever o material trazido pela corrida de detritos que ainda estava na beira da estrada, trata-se de um depósito mal selecionado que abrange desde blocos de rocha de diâmetro decimétrico (entre 20 e 40 centímetros) até sedimentos finos como areias (figura 16). Segundo o Geólogo Marcio Angelier Cunha, que mora em São Sebastião e visitou o local alguns dias após a corrida de detritos, este ponto seria a porção mais distal do depósito dos detritos, concentrando os blocos de rochas menores e os sedimentos finos trazidos em suspensão pela água.

Ponto 2: Neste ponto, cerca de 50 metros abaixo de onde a corrida de detritos rompeu o canal da drenagem foram observados diversos blocos de rochas de diâmetro métrico na beira da estrada (figura 17). Os blocos são de composições gnaissicas e graníticas, que fazem parte do Complexo Costeiro da Serra do Mar na região, evidenciando que esses blocos provavelmente são matacões gerados a partir do intemperismo dessas rochas no processo de esfoliação esferoidal.

Ponto 3: Este ponto é o local onde os detritos carregados pelo rio romperam a margem da drenagem e passou a correr pela rua. Segundo Gramani e Kanji (2001) uma das características das corridas de detritos é ocorrer em pulsos sucessivos devido picos de chuva, escorregamentos ou barramentos da drenagem pelo próprio material transportado. Isto pode ser observado na drenagem onde os vários blocos de rocha depositados no leito formam vários caminhos por onde a água pode fluir, acredita-se que o barramento destes caminhos gerou uma acumulações de detritos e água suficiente para romper a margem da drenagem e seguir em direção a Rua Belo Horizonte (figura 18).

Ponto 4: Neste ponto foi possível ter uma visão melhor da drenagem, esta apresenta cerca de 8 metros de largura, chegando a 12 metros em locais onde são formados desvios pela presença de blocos e não atinge profundidades superiores a 1,5 metros no centro do canal.

Segundo informações dos moradores, durante a corrida de detritos o nível d'água subiu cerca de 3 metros, encobrindo totalmente a ponte vista na figura 19.

Ponto 5: Neste ponto foi observado um corte da rua. O corte tem cerca de 10 metros de altura e mostra diversas feições de instabilidade como sulcos erosivos formados pela chuva e um depósito em forma de leque na base. No local fica evidente as grandes espessuras de solo de alteração de rocha e presença de matações residuais nessas camadas de regolito que servem de fonte de material para as corridas de detritos, seja por escorregamentos ou mesmo pela erosão do leito e margens das drenagens (figura 20).

Ponto 6: Neste ponto fomos recebidos por uma família que vive em uma casa próximo da drenagem que nos forneceu as informações sobre as chuvas que deflagraram a corrida de detritos. Os moradores também relataram um evento parecido que ocorreu cerca de 7 anos atrás porém de menores proporções, e de fato é possível distinguir os blocos de rocha na drenagem dos dois eventos, sendo que os blocos antigos estão coberto por musgos e os trazidos pela corrida recente ainda estão limpos (figura 21).



Figura 16 – Depósitos finos (areia mal selecionada e blocos de rocha de aproximadamente 30cm) próximos à estação de tratamento da SABESP (poucos dias após o evento).





Figura 17 – Blocos de rocha gnaissica e granítica na beira da Rua Belo Horizonte nas proximidades do Ponto 2.



Figura 18 – Local de rompimento da margem da drenagem, o material da margem foi reposto pela prefeitura junto com a remoção do depósito que se formou na Rua Belo Horizonte.



Figura 19 – Feição típica do canal de drenagem. A seta indica a ponte e o nível d'água aproximado durante a corrida.



Figura 20 – Corte da Rua Belo Horizonte todo em solo com aproximadamente 10 metros de altura.

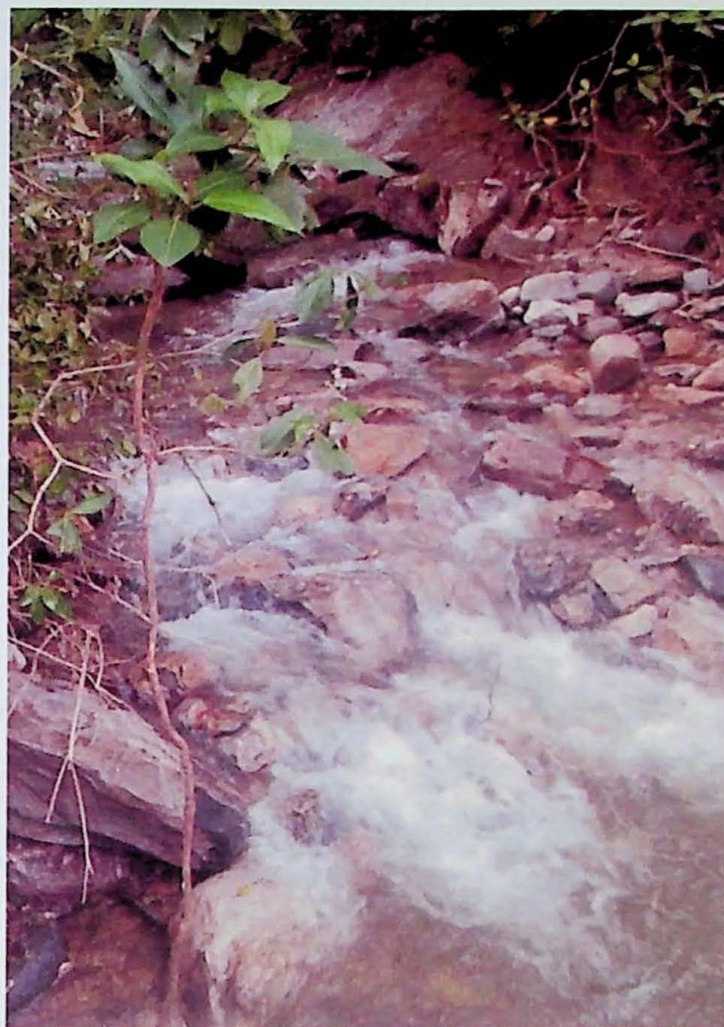


Figura 21 – Blocos trazidos pela corrida recente em primeiro plano e blocos já depositados no leito do Rio Paúba a mais tempo (coberto por musgos).

## 5.2 Corrida de detritos de Paúba

Segundo informações obtidas dos moradores do bairro chovia frequentemente no final do ano de 2014 e na manhã do dia 23 começou a chuva que originou a corrida de detritos. A chuva iniciou-se no dia 22 e seguiu chovendo até a tarde do dia 24, sendo que o período de chuva mais intensa foi na tarde do dia 23, entre as 16 e 18 horas.

Analisando os dados de pluviosidade obtidos pelo Portal SiMCosta (Sistema de Monitoramento da Costa Brasileira) da boia SP-CEBIMAR-USP podemos confirmar as informações obtidas pelos moradores do bairro. A chuva teve início na noite do dia 22 de dezembro por volta das 22 horas e prosseguiu até a tarde do dia 24 de dezembro, somando 211,77mm nesses três dias (20.6mm no dia 22, 97.06mm no dia 23 e 94.11mm no dia 24), com o maior pico de chuva entre as 16 e 18 horas do dia 23, período no qual choveu 43,92mm. São apresentados gráficos das chuvas do mês de dezembro (entre os dias 12 e 31 disponíveis no

Portal SiMCosta) que somou 244,12mm e da chuva do dia 23 de dezembro no qual é possível ver o pico de 43,92mm entre as 16 e 18 horas (figuras 22 e 23).

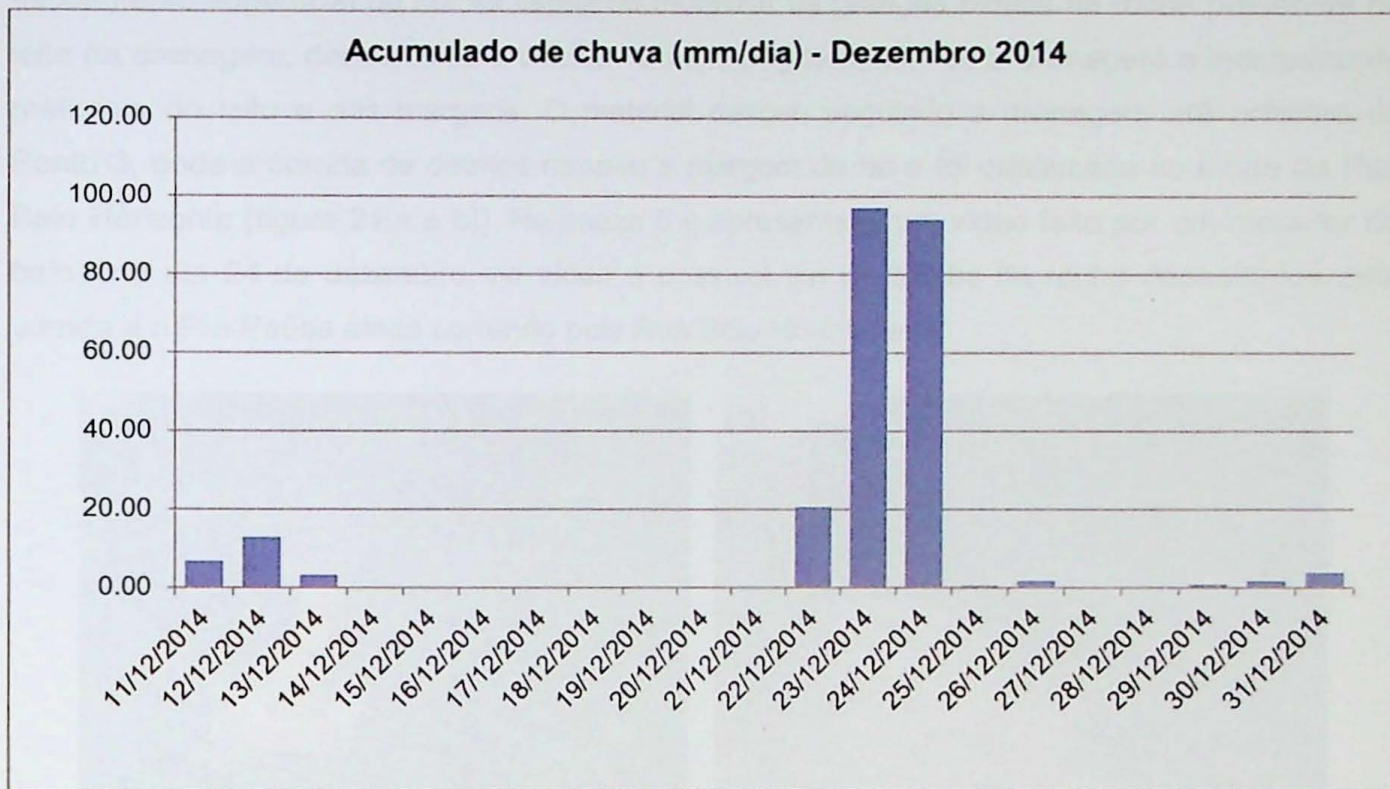


Figura 22 – Chuvas registradas entre os dias 12 e 31 de dezembro de 2014 (mm/dia).

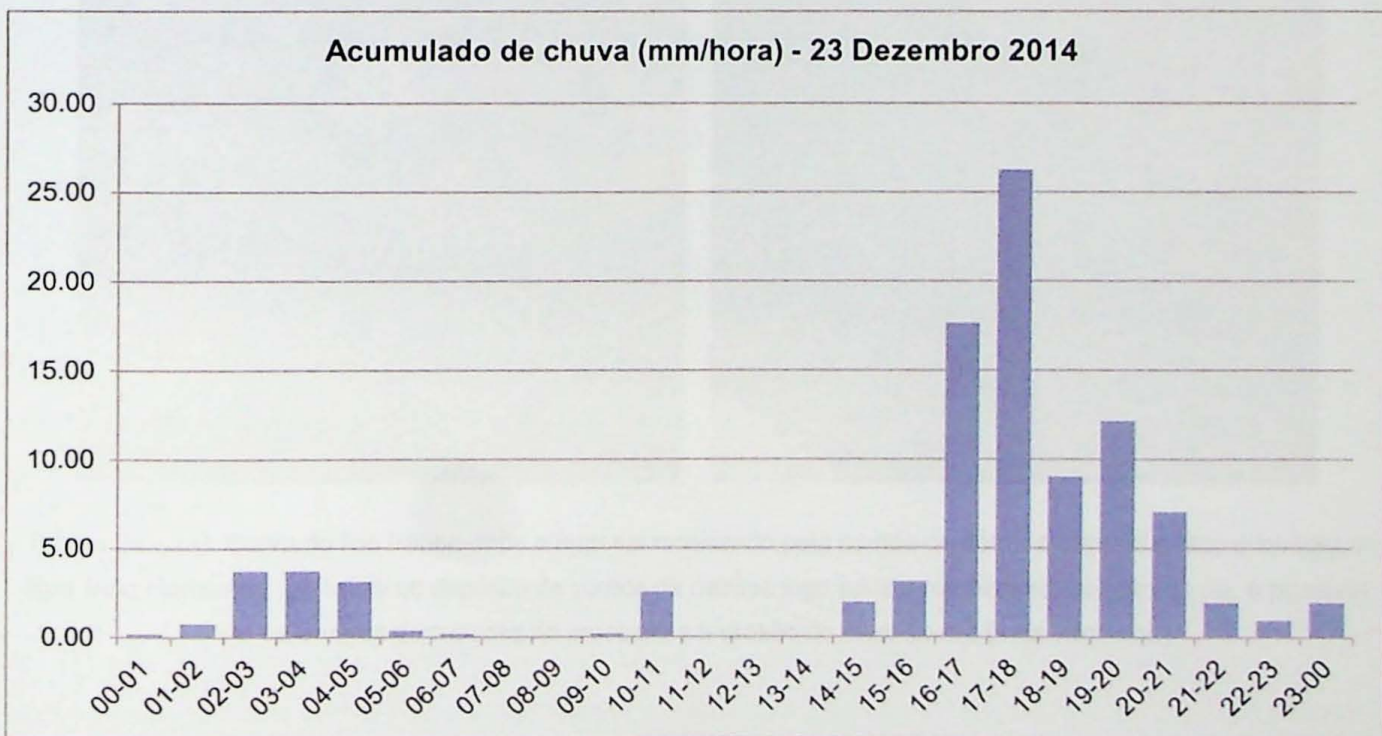


Figura 23 – Intensidade da chuva do dia 23 de dezembro em períodos de 1 hora (mm/h).

A corrida provavelmente teve início ao longo do rio, por volta das 18 horas do dia 23, coincidente com o pico da chuva registrada. A água proveniente da chuva, somada a água de escoamento superficial do rio, foi capaz de mobilizar os grandes blocos de rocha presentes no leito da drenagem, dando início a corrida. O fluxo segue descendo a drenagem e incorporando materiais do leito e das margens. O material desceu seguindo a drenagem até próximo do Ponto 3, onde a corrida de detritos rompeu a margem do rio e foi canalizada ao longo da Rua Belo Horizonte (figura 24(a e b)). No anexo 5 é apresentado um vídeo feito por um morador do bairro no dia 24 de dezembro, no vídeo é possível ver os blocos de rocha depositados pela corrida e o Rio Paúba ainda correndo pela Rua Belo Horizonte.



Figura 24 – (a): Curva do Rio Paúba onde o material mobilizado pela corrida de detritos rompeu o leito e invadiu a Rua Belo Horizonte. (b): Início do depósito da corrida de detritos logo após o rompimento do leito do rio, é possível ver as árvores derrubadas no processo e a erosão do nível da rua (seta vermelha).

O poder de erosão dos detritos carregados pela água foi capaz de escavar a rua em até 2 metros de profundidade em alguns pontos e deixou um grande depósito de blocos de rocha de até 2 metros de diâmetro entre os pontos 3 e 1 (figura 25 (a)). Este depósito apresenta na sua porção frontal, devido a turbulência de sua mobilização e deposição, gradação inversa da granulometria, onde os blocos e matacões de maior diâmetro ficam na parte superior enquanto que seixos e sedimentos finos como areia são depositados na parte inferior (figura 25 (b)).



Figura 25 – (a): Depósito de blocos e matacões ao longo da Rua Belo Horizonte. (b): Porção Frontal do depósito de blocos da corrida de detritos, é possível identificar de forma grosseira a granulometria inversa dos materiais (poucos dias após o evento).

Devido ao fato do rio ter mudado seu curso e continuado a fluir pela Rua Belo Horizonte por algum tempo depois da corrida de detritos os sedimentos depositados foram remobilizados, formando uma pequena planície de inundação onde os sedimentos finos (areia fina a grossa mal selecionada) e pequenos blocos de rocha de até 40cm foram depositados, local descrito no ponto 1 do trabalho de campo (Figura 26 (a e b)).



Figura 26 – (a): Início dos depósitos de materiais finos (areia mal selecionada) e pequenos blocos de rocha (depósito frontal da corrida de detritos ao fundo). (b) Final dos depósitos finos, delimitando a máxima distância percorrida pelos sedimentos.

Os danos causados pela corrida de detritos foram: bloqueio da principal rua de acesso do bairro devido aos depósitos associados, impedindo que muitos moradores pudessem acessar a cidade por alguns dias, destruição parcial de tubulações de esgoto (figura 27 (a e b)), algumas famílias que moravam próximas do rio foram desalojadas, muros de propriedades foram danificados (figura 28) e grande parte do bairro ficou sem energia elétrica por alguns dias após o ocorrido. Não foram registrados óbitos e pessoas com ferimentos graves.

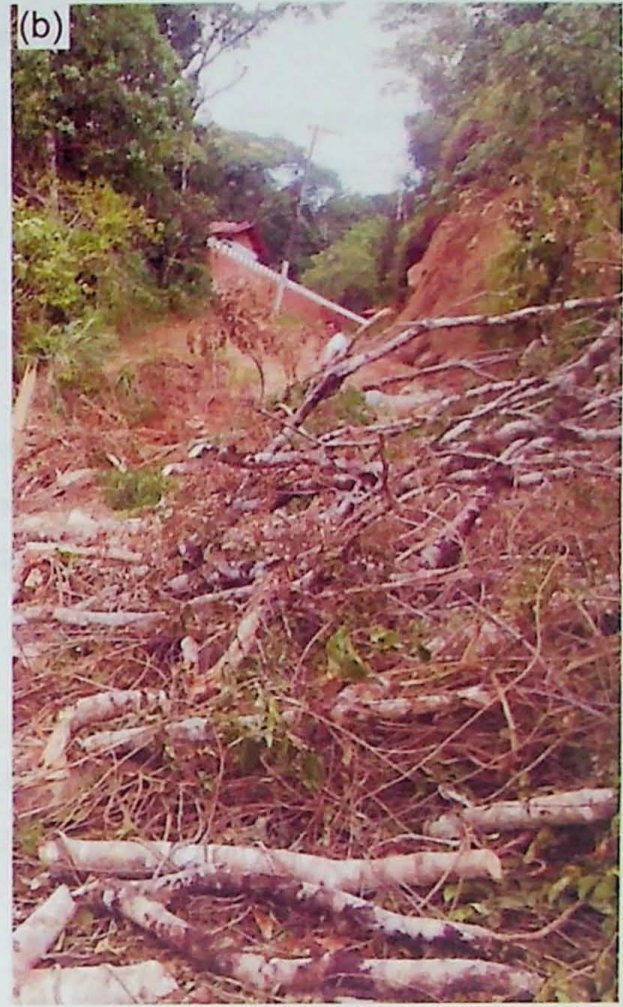


Figura 27 – (a): Rede de esgoto danificada. (b): Bloqueio da Rua Belo Horizonte invadida pela corrida de detritos, derrubando as árvores do local.



Figura 28 – Muro parcialmente danificado pela corrida de detritos próximo a uma leve curva da drenagem (o muro tem aproximadamente 2 metros de altura).



### 5.3 Determinação da vulnerabilidade a corrida de detritos

Seguindo o método proposto por Kanji e Gramani (2001), foram levantados vários dados sobre a bacia hidrográfica do Rio Paúba seguindo a classificação ilustrada na Tabela X. É importante ressaltar que este método faz uma estimativa qualitativa da susceptibilidade de ocorrência de uma corrida de detritos em uma determinada bacia e não prevê com que frequência ou intensidade o evento ocorre. Segundo os relatos dos moradores obtidos no trabalho de campo e dados históricos da região acredita-se que a ocorrência das corridas tem caráter cíclico e que quanto maior o período entre os eventos maior será sua intensidade devido, por exemplo, à geração de material nas áreas fontes como solo e blocos de rocha associados ao intemperismo das rochas que é intenso em áreas tropicais como a Serra do Mar.

#### 5.3.1 *Parâmetros físicos da bacia*

Os parâmetros físicos da bacia como declividades de encostas e drenagens, altitude máxima das encostas e área da bacia foram obtidos a partir da carta topográfica de Maresias em escala 1:50.000. Foram traçados perfis topográficos ao longo das drenagens (D1 D2 e D3), encostas (E1 E2 e E3) e perfis transversais (T1, T2 e T3) à bacia para detalhá-la, a localização dos perfis em planta está ilustrada na Figura 14.

Os perfis topográficos com as medidas de declividade média seguem no Anexo 1 do trabalho. As declividades mais críticas das encostas variam entre 30° e 40°, configurando a bacia como classe S2, as drenagens apresentam declividades máximas em torno de 20° (classe D2). A área aproximada da bacia é de 7,8 quilômetros quadrados (classe A2) e o topo das encostas encontram-se em alturas entre 500 e 600 metros (classe H2). A área desmatada da bacia foi estimada através das fotos de satélite em menos de 30% (classe V4).

#### 5.3.2 *Aspecto geológico*

Este parâmetro utilizado na estimativa da vulnerabilidade requer interpretação das características geológicas apresentadas pela bacia como o tipo de solo e rocha, estruturas, abundância de material que pode ser mobilizado entre outros condicionantes.

Os aspectos geológicos da bacia foram classificados como muito condicionantes a ocorrência de corridas de detritos (classe G1) devido, principalmente, às grandes espessuras de solo, presença de matacões gerados pelo intemperismo, comum de locais onde predominam rochas ígneas e metamórficas como granitoides e migmatitos, grande quantidade de detritos nas drenagens e condições climáticas e geomorfológicas que intensificam as chuvas na região.

A ausência de estruturas bem marcadas nos granitos junto com as fraturas de alívio de pressão devido a exumação dessas rochas plutônicas para porções crustais rasas são condições muito favoráveis a formação de matacões pelo processo da esfoliação esferoidal durante o intemperismo. Os migmatitos são rochas foliadas com grandes variações composicionais, há bandas muito ricas em biotita com textura grano-lepidoblástica, bandas quartzo-feldspáticas com textura granoblástica e muitos bolsões de leucossomas graníticos, essas diferenças composicionais faz com que o maciço rochoso seja alterado de forma heterogênea podendo gerar planos de fraqueza que favorecem deslizamentos.

### 5.3.3 Pluviosidade

Para melhor entender o regime de chuvas anual da região foram analisados dados de pluviosidade históricos, obtidos pelo HidroWeb, um sistema de informações hidrológicas da ANA (Agência Nacional de Águas), de duas estações meteorológicas localizadas próximas da região de estudo: Estação Maresias do DAEE-SP (Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo) e Estação São Sebastião do EMAE (Empresa Metropolitana de Águas e Energia).

Devido ao grande volume de dados, foi feita uma média da pluviosidade mensal e dos dias de chuva ao longo dos anos que está apresentada nas figuras 29 a 32 a seguir. Os dados completos de cada estação meteorológicas estão nos Anexos 2 e 3.

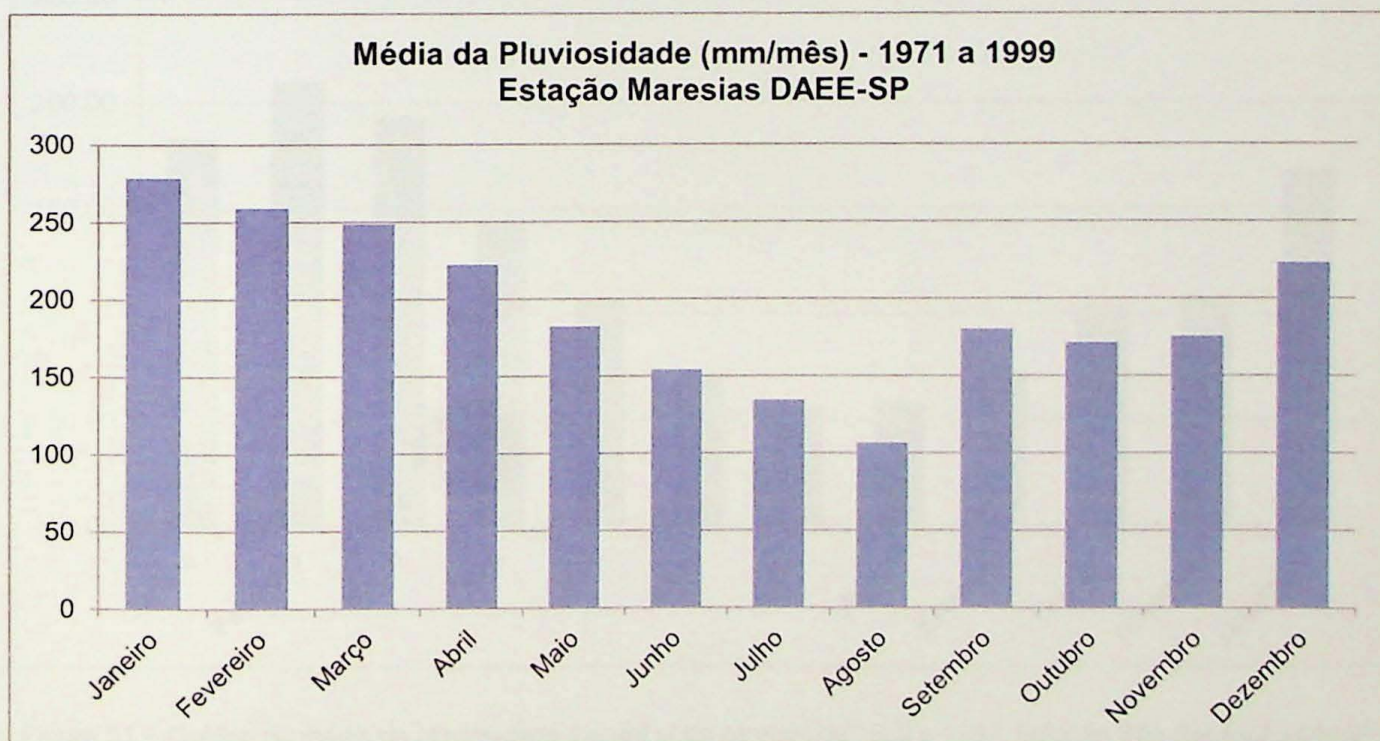


Figura 29 – Gráfico da média da pluviosidade mensal entre os anos de 1971 e 1999. Estação Maresias DAEE-SP.

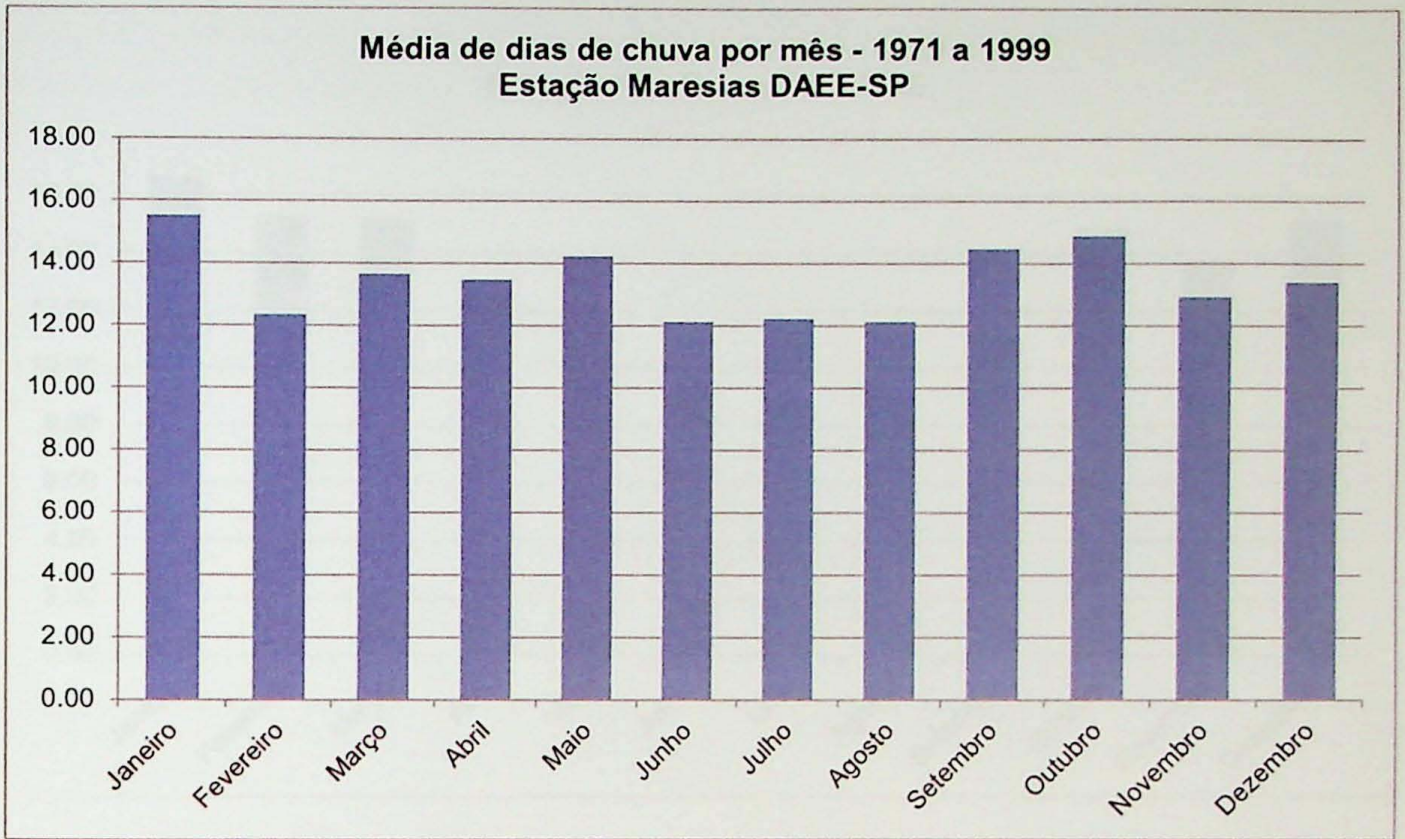


Figura 30 – Gráfico dos dias de chuva por mês entre 1971 a 1999. Estação Maresias DAEE-SP.

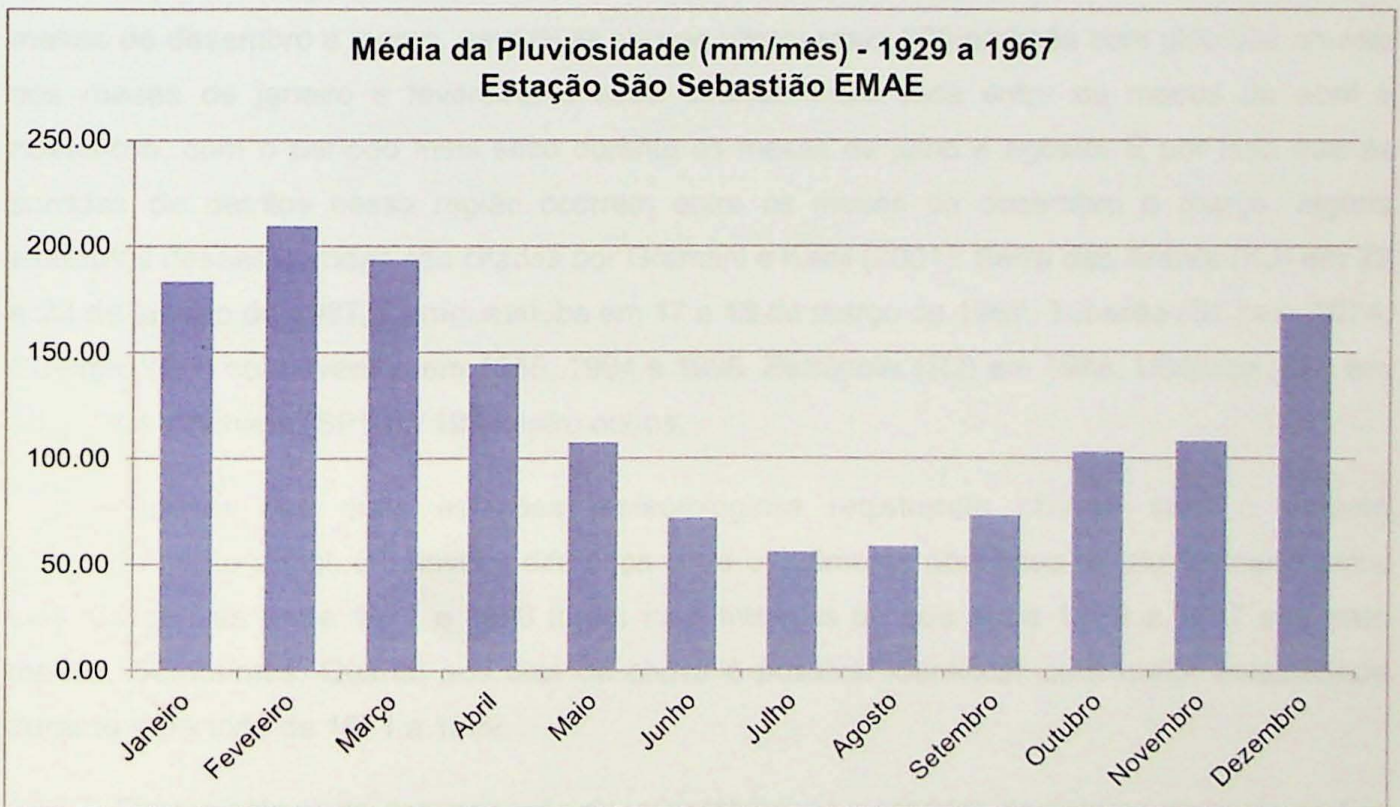


Figura 31 – Gráfico da média da pluviosidade mensal entre os anos de 1929 e 1967. Estação São Sebastião EMAE.

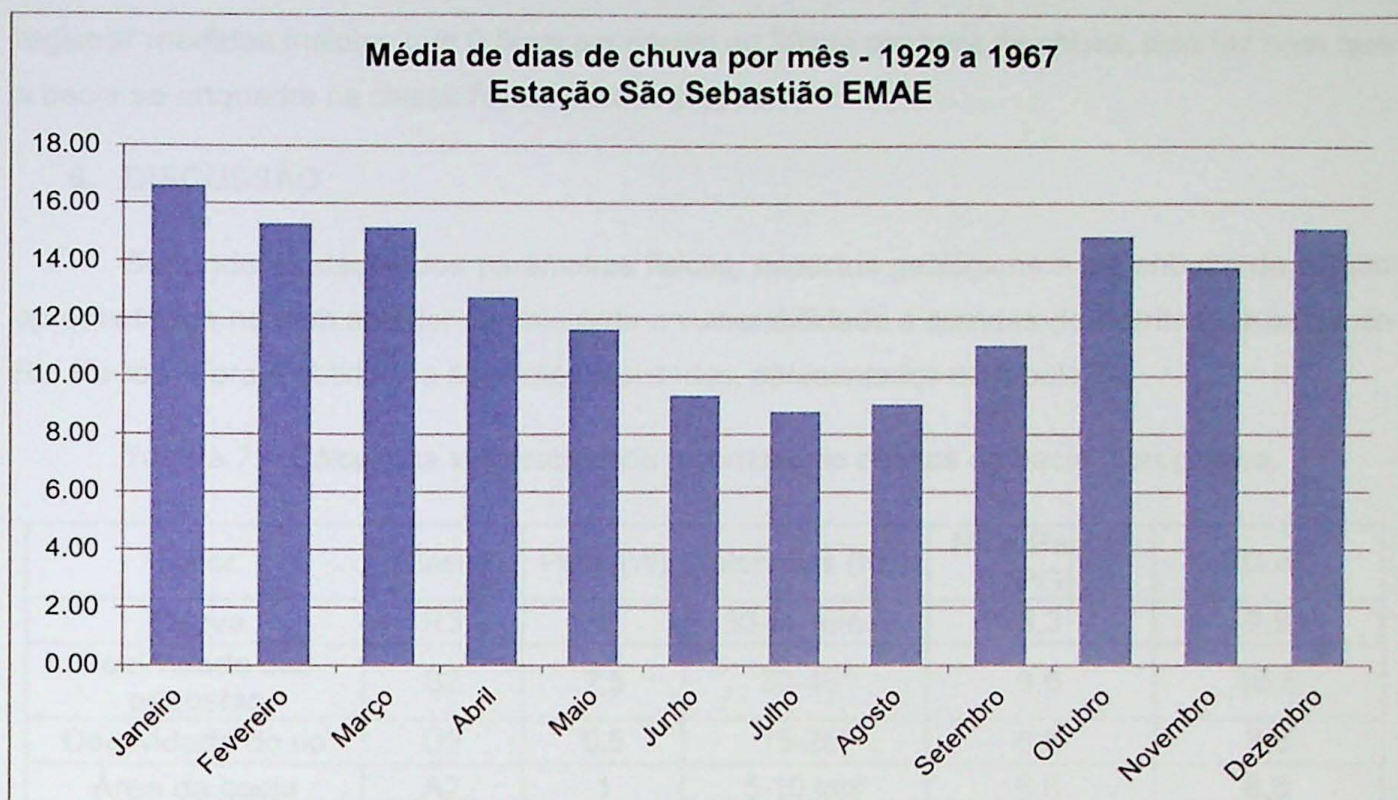


Figura 32 – Gráfico dos dias de chuva por mês entre 1929 e 1967. Estação São Sebastião EMAE.

A partir dos gráficos é possível identificar duas estações distintas, uma chuvosa entre os meses de dezembro e março, na qual as chuvas ultrapassam 200mm/mês com pico das chuvas nos meses de janeiro e fevereiro, e outra estação mais seca entre os meses de abril e novembro, com o período mais seco durante os meses de julho e agosto. É por isso que as corridas de detritos nessa região ocorrem entre os meses de dezembro e março, alguns exemplos dessas corridas são citadas por Gramani e Kanji (2001): Serra das Araras (RJ) em 22 e 23 de janeiro de 1967, Caraguatatuba em 17 e 18 de março de 1967, Tubarão (SC) em 1974, Cubatão (SP) com eventos em 1985, 1994 e 1996, Petrópolis (RJ) em 1988, Ubatuba (SP) em 1996, VIA Anchieta (SP) em 1999 entre outros.

Apesar das duas estações meteorológicas registrarem chuvas com o mesmo comportamento anual, é notável a diferença entre os números absolutos de pluviosidade entre elas, as chuvas entre 1971 e 1999 foram mais intensas do que entre 1929 e 1967 em, pelo menos, 50mm/mês. Quanto aos dias de chuva é possível identificar uma maior estabilidade durante o período de 1971 e 1999.

Para o cálculo da determinação da vulnerabilidade a corridas de detritos da bacia do Rio Paúba foram utilizados os dados da boia SP-CEBIMAR-USP apresentados no Anexo 4 e resumidos no item 5.2 do trabalho, o pico da chuva entre as 16 e 18 horas do dia 23 chegou a

registrar medidas maiores que 0,5mm por minuto ou 30mm por hora de chuva, isso faz com que a bacia se enquadre na classe R3 do método proposto.

## 6. DISCUSSÃO

Segundo os dados dos parâmetros físicos, aspectos geológicos e de chuvas da região apresentados no item anterior foi calculada a vulnerabilidade a corridas de detritos da bacia do Rio Paúba. Foram obtidos os seguintes resultados, apresentados na tabela 7.

Tabela 7 – Cálculo da vulnerabilidade a corridas de detritos da bacia hidrográfica.

Fator	Classe	Peso (W)	Intervalos (RV)	Nota Parcial (PG)	PGxW
Chuva	R3	3	30-60 mm/h	3,3	9,9
Declividade das encostas	S2	2,5	30-45°	6,6	16,5
Declividade do rio	D2	0,5	15-25°	6,6	3,3
Área da bacia	A2	1	5-10 km <sup>2</sup>	6,6	6,6
Altura das encostas	H2	1	500-700 m	6,6	6,6
Uso da terra	V4	0,5	<30%	0	0
Aspecto geológico	G1	1,5	-	10	15
Nota Final	-	-	-	-	57,9

A nota final calculada é de 57,9, indicando que a bacia apresenta uma susceptibilidade média a corridas de detrito, porém esse valor está muito próximo do limite entre vulnerabilidade média (nota final entre 40 e 60) e alta (nota final entre 60 a 80).

Os estudos sobre ocorrência de corridas de detritos nessas pequenas bacias hidrográficas da Serra do Mar não deve se restringir à essa classificação, apesar do método ter apresentado resultados coerentes ele não é capaz de estimar a intensidade ou periodicidade dos eventos, para isso é preciso um estudo muito mais detalhado de geração de material para as corridas (solo, blocos de rocha e detritos vegetais), tempo de retorno das chuvas de maior intensidade e recorrência das corridas de detritos no local.

Apesar da precipitação pluviométrica durante o mês de dezembro analisada não apresentar chuvas nos dias anteriores da corrida de detritos (condição importante para ocorrência de corridas de detritos segundo Kanji et al. (2003), o evento foi deflagrado pela chuva que começou no dia 22 e teve seu pico de intensidade na tarde do dia 23. Plotada no gráfico apresentado por Kanji et al. (2003), o evento ultrapassa o limiar para deflagração de

corridas de detritos entre as 3 e 4 horas de chuva, justamente entre as 17 e 18 horas da tarde do dia 23, momento de maior intensidade da chuva (figura 33).



Figura 33 – Detalhe do gráfico desenvolvido por Kanji et al (2003). A linha vermelha é o limiar para ocorrência de movimentos de massa em encostas e em preto a chuva registrada pela boia SP-CEBIMAR-USP.

É válido ressaltar também que a chuva que deflagrou a corrida de detritos de fato seja diferente da chuva registrada pela boia, existe uma incerteza na medida pois elas estão localizadas em locais e contextos diferentes, a boia está no mar próximo à costa e a chuva responsável pela corrida ocorreu nas encostas da Serra do Mar. É possível que o comportamento de barreira geográfica da Serra do Mar intensifique as chuvas no local, aumentando o risco de ocorrência de uma corrida de detritos.

Interpreta-se que a origem da corrida de detritos se deu com o aumento da quantidade de água presente no Rio Paúba. O fluxo de água no rio aumentou até que começou a mobilizar os materiais depositados em seu leito e erodindo os solos residuais das margens, incorporando-os à corrida.

Os depósitos de material trazido pela corrida de detritos em Paúba é coerente com os depósitos descritos na bibliografia para corridas canalizadas, onde são formados lóbulos de detritos ao longo da drenagem sem uma estrutura interna ou distribuição dos grãos por tamanho bem definida, além da gradação longitudinal ao longo do depósito e gradação inversa observada na frente do depósito, conforme observados por Coussot e Meunier (1996), Hungr et al.(2001), Gramani (2001) e Takahashi (2014).

Outra característica observada nesta corrida que confirma sua natureza canalizada são as barragens do canal que ocorrem ao longo do transporte conforme descritas por VanDine (1996), blocos muito grandes ou detritos vegetais impedindo a passagem da corrida pode forçá-la a mudar de direção abruptamente, como foi observado no local onde a corrida rompeu o leito do Rio Paúba e passou a correr pela Rua Belo Horizonte.

## 7. CONCLUSÃO

A partir da análise dos parâmetros da bacia hidrográfica estudada, conclui-se que:

- A bacia hidrográfica do Rio Paúba (São Sebastião, SP) apresenta uma vulnerabilidade considerável à ocorrência de corridas de detritos (*debris flows*), levando em conta a geologia, geomorfologia e condições climáticas do local.
- O fenômeno ocorre com certa periodicidade, fato evidenciado pelas grande quantidade de detritos depositados no leito do Rio Paúba e confirmado por relatos de moradores do local.
- A ocorrência das corridas de detritos na região são processos naturais relacionados aos escorregamentos, deslizamentos e quedas de materiais que atingem as drenagens durante as estações chuvosas. A ocupação humana na região pode agravar o processo, porém não é sua principal causa, mas condiciona o desenvolvimento do processo, a exemplo do evento estudado, com o direcionamento do fluxo e deposição do material resultante em uma rua.
- Apesar de precipitações pluviométricas dentro do usual para o mês de dezembro, um evento de alta intensidade de chuva em um curto espaço de tempo pode deflagrar uma corrida de detritos em bacias com predisposições geológicas e geomorfológicas.
- O fenômeno e o depósito associado enquadram-se nas descrições encontradas na literatura: desenvolvimento ao longo do canal de drenagem, incorporando material previamente depositado em seu leito; ocorrência de barramentos naturais ao longo do canal de drenagem e; concentração dos maiores blocos na frente da corrida (gradação longitudinal) apresentando uma gradação inversa incipiente.
- O método utilizado (Gramani e Kanji (2001)) para determinação da vulnerabilidade à corridas de detritos fornece uma medida qualitativa, portanto, não é capaz de fornecer características quantitativas do evento, como volume de material mobilizado, tempo de recorrência, poder de destruição ou a trajetória do

transporte. Para isso são necessários estudos mais detalhados da bacia hidrográfica.

- Diante das características geológicas e geomorfológicas da região, e histórico de eventos, como o de Caraguatatuba (1967) e o evento estudado, levantamento e quantificação das demais bacias hidrográficas, com base no método empregado, seria necessário como medida preventiva e localização de áreas vulneráveis para implantação de sistema de alerta de corrida de detritos.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA. <http://hidroweb.ana.gov.br/>. Site da ANA – Agência Nacional de Águas, 2015. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: 10 Junho 2015.

Augusto Filho, O. (1992). Caracterização Geológico-Geotécnica voltada a estabilização de encostas: uma proposta metodológica. *Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas, 1ª COBRAE*. v. 2, 721-733. Rio de Janeiro: ABMS/ABGE.

Cannon, S. H., Gartner, J. E. (2005). Wildfire-related debris flow from a hazards perspective. In: M. Jakob, O. Hungr (Eds.), *Debris-flow hazards and related phenomena* (263-386). Chichester: Praxis Publishing Ltd.

Coussot, P., Meunier, M. (1996). Recognition, classification and mechanical descriptions of debris flows. *Earth-Science Reviews*, 40, 209-227

Cruden, D. M., Varnes, D. J. (1996). Landslides types and processes. In: A. K. Turner, L. R. Schuster (Eds.), *Landslides: Investigation and Mitigation* (36-75). Transportation Research Board Special Report 247.

Cruz, O. (1974). *A Serra do Mar e o litoral na área de Caraguatatuba-SP: contribuição à geomorfologia litorânea tropical*. Tese (Doutorado). São Paulo: Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo (FFLCH-USP).

Estrada, L. S. (2010). *Correlações empíricas para fluxos de detritos*. Tese (Mestrado). São Paulo: Escola Politécnica. USP.

Fúlfaro, V.J.; Ponçano, W. L.; Bistrichi, C. A.; Stein, D. P. (1976) Escorregamentos de Caraguatatuba: expressão atual, e registro na coluna sedimentar da planície costeira adjacente. *CBGE*.v. 3, 341-350. Rio de Janeiro: CBGE



Gramani, M. F. (2001). *Caracterização geológico-geotécnica das corridas de detritos ("debris flows") no Brasil e comparação com alguns casos internacionais*. Tese (Mestrado). São Paulo: Escola Politécnica. USP.

Gramani, M. F. ; Kanji, M. A. (2001). Inventário e Análise das Corridas de Detritos no Brasil. *III Conferência Brasileira de Estabilidade de Encostas (III COBRAE)*.v. 1. Rio de Janeiro : ABMS / NRRJ.

Hungr, O. (2005). Classification and terminology. In: M. Jakob, O. Hungr (Eds.), *Debris-flow hazards and related phenomena* (9-23). Chichester: Praxis Publishing Ltd.

Hungr, O., Evans, S. G., Bovis, M. J., Hutchings, J. N. (2001). A review of the classification of landslides of the flow type. *Environmental & Engineering Geoscience*, 7, 221-238.

Jakob, M., Hungr, O. (2005). Introduction. In: M. Jakob, O. Hungr (Eds.), *Debris-flow hazards and related phenomena* (1-7). Chichester: Praxis Publishing Ltd.

Johnson, A. M. (1970). *Physical processes in geology*. São Francisco: Freeman and Cooper.

Kanji, M. A. ; Gramani, M. F. (2001). Metodologia para Determinação da Vulnerabilidade a Corridas de Detritos em Pequenas Bacias Higráulicas. *III Conferência Brasileira de Estabilidade de Encostas (III COBRAE)*.v. 1. Rio de Janeiro : ABMS / NRRJ.

Kanji, M. A. ; Massad, F. ; Cruz, P. T. (2003). Debris Flows in Areas of Residual Soils: Occurrence and Characteristics. *International Workshop on Occurrence and Mechanism of Flows in Natural Slopes and Earthfills*.v.2, 1-11 Nápoles :AssociazioneGeotecnicaItaliana

Sakai, R. O. (2014). *Estudo do Impacto de Debris Flows: Caso da Bacia do Rio Santo Antônio em Caraguatatuba (Brasil)*. Tese (Mestrado). São Paulo: Escola Politécnica. USP.

SiMCosta. <http://www.simcosta.furg.br/portal/>. Site do SiMCosta – Sistema de Monitoramento da Costa Brasileira, 2015. Disponível em < <http://www.simcosta.furg.br/portal/>>. Acesso em: 25 Setembro 2015.

Skermer, N. A., VanDine, D. F. (2005). Debris flows in history. In: M. Jakob, O. Hungr (Eds.), *Debris-flow hazards and related phenomena* (25-51). Chichester: Praxis Publishing Ltd.

Stiny, J. (1910). *Die Muren*. Innsbruck: Verlag der Wagner'schen Universitäts-buchhandlung.

Takahashi, T. (1981). Debris flows. *International Review Fluid Mechanics*. 13, 57-77.

- Takahashi, T. (2014). *Debris Flow.Mechanics, Predictions and Countermeasures* (2a ed.). London: Taylor & Francis Group.
- Vallance, J. W. (2005). Volcanic debris flows. In: M. Jakob, O. Hungr (Eds.), *Debris-flow hazards and related phenomena* (247-274). Chichester: Praxis Publishing Ltd.
- VanDine, D. F. (1985). Debris flow and debris torrents in the southwestern canadian cordillera. *Canadian geotechnical journal*. 22, 44-68.
- VanDine, D. F. (1996). Debris flow control structures for forest engineering. *British Columbia Ministry of Forests Research Program*. Work. Pap. 08/1996.
- Varnes, D. J. (1978). Slope movement types and processes. In: R. L. Schuster, R. J. Krizek (Eds.), *Landslides – analysis and control* (11-33). Transportation Research Board Special Report 176.

ANEXO 1 – PERFIS TOPOGRÁFICOS DA BACIA DO RIO PAÚBA.

ANEXO 2 – DADOS DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA MARESIAS – DAEE-SP.

ANEXO 3 – DADOS DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA SÃO SEBASTIÃO – EMAE.

ANEXO 4 – DADOS DE PLUVIOMETRIA DO SIMCOSTA – BOIA SP-CEBIMAR-USP.

ANEXO 5 – VÍDEO DA CORRIDA DE DETRITOS AO LONGO DA RUA BELO HORIZONTE.

# ANEXO 1 - PERFIS TOPOGRÁFICOS - BACIA DO RIO PAÚBA ESCALA 1:10000

