

Trabalho de Formatura

Curso de Graduação em Geografia

COMPARAÇÃO DE UM MAPA DE SUSCEPTIBILIDADE COM UM EVENTO DE  
MOVIMENTOS DE MASSA: O CASO DO MEGADESASTRE 11<sup>o</sup> DA REGIÃO SERRANA DO  
RIO DE JANEIRO – BACIA HIDROGRÁFICA DO VIEIRA – TERESÓPOLIS/RJ

Rachila Macedo Cezar

Profa. Dra. Andréia Medinilha Pancher (orientadora)

Ms. Marcelo Fisher Gramani (co-orientador)

Rio Claro (SP)

2014

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
Câmpus de Rio Claro

RACHILA MACEDO CEZAR

COMPARAÇÃO DE UM MAPA DE SUSCEPTIBILIDADE COM UM EVENTO DE  
MOVIMENTOS DE MASSA: O CASO DO MEGADESASTRE 11` DA REGIÃO SERRANA DO  
RIO DE JANEIRO – BACIA HIDROGRÁFICA DO VIEIRA – TERESÓPOLIS/RJ

Trabalho de Formatura apresentado ao Instituto de  
Geociências e Ciências Exatas - Câmpus de Rio  
Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de  
Mesquita Filho, para obtenção do grau de Bacharel  
em Geografia.

Rio Claro – SP

2014

551.4+ Cezar, Rachila Macedo  
C425c Comparação de um mapa de susceptibilidade com um evento de movimentos de massa: o caso do megadesastre 11` da região serrana do Rio de Janeiro/RJ - bacia hidrográfica do Vieira - Teresópolis/RJ / Rachila Macedo Cezar. - Rio Claro, 2014  
79 f. : il., figs., gráfs., tabs., mapas

Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Geografia) -  
Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
Orientador: Andréia Medinilha Pancher  
Coorientador: Marcelo Fisher Gramani

1. Geografia física - Aspectos ambientais. 2. Corridas de detritos, 3. Análise multicritério, 4. Teresópolis/RJ. I. Título.

Ficha Catalográfica elaborada pela STATI - Biblioteca da UNESP  
Campus de Rio Claro/SP

RACHILA MACEDO CEZAR

COMPARAÇÃO DE UM MAPA DE SUSCEPTIBILIDADE COM UM  
EVENTO DE MOVIMENTOS DE MASSA: O CASO DO  
MEGADESASTRE 11` DA REGIÃO SERRANA DO RIO DE JANEIRO  
– BACIA HIDROGRÁFICA DO VIEIRA – TERESÓPOLIS/RJ

Trabalho de Formatura apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do grau de Bacharel em Geografia.

Comissão Examinadora

Profa. Dra. Andréia Medinilha Pancher (Orientadora)

Profa. Dra. Cenira Maria Lupinacci da Cunha

Ms. Mateus Vidotti Ferreira

Rio Claro, 05 de fevereiro de 2014..

---

Aluna

---

Orientadora



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E CIÊNCIAS EXATAS - RIO CLARO



## Dedicatória

*A todos que acreditaram em mim, até mesmo nos momentos que eu deixei de acreditar.*

## Agradecimentos

Após 5 anos de faculdade, foram tantas as pessoas que surgiram em minha vida como anjos, que se torna uma tarefa difícil falar de todas...falarei daquelas que compartilharam das minhas alegrias e tristezas durante todo o período de graduação.

Como em toda escrita, tentarei seguir uma ordem cronológica nos meus agradecimentos, pois são muitos os obrigados!

Primeiramente, agradeço à minha família. Aos meus pais, por sempre acreditarem em mim e me apoiarem em todas as decisões importantes. À minha avó (in memoriam), por sempre ter me mostrado que eu era capaz. Ao meu tio que mesmo estando longe sempre se lembrou de mim. À minha irmã, por ter um coração tão lindo, sempre com muito carinho para esta irmã ausente! À minha madrinha, minha segunda mãe, que cuidou de mim nos períodos mais difíceis antes da minha entrada na faculdade. Minha gratidão será eterna!!!

Aos meus amigos de quase duas décadas, que sofreram comigo a angústia de entrar no vestibular e sempre me entenderam nos muitos finais de semana que deixei de passear para ficar estudando. Estes sim são os verdadeiros amigos! Paulo, Pati e Báby, vocês sempre serão a minha base de sustentação e os amigos que tenho orgulho de chamar de irmãos!

Ao Dolvando, meu "namorado", pelos quase nove anos que me apoiou em todos os meus projetos, me ouvindo reclamar, me vendo chorar no meio de todos os empecilhos encontrados durante a graduação! Pelos finais de semana comigo, estudando e me ajudando em todos os períodos da minha vida. Você é, com certeza, tudo o que eu pedi pra mim!

À minha sogra Edna, o meu muito obrigada, por me tratar como uma filha, por ter me dado uma segunda família e um lar provisório para a minha amada Nina.

Aos amigos que fiz na faculdade que tanto me aguentaram nos períodos de provas e trabalhos, acordando todo mundo aos domingos logo cedo para estudar. Não é, Aline, Magali, Junior e Tamiris? Vocês me mostraram o quanto sou abençoada por Deus, pois ele colocou verdadeiros anjos no meu caminho!!! Amigos com quem quero estar junto até ficar velhinha!!

Aos meus amigos e vizinhos Laís e Vinicius, por me ouvirem, rirem e chorarem comigo. Vocês são os vizinhos que todos pediram a Deus.

No ramo profissional, também fiz amizades que desejo levar para toda a vida, pessoas que me mostraram um novo mundo e que sempre acreditaram em mim. Agradeço à Lélia, por sempre cuidar de mim e ter uma super paciência em me ouvir, à Cristiane, que mesmo

estando sempre cheia de compromissos, com o trabalho, com a Annabella e com o Martin, sempre consegui um tempo para ficar comigo. À Camilinha, que com o seu carisma, sempre conseguia melhorar o clima de todos os meus dias. À Celine, por provar que independente de como estamos, sempre vamos conseguir. Mesmo chorando ou sorrindo, nossos sonhos sempre serão possíveis.

A todas as pessoas do RAIH, que de maneira direta ou indireta, estiveram torcendo por mim.

Ao Marcelo Gramani, meu co-orientador, pelo empenho em me ajudar, pelas conversas e orientações, o meu muito obrigada!

À minha orientadora Andréia, por não ter desistido de mim, me compreender e sempre estar disponível para me ajudar.

Ao Diogo, da seção de graduação, por nunca me negar uma ajuda. Você contribuiu muito para que 2013 fosse um ano focado no TCC.

Ao Mateus Vidotti, por me aguentar dias e mais dias tirando dúvidas conceituais e sobre o meu tão "adorado" ArcGis. Muito obrigada por tudo e principalmente pela paciência.

E por fim, a pessoa que mais contribuiu para que este TCC se tornasse realidade: Elias Isler. Obrigada por todo o auxílio durante todo esse período da monografia, pelos dias e noites em que não se negou a me ajudar, por passar inúmeras horas comigo, quebrando a cabeça para que um dos meus maiores sonhos se realizasse. O meu muito obrigada!

Foram muitas as pessoas que me ajudaram, mas infelizmente não tenho como citar todas. Neste texto, estão as pessoas que mais compartilharam comigo esse momento tão importante: a realização de um sonho e o fim de uma fase!!

Com muito carinho, retribuo com uma saudação que diz muito o que sinto em relação às pessoas que torceram por mim:

**Namastê**

("o Deus que habita em mim reverencia o Deus que habita em você")

## Epígrafe

### ***Saber Viver***

*Não sei se a vida é curta ou longa para nós, mas sei que nada do que vivemos tem sentido, se não tocarmos o coração das pessoas. Muitas vezes basta ser: colo que acolhe, braço que envolve, palavra que conforta, silêncio que respeita, alegria que contagia, lágrima que corre, olhar que acaricia, desejo que sacia, amor que promove.*

*E isso não é coisa de outro mundo, é o que dá sentido à vida. É o que faz com que ela não seja nem curta, nem longa demais, mas que seja intensa, verdadeira, pura enquanto durar. Feliz aquele que transfere o que sabe e aprende o que ensina.*

***Cora Coralina***



## Resumo

Considerando o número de óbitos vistos todos os anos no Brasil decorrentes de desastres com movimentos de massas, se fazem necessárias pesquisas que contribuam para tomada de decisão em todas as esferas de governo, do municipal até o federal.

Entre os dias 11 e 12 de janeiro de 2011 ocorreu o que foi denominado Megadesastre 11` da Região Serrana do Rio de Janeiro, centenas de escorregamentos em 07 municípios, provocando 971 mortes e deixando 20.000 desabrigados. Teresópolis/RJ foi um dos municípios afetados pelos movimentos de massa; no bairro do Vieira presenciou-se uma corrida de detritos que atingiu grandes velocidades, transportando blocos rochosos que atingiram até 5,2 metros de diâmetro.

Devido à intensidade do fluxo, a destruição provocada na bacia hidrográfica do Vieira assumiu um caráter catastrófico. Sendo assim, como forma de contribuir na mitigação das consequências de desastres de tamanha magnitude o presente trabalho teve como objeto de estudo a bacia do Vieira, em Teresópolis/RJ.

Sabe-se que é comum em áreas de risco a geração de mapas de susceptibilidade como ferramenta de gestão, a fim de contribuir com o planejamento estratégico do município. Entretanto, poucos estudos são realizados de maneira a verificar se tais mapas apresentaram resultados satisfatórios quando comparados com o cenário real pós desastre. Dessa maneira, a presente pesquisa buscou validar se o mapa de susceptibilidade confeccionado para a bacia do Vieira representou riscos altos nos locais onde foram observados movimentos de massa.

Para tanto foram utilizados e elaborados mapa de declividade, forma de vertente, geológico, modelo digital de elevação, mapa de erosão, transporte e deposição, e com a ferramenta matemática de Análise Multicritério foi gerado o mapa de susceptibilidade a movimentos de massa atribuindo os pesos de influência pré-determinados para cada fator condicionante aos movimentos de massa, declividade, geologia e forma de vertente.

Ao comparar o mapa de susceptibilidade a movimentos de massa com o cenário real pós desastre, conseguiu-se verificar que o mapa é uma ferramenta eficiente para a tomada de decisão dos gestores públicos, pois o mesmo apresentou riscos altos nos mesmos locais os quais foram observados grandes movimentos de massa.

**Palavras Chave:** Corridas de Detritos, Análise Multicritério, Mapa de Susceptibilidade, Teresópolis/RJ.

## Abstract

Considering the death count seen every year in Brazil due to landslide related disasters, it is necessary to carry out studies that contribute to decision making policies from the municipal to the federal jurisdiction.

In January 11<sup>th</sup> and 12<sup>th</sup>, 2011 what was called the Mega Disaster 11' in the Rio de Janeiro Mountainous Region, in which hundreds of landslides in seven districts provoked 971 deaths and left 20,000 people unsheltered. Teresópolis municipality in Rio de Janeiro state was one of the most affected districts. In the Vieira neighborhood a debris flow attained great velocities, transporting boulders of up to 5.2 m in diameter.

Due to the intensity of the mass flux, the destruction caused in the Vieira drainage basin was characterized as catastrophic. Given this scenario, as a way of contributing for the mitigation of the consequences of such great disasters, the present work used the Vieira basin, Teresópolis municipality, as a case study.

Susceptibility maps are often generated as a management tool in areas of such a high geotechnical risk and used in the districts strategic planning. However, few studies are developed in order to assess the results obtained in these maps by comparison to the scenario after the disaster. The present research attempted to validate the susceptibility map of the Vieira basin, by checking whether the places where landslides were observed matched to the areas designated as posing high risks.

To do so, declivity, slope, geological, digital elevation model, erosion, transport and deposition maps were used and elaborated along with a Multicriteria Analysis mathematical tool, in order to generate the landslide susceptibility map, pondering pre-determined influence weights for each conditioning factor to the mass movements, as declivity, geology and slope.

By comparing the susceptibility map with the real scenario after the disaster, it was possible to verify that the map is indeed an efficient tool for decision making for the public authorities. The map displayed high risk areas in the same places where huge landslides were observed.

Key words: Debris flow, Multicriteria Analysis, Susceptibility Map, Teresópolis municipality

## Índice de Figuras

Figura 1: Localização da área de estudo. Fonte: Instituto de Pesquisas Tecnológicas IPT (2011).....	18
Figura 2: Mapa Geológico (Simplificado de CPRM, 2009) .....	20
Figura 3: Geometria dos movimentos de massa associados a escorregamentos. ....	29
Figura 4: Escorregamento rotacional ou circular. ....	30
Figura 5: Escorregamento planar ou translacional. ....	31
Figura 6: Escorregamento em cunha.....	32
Figura 7: Rastejo .....	33
Figura 8: Queda de Blocos .....	34
Figura 9: Corrida de Detritos (IPT, 1991).....	37
Figura 10: Ilustração da operação realizada pela análise multicritério. (Adaptado de ESRI, 2006 apud Vidotti, 2007) .....	43
Figura 11: “Barramento natural”; zona de acúmulos de influxos de sedimentos oriundos de antigos depósitos (LIMA, 2013).....	46
Figura 12: A foto “A” mostra o campo de futebol ao fundo antes do desastre e a foto “B” após o desastre.(LIMA, 2013) .....	46
Figura 13: Mapa de Declividade da bacia do rio Vieira, no município de Teresópolis/RJ.....	56
Figura 14: Mapa de formas de vertente da bacia do rio Vieira - Teresópolis/RJ .....	60
Figura 15: Comparação entre as imagens anterior e posterior ao desastre.....	61
Figura 16 : Comparação entre as imagens em detalhe anterior e posterior ao desastre. ....	62
Figura 17: Mapa das áreas de cicatrizes e deposição .....	64
Figura 18: Mapa de susceptibilidade a movimentos de massa da bacia do rio Vieira - Teresópolis/RJ	69
Figura 19: Mapa de susceptibilidade a movimentos de massa com polígonos das áreas de cicatrizes e deposição.....	70
Figura 20: Representação dos polígonos das cicatrizes e deposição sobre o mapa hipsométrico (à esquerda) e sobre o mapa de susceptibilidade a movimentos de massa (à direita). ....	71

## Índice de Tabelas

Tabela 1: Produto Interno Bruto do município de Teresópolis comparado com a capital Rio de Janeiro e o Brasil. Fonte: IBGE (2010) .....	23
Tabela 2: Classificação dos movimentos gravitacionais, segundo Freire (1965) modificada por Guidicini e Nieble (1984).....	27
Tabela 3: Classificação dos movimentos gravitacionais de massa, adaptado de Augusto Filho (1992). .....	28
Tabela 4: Agentes e causas dos movimentos gravitacionais de massa (GUIDICINI e NIEBLE, 1984)38	
Tabela 5: Fatores condicionantes que atuam de forma direta e imediata na deflagração dos processos de instabilização. (AUGUSTO FILHO, 1992 modificado por SCARANCA, 2004.).....	40
Tabela 6: Pesos atribuídos para cada classe de declividade .....	54
Tabela 7: Pesos atribuídos para cada classe de forma de vertente .....	54
Tabela 8: Pesos atribuídos para cada classe de geologia.....	54
Tabela 9: Influência de cada fator condicionante para a deflagração do fenômeno.....	55
Tabela 10: Quantitativo (porcentagem em área) das formas de vertentes presentes na área de estudo	59
Tabela 11: Áreas dos polígonos das cicatrizes encontradas nas classes de declividade. ....	65
Tabela 12: Área dos polígonos das cicatrizes encontradas nas classes de formas de vertentes. ....	65
Tabela 13: Área de polígonos das cicatrizes encontrada nas classes de geologia.....	66
Tabela 14: Pesos atribuídos para os fatores condicionantes da área. ....	67

## Índice de Gráficos

Gráfico 1: Produto interno bruto do município de Teresópolis. Fonte: IBGE (2010)..... 23

Gráfico 2: Pluviometria entre dos dias 11/01/2011 e 12/01/2011 Fonte: Dourado et al. (2013) ..... 48

## Sumário

1	INTRODUÇÃO .....	14
2	OBJETIVOS .....	16
2.1	Objetivos Gerais .....	16
2.2	Objetivos Específicos .....	16
3	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	17
4	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	19
4.1	Geomorfologia .....	19
4.2	Geologia .....	19
4.3	Clima .....	22
4.4	Pedologia .....	22
4.5	Uso e Ocupação do Solo .....	23
4.6	Urbanização de Teresópolis/RJ .....	24
5	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	26
5.1	Fundamentos Relativos a Movimentos de Massa .....	26
5.1.1	Escorregamento .....	28
5.1.1.1	Escorregamentos Rotacionais ou Circulares .....	29
5.1.1.2	Escorregamentos Translacionais ou Planares .....	30
5.1.1.3	Escorregamentos em Cunha .....	31
5.1.2	Escorregamentos Induzidos .....	32
5.1.3	Rastejos .....	32
5.1.4	Queda de Blocos .....	33
5.1.5	Corrida de Detritos .....	34
5.2	Fatores Condicionantes dos Movimentos de Massa .....	37
5.3	Geotecnologias .....	41
5.3.1	Sensoriamento Remoto .....	41
5.3.2	Sistema de Informação Geográfica (SIG) .....	42

5.3.3	Análise Multicritério .....	43
5.3.4	Imagens do Google Earth® .....	44
6	HISTÓRICO DO DESASTRE.....	45
7	MATERIAL E MÉTODOS .....	49
7.1	Material .....	49
7.2	Procedimentos Metodológicos .....	49
7.2.1	Levantamento Bibliográfico .....	49
7.2.2	Georreferenciamento.....	50
7.2.3	Carta de Declividade .....	50
7.2.4	Mapa de Formas de Vertente .....	52
7.2.5	Mapa das Áreas de Cicatrizes e Deposição .....	53
7.2.6	Mapa de Suscetibilidade a Movimentos de Massas .....	53
8	RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	55
8.1	Mapa de Declividade.....	55
8.2	Mapa Geológico da Bacia do Rio Vieira, no Município de Teresópolis/RJ .....	58
8.3	Mapa de Formas de Vertente da Bacia do Rio Vieira - Teresópolis/RJ.....	59
8.4	Mapa das áreas de cicatrizes e de deposição .....	60
8.5	Mapa de Susceptibilidade a Movimentos de Massa.....	67
9	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	72
	REFERÊNCIAS .....	74

## 1 INTRODUÇÃO

No Brasil, país de clima predominantemente tropical, a estação do ano a qual ocorre maior número de problemas sociais e econômicos ligados aos aspectos climáticos é o verão. É nesse período do ano que se verifica um maior volume pluviométrico que acaba contribuindo para a deflagração de processos geológicos de grande magnitude. Nesse sentido, podem-se citar alguns exemplos de movimentos de massas, tais como rastejos, escorregamentos, quedas ou corridas de massas.

Segundo Lima e Amaral (2011), entre 18hs do dia 11 e 06hs do dia 12 de janeiro de 2011 o bairro do Vieira no município de Teresópolis/RJ, vivenciou um dos mais violentos processos de corridas de detritos no Brasil, movimentos de massa generalizados nas encostas e ao longo dos canais de drenagem, deflagrados por chuvas extremas vindas do norte que atingiram a região noroeste do município de Teresópolis/RJ, traçando uma faixa no sentido SW-NE, causando perdas sociais, econômicas e ambientais. A magnitude do fenômeno não teria atingido tal proporção, se não houvesse a ocupação irregular das encostas.

De acordo com Augusto Filho (1992), as corridas de detritos possuem um movimento semelhante a um líquido viscoso, o qual se desenvolve ao longo dos cursos d'água, com velocidades médias a altas, mobilizando solo, rocha, detritos e água, alcançando grandes distâncias. Ainda no sentido de uma definição tem-se Gramani (2001), que considera as corridas de detritos como uma classe intermediária entre os escorregamentos de rocha-solo e processos de enchentes, além de possuir um alto poder destrutivo e, por isso, é considerada como uma das mais significativas dentre os demais movimentos de massas.

Sendo assim, quando esse fenômeno ocorre em áreas que possuem um contingente populacional ou em áreas marcadamente urbanas, a problemática possui outras conotações, pois além de ser um fenômeno tipicamente natural, passa a ser considerado também um fenômeno de cunho social, já que envolve a vida de centenas de pessoas. Macedo (2001) aponta que esses fatores estão relacionados à forma como a urbanização brasileira tem se dado, que é marcada por uma "(...) má distribuição de renda aliada a um planejamento urbano "deturpado", que contribui para a ocupação de áreas de riscos no país". Seguindo esta linha de raciocínio, Zuquette e IUGS apud Macedo (2001) explicam que as áreas de riscos são classificadas como tal, devido a fenômenos físicos de ordem natural ou provocado pelo homem que podem ocorrer perdas econômicas, sociais e ambientais além de um valor considerado normal ou aceitável.



Em Teresópolis/RJ, as perdas econômicas e sociais foram de grande magnitude, com o registro de 86 mortes e a destruição de casas e lavouras da zona rural somente na bacia do Vieira.

Diante deste quadro, os mapas de susceptibilidade a movimentos de massas são desenvolvidos para a mitigação das consequências geradas por esses processos, entretanto, poucas pesquisas são realizadas para verificar se tais mapas elaborados como medidas preventivas apresentaram riscos altos nas áreas que se sucederam movimentos de massa pós-elaboração.

Para tanto, o presente trabalho buscou avaliar o mapa de susceptibilidade a movimentos de massa na bacia do Vieira, em Teresópolis/RJ, comparando com o cenário real pós desastre na bacia.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivos Gerais

O presente trabalho teve como finalidade principal validar a eficácia do mapa de susceptibilidade a movimentos de massa para a mitigação das consequências geradas por esses processos, como o ocorrido em janeiro de 2011, no município de Teresópolis/RJ, utilizando-se as geotecnologias. Para tanto, foram elaborados e utilizados mapas temáticos de declividade, formas de vertente, geológico e o mapa das áreas de cicatrizes e deposição. A partir da Análise Multicritério do SIG ArcGIS, foi possível cruzar as informações dos mapas de declividade, formas de vertente e geológico, visando elaborar um mapa de susceptibilidade a movimentos de massa. O mapa gerado foi comparado com o cenário real pós desastre, a fim de poder verificar se o mesmo realmente apresentou riscos altos para as áreas que se sucederam movimentos de massa.

### 2.2 Objetivos Específicos

- ✓ Confeccionar um modelo digital de elevação do terreno a partir das curvas de nível e pontos cotados da área;
- ✓ Confeccionar mapas temáticos como: mapa de declividade, mapa de formas de vertente e o mapa das áreas de cicatrizes e deposição;
- ✓ Realizar o cruzamento das informações dos mapas temáticos a partir da Análise Multicritério em ambiente SIG;
- ✓ Confeccionar o mapa de susceptibilidade a movimentos de massa, podendo assim correlacioná-lo com o cenário pós-desastre.

### 3 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está situada a nordeste do município de Teresópolis – RJ, no bairro do Vieira, entre as coordenadas geográficas de longitudes  $42^{\circ}45'30''$  –  $42^{\circ}42'37''$  W e latitudes  $22^{\circ}15'06''$  –  $22^{\circ}18'36''$  S, no 3º distrito de Teresópolis (Vale do Bonsucesso). Segundo Lima (2013) o município de Teresópolis, criado em 1891, possui uma área de  $770,601 \text{ km}^2$ , o qual faz parte da Região Serrana no Rio de Janeiro (Figura 1).

Segundo o Censo Demográfico de 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), o município tem 163.746 habitantes. Teresópolis faz divisa ao norte com os municípios de Sapucaia e Sumidouro, a leste com Nova Friburgo, a oeste com Petrópolis e São José do Vale do Rio Preto e ao sul com Guapimirim e Cachoeira de Macacu.

Dentre os 163.746 habitantes de Teresópolis (distrito sede), os mesmos se encontram distribuídos de forma irregular pelos três distritos que o compõe, Teresópolis (distrito sede), Vale do Paquequer (com sede em Cruzeiro) e Vale do Bonsucesso (com sede em Bonsucesso).

Segundo Lima (2013) aproximadamente 96,28% da população urbana de Teresópolis/RJ está concentrada no distrito sede. Enquanto os distritos do Vale do Bonsucesso e do Vale do Paquequer Pequeno apresenta uma população predominantemente rural, 71,40% e 84,40%, respectivamente.

A área de estudo localiza-se no bairro do Vieira, no Vale de Bonsucesso (3º distrito de Teresópolis), o qual é composto por nove bairros: Venda Nova, Vista Alegre, Frades, Bonsucesso, Motas, Santa Rosa, Vieira, Morro Agudo e Boa Vista. Segundo Lima (2013) o terceiro distrito começou a ser denominado como Vale de Bonsucesso a partir de 1990; antes desta data era chamado de distrito de Nhuguaçu.

O bairro do Vieira está distante aproximadamente 50 km a leste do centro da cidade de Teresópolis/RJ, pela estrada Teresópolis-Nova-Friburgo (RJ-130), com acesso a partir do Km 32 (LIMA, 2013).

Com base em Lima (2013, p. 06) a fisiografia do bairro do Vieira é marcada por uma “área serrana, com encostas de gradientes elevados, estruturadas sobre rochas fraturadas e constituída por rochas em diferentes estágios de alteração”.

A agricultura nos distritos do Vale do Bonsucesso e no Vale do Paquequer Pequeno é predominantemente de atividades como pecuária extensiva e secundariamente atividades de cultivo, principalmente pela produção de hortaliças.

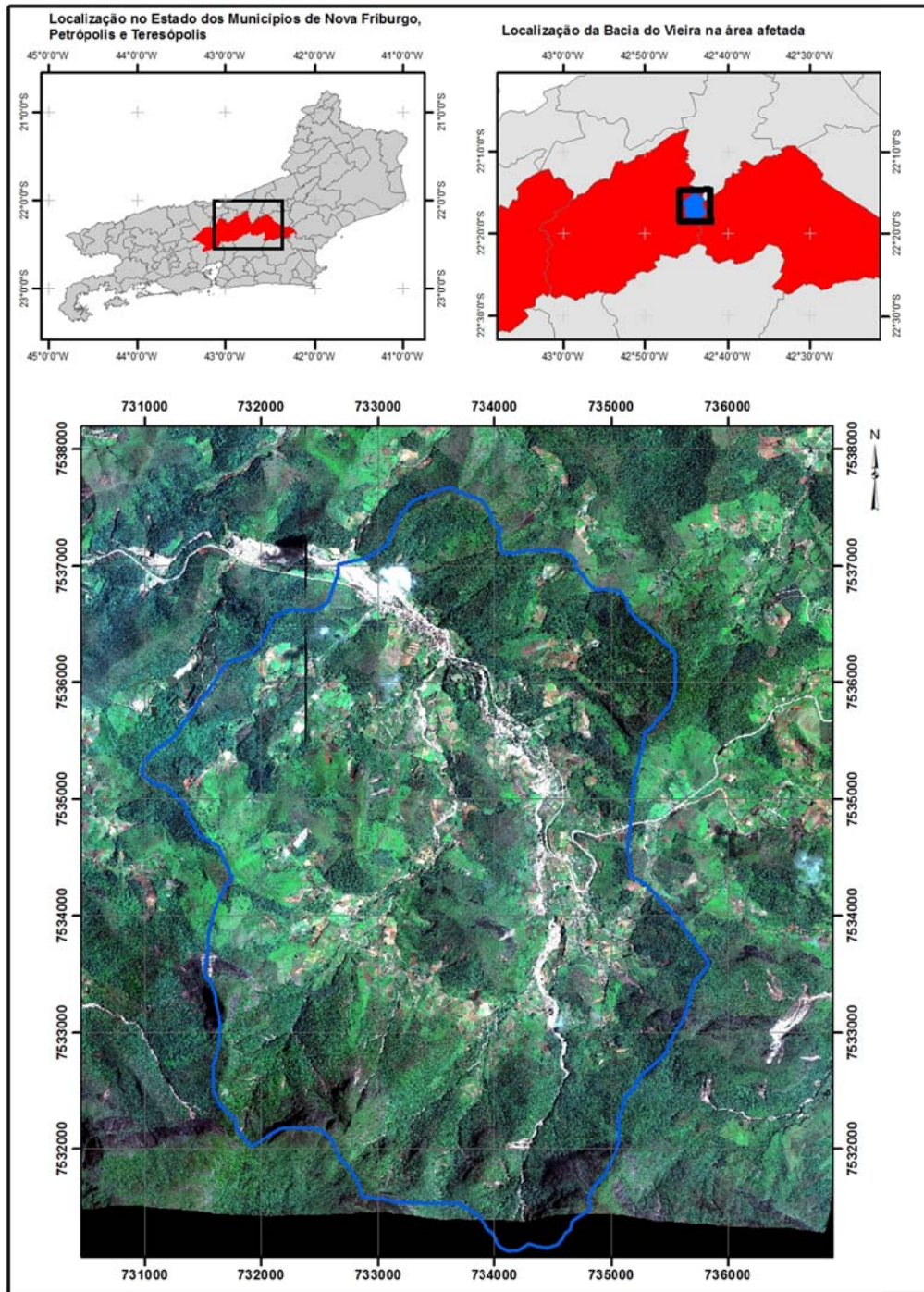


Figura 1: Localização da área de estudo. Fonte: Instituto de Pesquisas Tecnológicas IPT (2011)

## 4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Neste item são apresentadas as principais características físico-naturais e antrópicas da área analisada.

### 4.1 Geomorfologia

O domínio do Planalto da Região Serrana (Planalto Serra dos Órgãos, segundo o RADAM BRASIL (1983) é caracterizado predominantemente por morros elevados e, subordinadamente, por morros baixos e colinas, com alta suscetibilidade a erosão (EMBRAPA, 2003).

A bacia do rio Vieira é caracterizada por um relevo montanhoso, inserido na região das escarpas e reverso da Serra do Mar (Batólito Serra dos Órgãos), com vales encaixados por onde passam as drenagens, área esta mais densamente ocupada.

### 4.2 Geologia

O estado do Rio de Janeiro está geotectonicamente inserido na Província Estrutural da Mantiqueira, uma entidade geotectônica instalada a leste dos crátons São Francisco e Rio de La Plata/Paraná, ao final do Neoproterozoico e início do Paleozoico durante a Orogenia (ou Colagem) Brasileira, estendendo-se por cerca de 3.000 km com orientação NE-SW ao longo da costa atlântica, de Montevideu (Uruguai) ao sul da Bahia (DANTAS et al, 2001).

A província da Mantiqueira pode ser dividida em três grandes blocos crustais de direção NE-SW: Cabo Frio; Serra dos Órgãos e das Zonas de Cisalhamento. Esses blocos foram afetados pelo ciclo Brasileiro (Neoproterozoico), sendo caracterizado por deformação compressional, cisalhamento transcorrente, metamorfismo de alto grau, fusão parcial de rochas crustais e granitogênese (FONSECA et al, 1998).

Segundo Tupinamba (2012) a região serrana fluminense está localizada no Terreno Oriental da Faixa Ribeira. As rochas mais antigas desse terreno são paragneisses meso a neoproterozoicos (Suíte São Fidélis).

Segundo Tupinamba (2012) estes gnaisses são intrudidos por complexos plutônicos gnaissificados neoproterozoicos (Complexo Rio Negro, suítes Cordeiro e Serra dos Órgãos) e por granitos cambro-ordovicianos da Suíte Nova Friburgo.

Segundo Dantas (2001), os movimentos de massa na Serra do Mar acontecem ao longo de juntas e falhas, sendo essas estruturas rúpteis relacionadas, em parte, com a tectônica



tafrogênica iniciada no Jurássico-Cretáceo, com a abertura do Atlântico Sul e reativações de estruturas neoproterozoicas. O tectonismo distensional Mesozoico da área foi reativado durante o Cenozoico, evidenciadas por eventos neotectônicos (FERRARI, 2001).

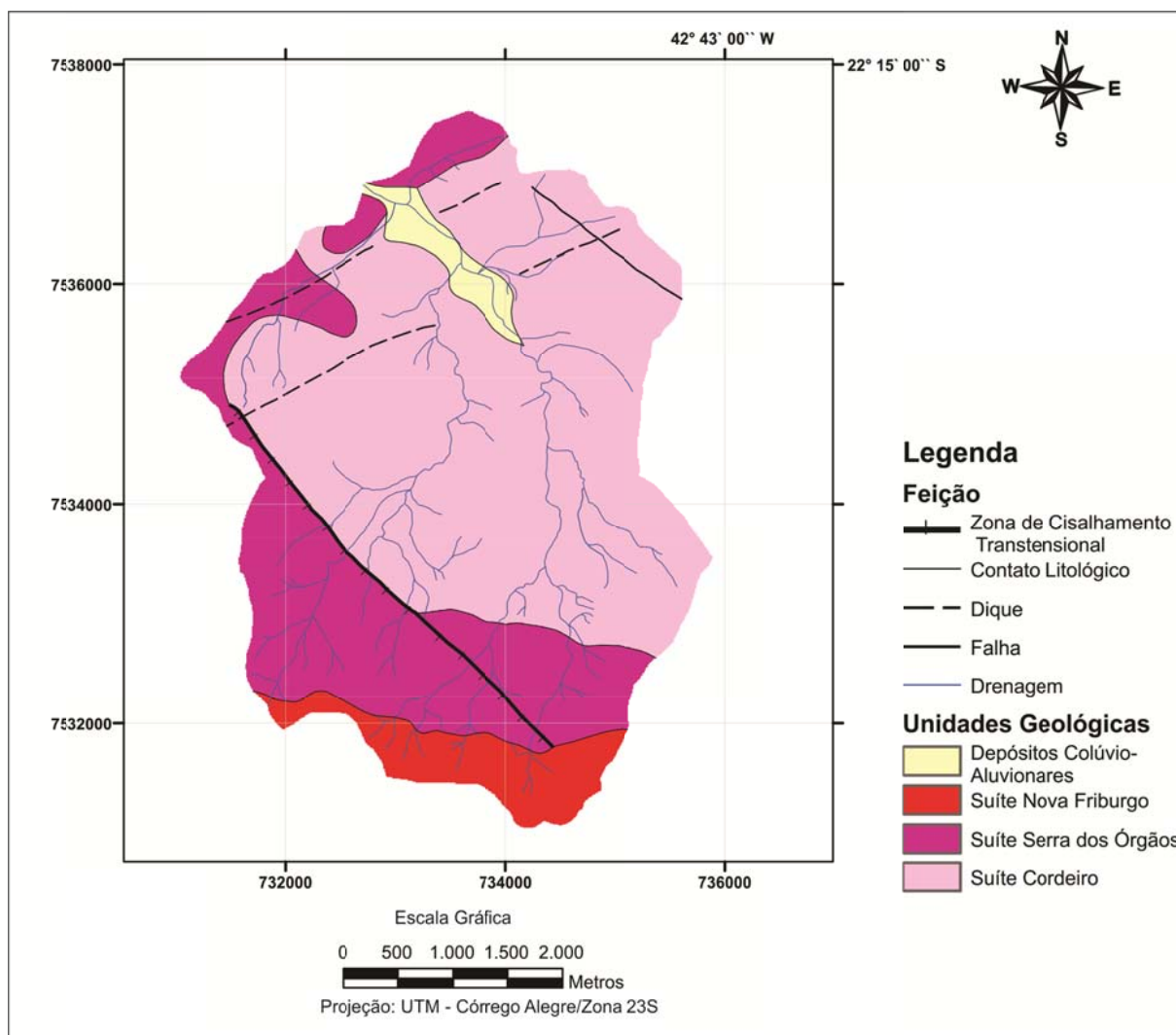


Figura 2: Mapa Geológico (Simplificado de CPRM, 2009)

Rodrigues et al (2011) realizou um levantamento em detalhe das unidades litológicas do alto da bacia do rio Vieira, na escala de 1:5.000, local considerado em sua pesquisa como a área mais importante para a elucidação da fenomenologia do fluxo gravitacional. São as unidades detalhadas por esse autor:

**Gnaiss da Suíte Serra dos Órgãos:** esta unidade caracteriza-se por um biotita gnaiss homogêneo. Rocha de cor cinza claro, homogênea, coloração acinzentada, granulação grossa, índice de cor mesocrático a leucocrático. Apresenta aglomerados máficos de biotita e hornblenda orientados, conferindo a rocha caráter foliado e descontínuo. Sua composição

mineralógica é dada por quartzo, k-feldspato, plagioclásio, biotita e hornblenda, além de minerais acessórios como apatita e zircão.

**Suíte Nova Friburgo:** esta unidade caracteriza-se por um biotita granito mesocrático, aflorando na cabeceira da drenagem e em um corpo semiconcordante na seção média; em outros locais ocorre em trama de diques métricos discordantes. Essa rocha é mesocrática, de coloração cinza a cinza escura, com uma orientação de fluxo por vezes presente, granulação média a grossa, equigranular, isotrópica, maciça, composta por quartzo, feldspato, biotita, hornblenda e minerais opacos.

**Gnaiss da Suíte Cordeiro:** esta unidade caracteriza-se por um biotita gnaiss migmatítico, de coloração cinza claro, homogêneo e anisotrópico. Seu índice de cor é baixo, variando de hololeucocrático a leucocrático e com granulação fina a média. Sua foliação é conferida pela orientação preferencial dos minerais máficos. Apresenta texturas migmatíticas dobrada e estromatítica. Os neossomas e os paleossomas são centimétricos.

Além dos litotipos citados, foram observados na área diques e soleiras de microdiorito e de lamprófito e veios tardios de quartzo, pegmatitos e aplitos (RODRIGUES et al., 2011).

Segundo o mapa da CPRM (2009), na área da bacia do Vieira também encontra-se depósito colúvio-aluvionar, descrito como:

**Depósito Colúvio-Aluvionar:** Argilas de planície de inundação intercaladas com depósitos lenticulares de canal com seixos, areia fina e média.

Segundo Lima (2013) a bacia do Vieira apresenta um sistema de fraturas NE-SW e NW-SE, as quais condicionam deflexões do canal de drenagem, por uma distância de 1 km, com espaçamento médio da ordem de 30 cm. No baixo curso do rio Vieira, ocorre uma mudança de direção para N25W, onde o canal passa a apresentar larguras maiores e aspecto meandrante. A falha tem direção predominantemente N25E, é normal, oblíqua e com componentes dextral, sendo preenchida por brecha. Sua cronologia é definida como posterior ao metamorfismo e as intrusões graníticas.

Ainda segundo Lima (2013), o canal de drenagem é caracterizado por elevado grau de fraturamento, os quais contribuíram para o acidente, sendo que as principais famílias de fraturas tiveram influência direta. As fraturas com direções N20W a N40E possuem relação

com a formação de *Knickpoints*, as quais serviram de barramentos temporários, retendo o fluxo e aumentando sua energia e potencial destrutivo. As fraturas com direção N25E condicionam o padrão de drenagem retangular/treliça com tendência a sub-dendrítica do canal.

### 4.3 Clima

O clima da Região Serrana do Rio de Janeiro, segundo a Classificação de Köppen é Tropical de Altitude, do tipo Aw e Subtropical do tipo Cwa. No município de Teresópolis, a pluviosidade média anual ultrapassa os 2.500 mm. Durante o verão a pluviosidade média da região é de 200 a 250 mm (DOURADO, 2013).

Já segundo a EMBRAPA (2003), a Região Serrana do Rio de Janeiro situa-se no domínio do Planalto da Região Serrana, na porção sul, entre cotas de 400 e 800 m, cujas temperaturas são mais amenas, com médias anuais de 19 a 22°C e precipitações de 1200 a 1400 mm (clima subtropical úmido), relacionadas à vegetação natural de floresta subperenifólia. À medida que se aproxima do rio Paraíba do Sul e da parte leste da área, relacionadas com a vegetação de floresta subcaducifólia, geralmente entre as cotas de 100 e 400 m, as temperaturas são mais elevadas, variando entre 22 e 24°C de médias mensais, e as precipitações mais reduzidas, com médias anuais de 1050 a 1300 mm (clima tropical, subúmido e seco). Apresenta estação seca definida, entre 4 e 5 meses do ano. O balanço hídrico anual mostra moderada deficiência hídrica, com valores anuais de 30 a 150 mm, concentrada nos meses do inverno (maio a agosto).

### 4.4 Pedologia

Segundo a EMBRAPA (2003) no domínio do Planalto da Região Serrana os terrenos são caracterizados por Argissolos Vermelho-Amarelos e Vermelhos, ocasionalmente Cambissolos Háplicos, com vertentes de fortes gradientes e alta suscetibilidade à erosão e a movimentos de massa. Nos terrenos mais baixos, referentes aos vales entalhados pelos rios principais, em direção norte e leste é marcada pela diferenciação de solos e da cobertura florestal original. Verifica-se a presença de Latossolos Vermelho-Amarelos e Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos, eventualmente Cambissolos Háplicos, na metade sul desta área, nas posições mais elevadas e mais úmidas da paisagem.



#### 4.5 Uso e Ocupação do Solo

Dados do IBGE (2010) apontam que o setor de serviços representa aproximadamente 76,22% da economia do município, como mostra o gráfico 1.

Gráfico 1: Produto interno bruto do município de Teresópolis. Fonte: IBGE (2010)

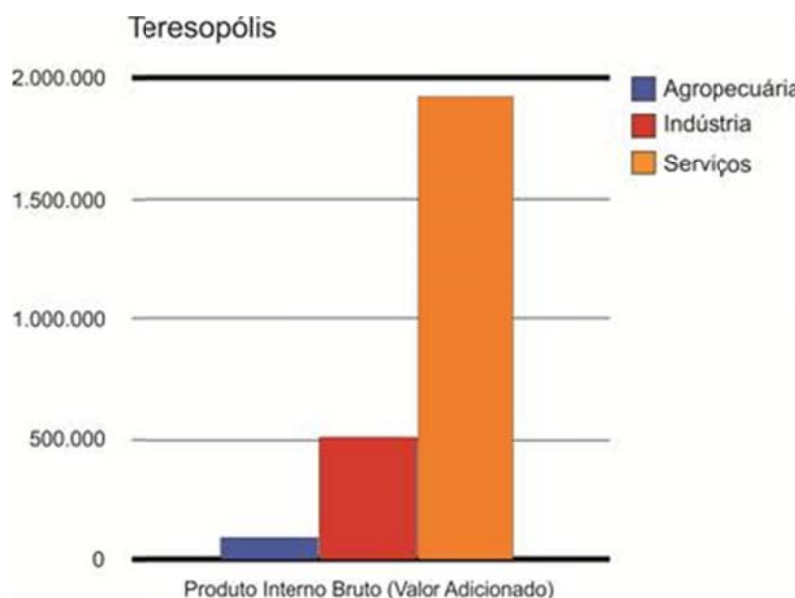


Tabela 1: Produto Interno Bruto do município de Teresópolis comparado com a capital Rio de Janeiro e o Brasil. Fonte: IBGE (2010)

Variável	Teresópolis PIB (\$)	Rio de Janeiro PIB (\$)	Brasil PIB (\$)
Agropecuária	90.002	1.072.848	105.163.000
Indústria	511.559	62.966.386	539.315.998
Serviços	1.928.906	144.387.422	1.197.774.001

A população residente em áreas rurais, como no caso da bacia do Vieira, trabalha com atividades agropecuárias, como pecuária extensiva e atividades de cultivo, representada principalmente pela produção de hortaliças que se desenvolvem ao longo das bacias de drenagem nas baixas encostas ou terraços (COSTA, 2005).

Outro aspecto importante relacionado à dinâmica rural refere-se ao aumento de hotéis-fazenda e de haras, os quais denotam a redução das atividades agropecuárias e uma gradual mudança do perfil econômico vinculado ao setor (COSTA, 2005).

O município de Teresópolis está passando nos últimos anos por um boom imobiliário, provocado pela fuga da população de classe média à alta das grandes cidades, para cidades menores em busca de qualidade de vida, segurança, entre muitos outros fatores. Essa concentração urbana tem produzido profundas alterações na paisagem, devido às transformações da forma de ocupação e uso do solo urbano da cidade (COSTA, 2005).

Sendo assim, o *boom* imobiliário provocou grandes mudanças na paisagem e no perfil socioeconômico do município, deixando de ser conhecido apenas como uma cidade turística e de veraneio.

Muitos problemas foram causados por esse aumento do contingente populacional, como por exemplo, a vinda de uma população de baixa renda que ocupa áreas próximas aos condomínios, visando uma oportunidade no mercado informal de trabalho. Essa população acaba provocando uma ocupação desordenada do solo, geralmente em terrenos que pertencem à União, ao Estado, à Prefeitura e a particulares, aumentando dessa maneira a população conhecida como favelada na cidade (COSTA, 2005).

#### 4.6 Urbanização de Teresópolis/RJ

De acordo com os registros históricos da Prefeitura de Teresópolis, as origens da cidade datam da primeira metade do século XIX, mas o primeiro registro oficial foi em 1788, efetuados por Baltazar da Silva Lisboa. Entretanto os registros mostram que a região começou a ser ocupada apenas em 1821. Nesse período, o português de origem inglesa George March adquiriu uma grande gleba e transformou-a em fazenda modelo. Essa fazenda foi denominada como Fazenda Santo Antônio ou Sant`Ana do Paquequer, sendo marcada na história do município pela formação do primeiro povoado de grande importância, pois estava no caminho que ligava a corte à província das Gerais, iniciando assim, de forma efetiva, a agricultura, a pecuária e o veraneio na região (PREFEITURA, 2013).

Em 1855 foi criada a Freguesia de Santo Antônio do Paquequer, que achava-se subordinada ao município de Magé/RJ, com aproximadamente 2 mil habitantes. Em 1890 ocorreu a troca do nome do município para Teresópolis/RJ, uma homenagem a Imperatriz Teresa Cristina, casada por muitos anos com D. Pedro II. Durante os períodos de férias a família imperial desfrutava das belezas naturais do município; acredita-se que se encantaram com os aspectos naturais da cidade. Neste mesmo ano foi criada a Companhia da Estrada de Ferro de Teresópolis, ligando o município, no planalto Teresopolitano, a Piedade, na Baía de

Guanabara. A companhia foi responsável por dinamizar o fluxo de pessoas e mercadorias na região (COSTA, 2005).

Em 1891, a Freguesia conseguiu a emancipação de Magé/RJ, inaugurando um novo ciclo de crescimento da região (GOLLARTE et al, 1966 apud COSTA, 2005).

No século XX foram implantadas as primeiras estradas de rodagem, como a Teresópolis–Itaipava (1939), aumentando dessa forma o número de veranistas e turistas, assim como a ocupação por parte de imigrantes (especialmente suíços), estimulados pelo crescimento das atividades agropecuárias (COSTA, 2005).

Nos últimos 50 anos a cidade apresentou um alto crescimento populacional provocado pela facilidade de acesso da rodovia inaugurada, em 1939, com a cidade do Rio de Janeiro, resultado do processo de migração campo-cidade e do primeiro *boom* imobiliário, sendo que até o final da década de 1980 definiu-se o perfil veranista e turístico da cidade. Entre 1950 e 1960 houve um crescimento populacional de 52,1%, aumentando de 34.396 habitantes para 52.318 habitantes neste curto espaço de tempo. A taxa de crescimento manteve-se elevada durante os anos de 1970 e 1980, com uma média de crescimento superior a 35% a cada dez anos, havendo uma desaceleração somente após 1990, com um crescimento entre 1991 a 2000 de 14,4% (COSTA, 2005).

Ferreira et al. (1998) apud Costa (2005) apresentaram estudos sobre as formas de ocupação e uso do solo entre o período de 1950 a 1990. Esses estudos demonstraram que em três períodos analisados predominam, em área, as atividades agropecuárias, porém em termos econômicos estas atualmente não se constituem em principais fontes de arrecadação e geração de empregos. O setor terciário nos dias de hoje é o mais representativo na economia, com atividades que envolvem comércio e serviços.

O município vem passando nos últimos anos por um *boom* imobiliário devido à migração da população de classe alta à média para a cidade. Tal migração acabou atraindo um grande contingente populacional de baixa renda, ocupando áreas próximas aos condomínios, em busca de trabalhos do mercado informal. As áreas ocupadas, predominantemente encostas, geralmente apresentam altos índices de suscetibilidade a movimentos de massas. Atualmente o município está enfrentando sérios problemas com essas moradias irregulares, tendo que desenvolver projetos com órgãos de pesquisas para o mapeamento destas áreas de riscos, a fim de auxiliar na tomada de decisão dos gestores.

## 5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 5.1 Fundamentos Relativos a Movimentos de Massa

Os movimentos de massa são processos extremamente comuns na dinâmica da natureza, sendo que sua ocorrência não deveria provocar nenhum dano econômico ou social na sociedade por ser um processo natural da evolução de vertentes. Entretanto, com a interferência do homem nessa dinâmica estes processos ganham destaque no mundo inteiro pela magnitude dos impactos gerados, podendo provocar sérios danos ao homem.

Na literatura encontram-se diversas classificações de movimentos de massa; neste trabalho adotou-se a de Guidicini e Nieble (1984) e Augusto Filho (1992).

Para Guidicini e Nieble (1984) os movimentos de massa são importantes processos naturais que atuam na dinâmica da vertente, os quais contribuem para a evolução geomorfológica em regiões montanhosas e íngremes. A classificação de movimentos de massa por Guidicini e Nieble (1984), dividiu-se em três tipos principais como mostra a Tabela 2.

Tabela 2: Classificação dos movimentos gravitacionais, segundo Freire (1965) modificada por Guidicini e Nieble (1984).

Tipo Fundamental	Sub-Tipo	Classes Principais
Escoamentos	Rastejo, Reptação (Escoamento plástico)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Rastejo do solo</li> <li>✓ Rastejo de detritos de tálus</li> <li>✓ Rastejo de rocha</li> <li>✓ Solifluxão</li> <li>✓ Rastejo de detritos de geleiras</li> <li>✓ Galerias</li> </ul>
	Corridas (Escoamento líquido)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Corrida de terra</li> <li>✓ Corrida de areia ou silte</li> <li>✓ Corrida de lama</li> <li>✓ Avalanche de detritos</li> </ul>
Escorregamentos	Escorregamentos Rotacionais	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Escorregamentos de taludes</li> <li>✓ Escorregamentos de base do talude</li> <li>✓ Rotura rotacional de solo de fundação</li> </ul>
	Escorregamentos Translacionais	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Escorregamento translacional de solo</li> <li>✓ Escorregamento translacional de rocha e solo</li> <li>✓ Escorregamento translacional retrogressivo</li> <li>✓ Queda de rocha</li> <li>✓ Queda de detritos</li> </ul>
Subsidências	Subsidências	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Por carregamento de grãos</li> <li>✓ Por dissolução de camadas inferiores e cavernas</li> <li>✓ Por deformação de estratos inferiores</li> <li>✓ Por rotura de estratos inferiores</li> <li>✓ Por retirada do suporte lateral</li> </ul>
	Recalques	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Por consolidação</li> <li>✓ Por compactação</li> </ul>
	Desabamentos	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Por rotura de camadas</li> <li>✓ Por subescavação</li> <li>✓ Por retirada do suporte lateral</li> </ul>

Enquanto Augusto Filho (1992) agrupou os movimentos de massa em quatro tipos principais como mostra a Tabela 3.

Tabela 3: Classificação dos movimentos gravitacionais de massa, adaptado de Augusto Filho (1992).

Processos	Dinâmica/Geometria/Material
<b>Rastejos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Vários planos de deslocamento (internos)</li> <li>✓ Velocidades muito baixas (cm/ano) a baixas e decrescentes com a profundidade</li> <li>✓ Movimentos constantes, sazonais ou intermitentes</li> <li>✓ Solo, depósitos, rocha alterada/fraturada</li> <li>✓ Geometria indefinida</li> </ul>
<b>Escorregamentos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Poucos planos de deslocamento (externos)</li> <li>✓ Velocidades médias (m/h) a altas (m/s)</li> <li>✓ Pequenos a grandes volumes de material</li> <li>✓ Geometria e materiais variáveis: planares, circulares e em cunha</li> </ul>
<b>Quedas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Sem planos de deslocamento</li> <li>✓ Movimentos tipo queda livre ou em plano inclinado</li> <li>✓ Velocidades muito altas (vários m/s)</li> <li>✓ Material rochoso</li> <li>✓ Pequenos a médios volumes</li> <li>✓ Geometria variável: lascas, placas, blocos, etc.</li> </ul>
<b>Corridas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Muitas superfícies de deslocamento</li> <li>✓ Movimento semelhante ao de um líquido viscoso</li> <li>✓ Desenvolvimento ao longo das drenagens</li> <li>✓ Velocidades médias a altas</li> <li>✓ Mobilização de solo, rocha, detritos e água</li> <li>✓ Grandes volumes de material</li> <li>✓ Extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas</li> </ul>

### 5.1.1 Escorregamento

Os escorregamentos são processos caracterizados por movimentos rápidos (velocidades de m/h a m/s), tendo como principal agente deflagrador a água. São processos com limites laterais, profundidades e plano de ruptura bem definidos, deslocando-se sob a ação da gravidade para baixo e para fora do talude da vertente. São caracterizados por materiais que recobrem as superfícies das vertentes ou encostas, como solo, rocha e vegetação. Ocorrem predominantemente em solos pouco desenvolvidos e rasos nas vertentes com altas declividades (GUIDICINI e NIEBLE, 1984).

Segundo Guidicini e Nieble (1984), para que ocorra um escorregamento é necessário que a relação entre a resistência média ao cisalhamento do material e as tensões médias de cisalhamento na superfície potencial de movimentação tenha decrescido, partindo de um valor maior que um (01) até decrescer a unidade, no momento do escorregamento.

Os escorregamentos são os processos que mais influenciam na evolução natural da encosta, responsável por provocar muitos danos sociais e econômicos ao homem.

A classificação do escorregamento considera a forma do plano de ruptura e o tipo de material em movimento. Quando a classificação ocorre baseada na forma evidencia-se a geometria do material, a qual se divide em: circular ou rotacional, planar ou translacional ou em cunha, como mostra a Figura 3.

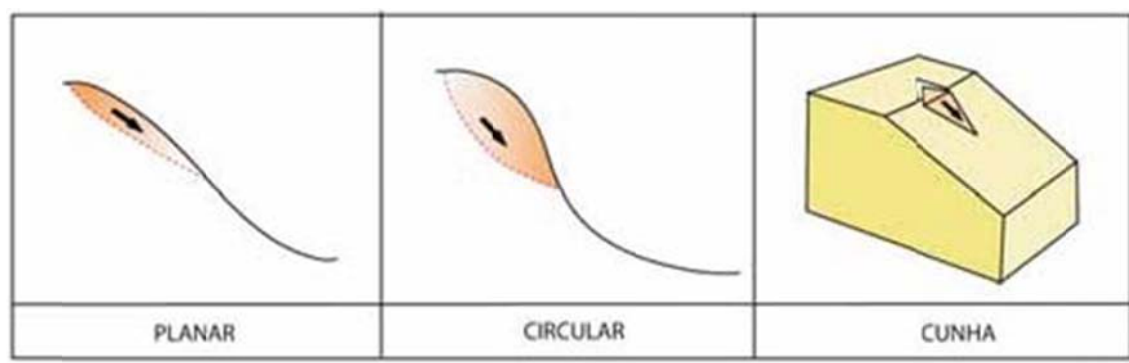


Figura 3: Geometria dos movimentos de massa associados a escorregamentos.

Fonte: Oliveira (2010)

Quando a classificação é feita baseando-se no tipo de material, estes podem se apresentar como solo, solo e rocha, ou somente rocha, podendo apresentar ou não estruturas e/ou planos de fraqueza, que propiciem rupturas (GUIDICINI e NIEBLE, 1984; AUGUSTO FILHO, 1994; FERNANDES e AMARAL, 1996).

#### 5.1.1.1 Escorregamentos Rotacionais ou Circulares

Os escorregamentos rotacionais têm como principal característica a presença de uma superfície de ruptura curva, côncava para cima, ao longo da qual se dá o movimento da massa de solo (Figura 4). A principal condição para existência desse movimento é a presença de espessos mantos de alteração. Um dos fatores que propiciam o desencadeamento do fenômeno está vinculado a cortes na base das vertentes, sejam artificiais, como na implementação de estradas, ou naturais, em casos de erosão fluvial (FERNANDES e AMARAL, 1996).





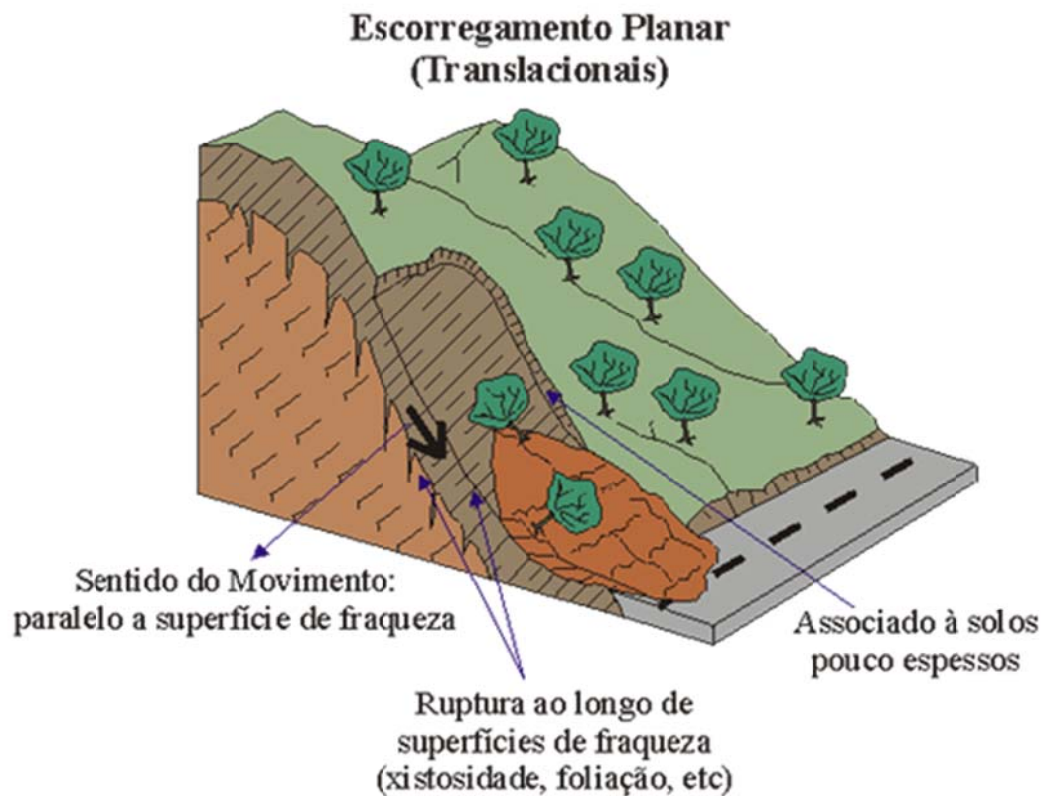
Figura 4: Escorregamento rotacional ou circular.

(Fonte: <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/interacao/inter09c.html>)

### 5.1.1.2 Escorregamentos Translacionais ou Planares

Os escorregamentos translacionais ou planares (Figura 5), processos muito frequentes na dinâmica das encostas serranas brasileiras, são deflagrados predominantemente em solos pouco desenvolvidos das vertentes com altas declividades. Apresentam plano de ruptura abrupto, bem definido, planar, com curta duração, com uma geometria evidenciada por uma pequena espessura e forma retangular estreita, com comprimentos sempre superiores a largura. Determinados tipos de solos e estruturas geológicas são fatores condicionantes na deflagração do processo, podendo ocorrer em solos saprolíticos, saprólitos e rocha e em estruturas falhadas, caracterizadas com um plano de fraqueza desfavorável à estabilidade. (MACEDO e OGURA, 2007).





**Figura 5:** Escorregamento planar ou translacional.

(Fonte: <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/interacao/inter09b.html>)

### 5.1.1.3 Escorregamentos em Cunha

Os escorregamentos em cunha (Figura 6) estão associados à saprólitos e maciços rochosos que possuem dois planos de fraqueza desfavoráveis à estabilidade. São mais comuns em taludes de corte ou encostas que passaram por processos naturais de desconfinamento, como erosão ou escorregamentos pretéritos (MACEDO e OGURA, 2007).

### Escorregamento em Cunha

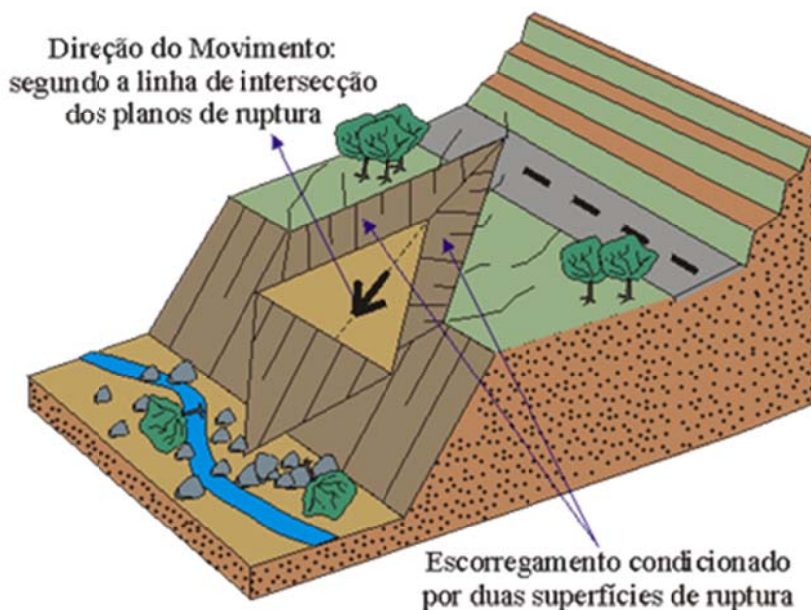


Figura 6: Escorregamento em cunha

(Fonte: <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/interacao/inter09d.html>)

#### 5.1.2 Escorregamentos Induzidos

Os escorregamentos induzidos estão vinculados à ação antrópica e correspondem a movimentos em que a deflagração é causada pela execução de cortes e aterros inadequados, pela concentração de águas pluviais e servidas, pela retirada da vegetação, entre outras interferências humanas. Muitas vezes o material mobilizado é proveniente da própria ocupação humana, como lixo e entulho (MACEDO e OGURA, 2007).

#### 5.1.3 Rastejos

Os rastejos são movimentos lentos e contínuos de material de encostas com limites geralmente indefinidos, transportam, muitas vezes, grandes volumes de solos, não apresentando uma diferenciação visível entre o material em movimento e o estacionário (Figura 7). A movimentação ocorre pela ação da gravidade, podendo interferir também os efeitos das variações de temperatura e umidade (GUIDICINI e NIEBLE, 1984).

São caracterizados por movimentar grandes massas de materiais, com um deslocamento mínimo ao longo do tempo, de milímetros a centímetros por ano. Neste tipo de

processo não se apresenta um plano de movimentação ou ruptura bem definido, ocorrendo sobre horizontes superficiais de solo, como horizontes de transição solo/rocha e a até mesmo em rocha, em profundidades superiores. A principal causa antrópica deste fenômeno são cortes na extremidade média inferior da encosta, os quais interferem na instabilidade da mesma. As evidências desse fenômeno são trincas observadas em toda a extensão do terreno natural, as quais aumentam lentamente, e árvores ou qualquer outro marco fixo que apresentem inclinações variadas (MACEDO e OGURA, 2007).

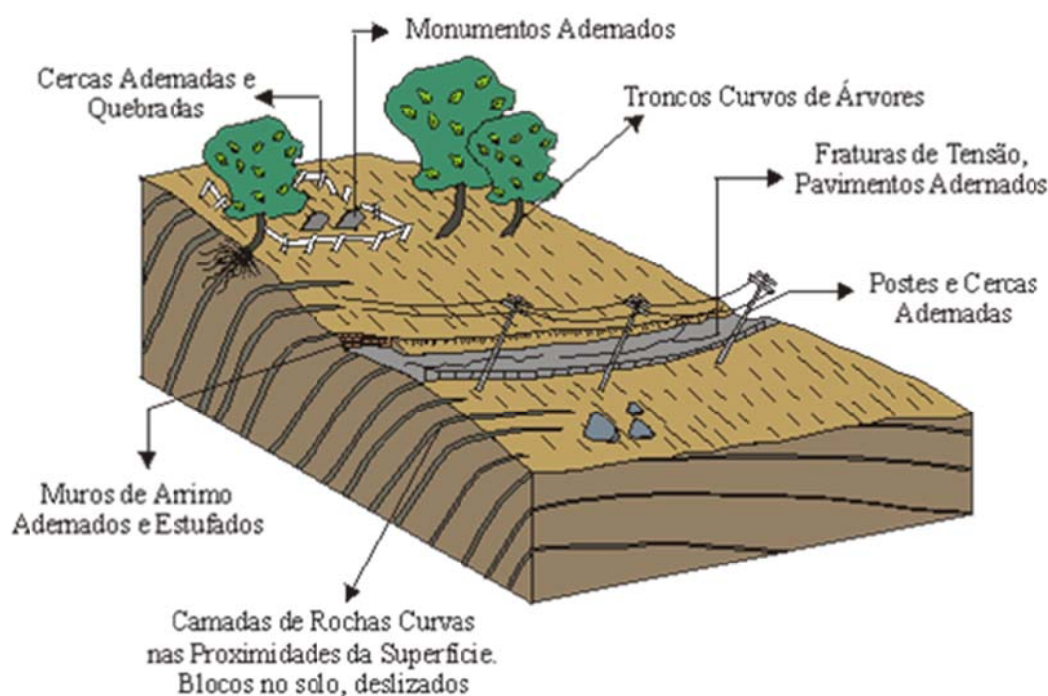


Figura 7: Rastejo

(Fonte: <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/riscos/risco11b.html>)

#### 5.1.4 Queda de Blocos

Enquanto o rastejo é caracterizado por um movimento muito lento, a queda de blocos (Figura 8) é um movimento extremamente rápido, da ordem de metros por segundo, que envolve blocos e/ou lascas de rocha em movimento de queda livre, instabilizando um volume de rocha relativamente pequeno (MACEDO e OGURA, 2007).

A queda de bloco ocorre pela ação alternada de congelamento e degelo em fraturas e juntas, por ciclagem térmica em massas rochosas, por perda de apoio de blocos causada pela ação erosiva da água, por processo de desconfinamento lateral de maciços rochosos, por

vibrações de origem antrópica, por alívio de tensões de origem tectônica, por empuxo hidrostático ou pela combinação desses processos (GUIDICINI e NIEBLE, 1984).

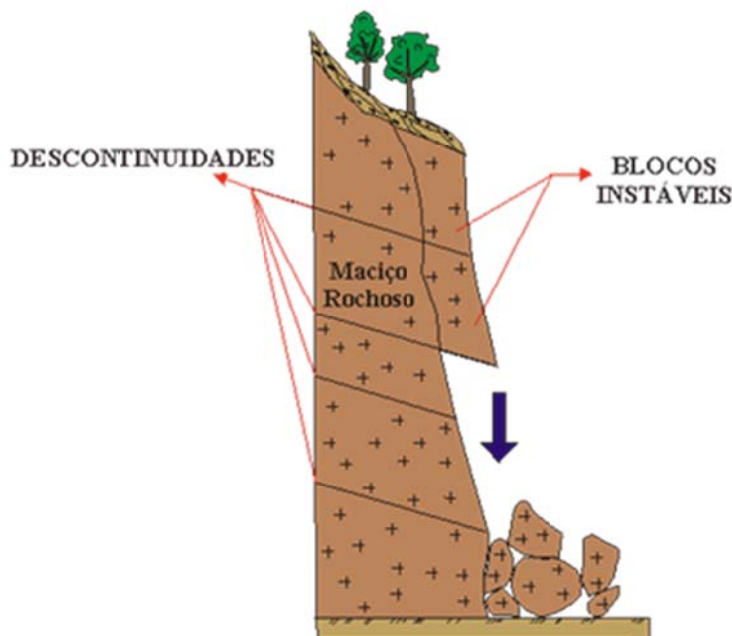


Figura 8: Queda de Blocos

(Fonte: <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/interacao/inter09e.html>)

### 5.1.5 Corrida de Detritos

Considerando que o fenômeno mais intenso e devastador do estudo de caso deste trabalho foi a corrida de detritos (*debris flow*), o mesmo será mais detalhado com a finalidade de melhor compreender os motivos deste processo ter sido tão marcante na história do município de Teresópolis/RJ.

A corrida de detritos que ocorreu na bacia do Vieira atingiu velocidades intensas, mobilizando todo o material que estava presente na drenagem, os quais causaram sérios danos econômicos e sociais para a sociedade civil.

A deflagração desse fenômeno está comumente associada a numerosos e simultâneos escorregamentos que transportam o material para o leito da drenagem, este material acumula-se na linha de drenagem formando um barramento natural, quando este é rompido, forma-se um fluxo que transporta materiais sólidos e removidos do leito com uma velocidade que pode atingir grandes velocidades (escala de muitos km/h) (LIMA, 2013).

As corridas de detritos são denominadas por uma variada nomenclatura da literatura nacional e internacional, em função da sua velocidade e das características dos materiais que

mobilizam (IPT, 2007).

Segundo Gramani (2001, p. 109), as classificações para corridas de detritos geralmente se diferem por 3 critérios:

“1) características do material mobilizado: lama, detritos, restos orgânicos e diferentes fontes e quantidades de água, distribuição granulométrica; 2) forma de movimentação da massa: quedas de blocos, escorregamentos, fluxos/escoamento, movimentos de conjunto, e 3) velocidades de escoamento durante o processo: lento, rápido e velocidades intermediárias...”

Na literatura nacional e internacional encontram-se terminologias como avalanches rochosas, corridas de detritos/*Debris Flow*, corridas de lama/*Mud Flow*, entre outras nomenclaturas, todas variando entre os critérios citados acima.

Os fatores que condicionam a corrida de detritos são diversos, considerando desde a tectônica da bacia, a composição do material de origem do solo, as características físicas do rio, o índice pluviométrico da localidade, a declividade da vertente, densidade da cobertura vegetal, entre outros (LIMA, 2013).

Segundo Sharpe (1938) apud Gramani, (2001), a base da classificação dos *debris flow* iniciou-se com Sharpe em 1938, que definiu a corrida de lama como um movimento rápido, constituído de solo ou rocha com água. Sharpe subdividiu os *mud-flows* considerando os dados climáticos e geológicos-geomorfológicos. Nesta classificação ainda não aparecia o termo *debris flow*, considerava-se apenas os termos corridas de lama e avalanche de detritos, a principal diferenciação de ambos relaciona-se ao meio em que são transportados os materiais, sendo considerados água ou gelo.

Para Guidicini e Nieble (1984) a classificação definida por Sharpe em 1938 não se adequaria ao meio físico brasileiro, pela diferença das condições climáticas e pela ausência de parâmetros físicos-mecânicos na classificação. Contudo, a distinção dos movimentos considerando as velocidades adquiridas foi essencial para diferenciar os processos observados por diferentes pesquisadores. Sendo assim, as classificações de Sharpe (SHARPE, 1938 apud GRAMANI, 2001), serviram de base para novas classificações das corridas no mundo inteiro (GRAMANI, 2001).

Para Guidicini e Nieble (1984) as corridas de detritos são caracterizadas por um rápido escoamento e com um caráter hidrodinâmico. Com o excesso de água no solo ocorre a destruição da estrutura pela mudança dos limites de liquidez, ocasionando a perda de atrito interno, desencadeando, dessa maneira, o início do processo da corrida. São movimentos



rápidos, que mobilizam grande volume de material que se comportam como fluidos altamente viscosos, e o deslocamento se dá ao longo de um ou mais canais de drenagem (IPT, 2007).

Segundo Costa (1984) os principais mecanismos de corridas de detritos são:

**Distância:** Pode provocar a transformação de um sólido, ou uma massa rígida, em fluido viscoso. Essa transformação ocorre com o aumento no volume de massa de solo e porosidade durante a deformação, acompanhando a ruptura de taludes, com mudança de forma. A massa sólida torna-se fluida a partir do aumento da porosidade, a qual intensifica a incorporação de umidade e amolgamento, reduzindo a resistência do material.

**Liquefação espontânea:** A massa sólida transforma-se repentinamente num fluido viscoso pelo excesso de água ou por uma solitação externa em sedimentos saturados.

**Barramento natural:** A acumulação de sedimentos depositados nas linhas de drenagens forma um barramento natural concentrado nas zonas de *Knickpoints* (quebra natural do relevo), este barramento pode perder a estabilidade, rompendo-se e dando origem as corridas.

**Acumulação dos sedimentos nos cursos de drenagens:** A partir dos movimentos de massas deflagradas por chuvas extremas, materiais depositados nos cursos de drenagens são mobilizados por um grande volume de água, instabilizando e/ou exumando, transformando-se em corridas.

Segundo Bathurst et al. (1997), as corridas de detritos são movimentos intensos devido ao volume mobilizado em um curto espaço de tempo, e que se caracterizam por um alto poder de erosão, principalmente no início do movimento até a fase de maior aceleração, provocando impactos comparáveis a avalanches.

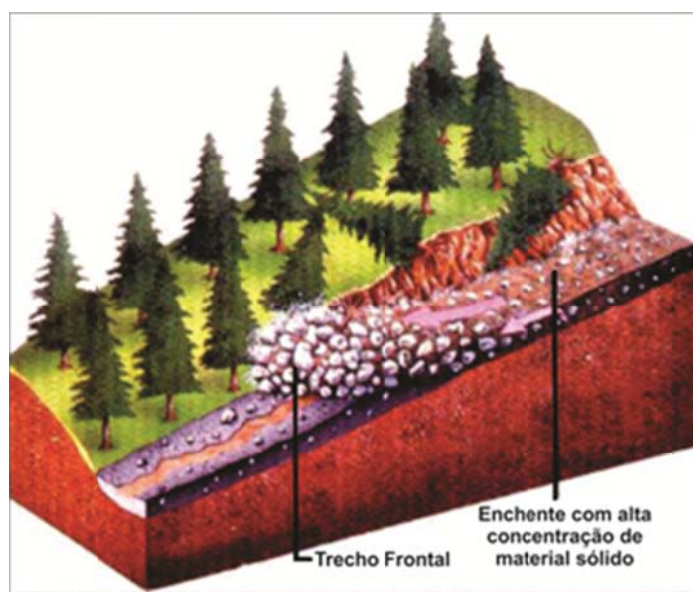
No Brasil, segundo Gramani (2001), um autor que sintetizou os principais grupos de processos de instabilização considerando a dinâmica brasileira foi Augusto Filho (1992), o qual se baseou na bibliografia internacional de Varnes (VARNES, 1958 apud AUGUSTO FILHO, 1992), reunindo as principais características dos movimentos nas encostas definindo uma classificação que pode ser usada em diferentes cenários serranos.

Augusto Filho (1992) caracteriza a corrida de detritos (Figura 9) como um movimento semelhante a um líquido viscoso, desenvolvido ao longo das drenagens, provocando várias superfícies de deslocamento, com velocidades médias a altas, e com extenso raio de alcance.

Os fatores condicionantes da corrida de detritos envolvem a geomorfologia, a geologia e pluviosidade intensa.

Considerando a geomorfologia, uma das condições geomorfológicas principais para a ocorrência da corrida de detrito é a existência de declives elevados, considerando que quanto maior o ângulo, maior a probabilidade de ocorrência (LIMA, 2013). Segundo Massad et al. (2000), a média de inclinação para a ocorrência do fluxo gravitacional varia entre 20° a 25°.

Quanto a geologia predisponente, é descrita na literatura uma extensa variedade de estruturas geológicas. No Brasil, os fluxos ocorrem com maior frequência em solos residuais ou maciços rochosos altamente fraturados, tendo a precipitação como um dos principais fatores condicionantes para deflagrar o fenômeno (LIMA, 2013).



**Figura 9:** Corrida de Detritos (IPT, 1991)

## 5.2 Fatores Condicionantes dos Movimentos de Massa

Os fatores condicionantes a movimentos de massas são diversos, entre naturais, antrópicos ou ambos.

Guidicini e Nieble (1984) utilizam a terminologia de agentes e causas de instabilização para discutir sobre os condicionantes; a causa é entendida como o modo de atuação de um determinado agente de estabilização de uma encosta ou um talude, e subdividem os agentes

em deflagradores em predisponentes e efetivos (Tabela 4).

Os agentes predisponentes referem-se a um conjunto de características naturais intrínsecas do meio físico natural podendo ser diferenciados em complexo geológico-geomorfológico e complexo hidrológico-climático (IPT, 2007).

Já os agentes efetivos são diretamente responsáveis pelos movimentos de massa, incluindo a ação antrópica. São diferenciados em preparatórios e imediatos (IPT, 2007).

Tabela 4: Agentes e causas dos movimentos gravitacionais de massa (GUIDICINI e NIEBLE, 1984)

<b>AGENTES</b>	<b>Predisponentes</b>		Complexo geológico, complexo morfológico, complexo climato-hidrológico, gravidade, calor solar, tipo de vegetação.
	<b>Efetivos</b>	<b>Preparatórios</b>	Pluviosidade, erosão pela água e vento, congelamento e degelo, variação da temperatura, dissolução química, ação de animais e antrópica.
		<b>Imediato</b>	Chuvas intensas, fusão do gelo e neves, erosão, terremoto, ondas, vento, ação do homem.
<b>CAUSAS</b>	<b>Internas</b>		Efeito das oscilações térmicas, redução dos parâmetros de resistência por intemperismo.
	<b>Externas</b>		Mudanças na geometria do sistema; efeitos de vibrações; mudanças naturais na inclinação das camadas.
	<b>Intermediárias</b>		Elevação do nível piezométrico em massas “homogêneas”; elevação da coluna de água em descontinuidades; rebaixamento rápido do lençol freático. Erosão subterrânea retrogressiva (piping); diminuição do efeito de coesão aparente.

Para o IPT (2007), os condicionantes antrópicos têm como principais agentes deflagradores de deslizamentos:

- ✓ Remoção da cobertura vegetal;
- ✓ Lançamento e concentração de águas pluviais e/ou servidas;
- ✓ Vazamento na rede de água e esgoto;
- ✓ Presença de fossas;
- ✓ Execução de cortes com alturas e inclinações acima de limites tecnicamente seguros;
- ✓ Execução deficiente de aterros (compactação, geometria, fundação);
- ✓ Execução de patamares nos taludes (“aterros lançados”);



- ✓ Lançamento de lixo nas encostas/taludes;
- ✓ Retirada do solo superficial expondo horizontes mais suscetíveis a processos erosivos.

Os deslizamentos geralmente não são deflagrados apenas por um fator condicionante, mas sim por um produto de uma cadeia de fatores e efeitos que culminam no fenômeno. Para a adoção de medidas corretivas e até preventivas é necessário que exista uma identificação de quais são os fatores condicionantes atuantes no local em estudo, garantindo dessa forma um maior acerto técnico e econômico (IPT, 2007).

Dessa maneira Augusto Filho e Virgili (1998) reforçaram essa ideia sobre a cadeia de fatores condicionantes agindo concomitantemente. Pensando na dinâmica brasileira esses autores destacaram os principais condicionantes de movimentos de massa no Brasil:

- ✓ Características climáticas (principalmente o regime pluviométrico);
- ✓ Características e distribuição dos materiais que compõem o substrato das encostas/taludes, abrangendo solos, rochas, depósitos e estruturas geológicas (xistosidade, fraturas, etc.);
- ✓ Características geomorfológicas, como inclinação, amplitude e forma do perfil das encostas (retilíneo, côncavo e convexo);
- ✓ Regime das águas de superfície e de subsuperfície;
- ✓ Características do uso e ocupação, incluindo cobertura vegetal e as diferentes formas de intervenção antrópica das encostas, como cortes, aterros, concentração de água pluvial e servida, etc.

Além de destacar todos os condicionantes para a dinâmica brasileira, Augusto Filho e Virgili (1998) explicitaram os fatores que possuem maior importância na Geologia de Engenharia, como: influência do substrato, da água de subsuperfície, da precipitação, da cobertura vegetal, do relevo e da ação antrópica, conforme evidencia a Tabela 5 .

Tabela 5: Fatores condicionantes que atuam de forma direta e imediata na deflagração dos processos de instabilização. (AUGUSTO FILHO, 1992 modificado por SCARANCA, 2004.)

SUBSTRATO	<p>Os climas tropical e subtropical impõem características próprias aos processos de intemperismo. Como resultado típico tem-se mantos de cobertura superficial de grandes espessuras, com a formação de zonas de diferentes resistências, permeabilidades e outras características que se relacionam diretamente com os movimentos de massa.</p>	<p><u>Maçãos terrosos</u>: muitos modelos de mecanismo de ruptura em solos os tratam como meios relativamente homogêneos, mas seus comportamentos podem ser controlados por feições internas (macroestruturas). Estas feições podem estar associadas às estruturas reliquias do substrato rochoso, ou aos processos de intemperismo e de formação dos solos. O ângulo de atrito e a coesão (parâmetros que determinam a resistência ao cisalhamento) variam bastante, dependendo da gênese e das características dos solos. Os depósitos detríticos de encostas (coluviões e tálus) apresentam mecanismos de instabilização próprios, ditados pela sua origem (materiais mobilizados por movimentos de encosta).</p> <p><u>Maçãos rochosos</u>: as características e os comportamentos de interesses na análise de estabilidade de maços rochosos envolvem gênese, mineralogia, textura, ângulo de atrito, coesão, permeabilidade, deformabilidade, etc. De maneira geral, os taludes rochosos são mais estáveis do que os terrosos, suportando geometrias mais acentuadas (ângulo e altura). Os problemas de instabilização de taludes rochosos no ambiente tropical, em geral, estão associados a talude de corte, tanto em obras civis como de mineração, uma vez que as encostas mais naturais tendem a apresentar grandes espessuras de manto de alteração, com solos saprolíticos e saprólitos. Pode-se afirmar que a estabilidade de massas rochosas é determinada, em grande parte, pelas descontinuidades geológicas que podem condicionar diretamente o mecanismo e a geometria de ruptura.</p>
ÁGUA DE SUBSUPERFÍCIE	<p>A dinâmica das águas de subsuperfície é uma das principais responsáveis pela deflagração dos movimentos de encosta, atuando tanto no aumento das solicitações, como na redução da resistência dos terrenos. Os principais mecanismos de atuação das águas de subsuperfície no desencadeamento de escorregamento são:</p> <p><u>-diminuição da coesão aparente</u>: maços terrosos, com permeabilidade crescente com a profundidade, tendem a formar linhas de fluxos subverticais, que aumentam o grau de saturação e diminuem os efeitos de coesão aparente, com o avanço em profundidade da frente de umedecimento. Este processo pode levar os taludes à ruptura, mesmo sem a formação ou elevação do nível d'água.</p> <p><u>-variação do nível piezométrico em massas homogêneas</u>: a elevação do nível d'água nestas condições aumenta as pressões neutras, reduzindo as tensões normais efetivas e a resistência ao cisalhamento, podendo levar os taludes à ruptura.</p> <p><u>-elevação da coluna d'água em descontinuidades</u>: o nível de água sofre alteamentos mais intensos nos taludes rochosos pouco fraturados quando comparados com os demais maços terrosos, devido suas porosidades relativas inferiores; isto pode causar diminuição das tensões normais efetivas, podendo gerar também esforços laterais cisalhantes.</p>	
CHUVA	<p>Relaciona-se diretamente com a dinâmica das águas de superfícies e de subsuperfícies e, portanto, influenciam a deflagração dos processos de instabilização. Os índices pluviométricos críticos para a deflagração dos processos variam com o regime de infiltração do terreno, a dinâmica das águas subterrâneas no maço e o tipo de instabilização. Os escorregamentos em rocha tendem a ser mais susceptíveis a chuvas concentradas, enquanto os processos em solo dependem também dos índices pluviométricos acumulados em dias anteriores. Processos do tipo corrida estão associados a índices pluviométricos muito intensos, enquanto que as rupturas em áreas modificadas pelo homem com desmatamentos, cortes, aterros, etc. (escorregamento induzido), podem ocorrer com valores de precipitação considerados normais.</p>	
COBERTURA VEGETAL	<p>O papel da cobertura vegetal no balanço hídrico implica numa dinâmica da água, nos taludes e encostas naturais, condicionantes de instabilização. Efeitos favoráveis e desfavoráveis da cobertura vegetal em relação à estabilidade das encostas:</p> <p><u>Efeitos favoráveis</u>:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-redistribuição da água proveniente das chuvas: as copas das árvores impedem, em parte, o impacto direto da chuva na superfície do terreno e retardam e diminuem a quantidade efetiva de água que se infiltra no solo; além disso, a evapotranspiração também retira água do solo.</li> <li>-acréscimo da resistência do solo devido às raízes da vegetação de porte arbóreo pode aumentar a resistência do solo pelo esforço mecânico e pelo escoamento (raízes profundas).</li> </ul> <p><u>Efeitos desfavoráveis</u>:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-efeito alavanca: força cisalhante transferida pelos troncos das árvores ao terreno, quando suas copas são atingidas por ventos.</li> <li>-efeito cunha: pressão lateral causada pelas raízes ao penetrar em fendas, fissuras e canais do solo ou rocha.</li> <li>-sobrecarga vertical: causada pelo peso das árvores. Pode ter um efeito benéfico ou não, na estabilidade em vista da inclinação das encostas e das características do solo.</li> <li>-efeito funil: as bananeiras são prejudiciais à estabilidade, pois facilitam a infiltração de água no solo, funcionando como um funil natural.</li> </ul>	
AÇÃO ANTRÓPICA	<p>O homem é o principal agente modificador da dinâmica das encostas. O avanço das diversas formas de uso e ocupação para áreas naturalmente susceptíveis aos movimentos de massa, acelera e amplia os processos de instabilização. Principais interferências antrópicas indutoras de escorregamentos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-remoção da cobertura vegetal;</li> <li>-lançamento e concentração de águas servidas;</li> <li>-vazamento na rede de abastecimento, esgoto e presença de fossas;</li> <li>-execução de cortes com geometria inadequada (altura e inclinação);</li> <li>-execução deficiente de aterros (compactação, geometria, fundação);</li> <li>-lançamento de entulho e lixo nas encostas;</li> <li>-vibrações produzidas por tráfego pesado, explosão, etc.</li> </ul>	

### 5.3 Geotecnologias

O uso de geotecnologias para a prevenção de desastres naturais é de fundamental importância nos trabalhos desenvolvidos com movimentos de massas. A deflagração dos escorregamentos envolvem grande número de variáveis geofísicas, como vegetação, precipitação, geomorfologia, entre outros, além das variáveis humanas, como população, ocupação do solo, pobreza, etc. Sendo assim, os planos preventivos contemplam um enorme volume de dados que precisam ser coletados, organizados, armazenados e analisados para serem transformados em informações, a fim de serem aplicadas em projetos de prevenção (CARTER, 1996 apud MARCELINO, 2007).

Desta maneira, a partir da manipulação dos dados por meio das geotecnologias, consegue-se obter informações em pouco tempo e com baixo custo, correlacionando informações de dados espaciais multi-fontes, com a finalidade de avaliar as interações existentes entre as variáveis, elaborando modelos preventivos que contribuem para as tomadas de decisões (CARTER, 1996 apud MARCELINO, 2007).

#### 5.3.1 Sensoriamento Remoto

Segundo Novo (2010), o Sensoriamento Remoto é a utilização conjunta de sistemas sensores com equipamentos para processamento e transmissão de dados, com a finalidade principal de analisar eventos, fenômenos e processos que ocorrem na superfície da Terra, a partir de interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que o compõem.

De maneira geral o Sensoriamento Remoto refere-se à obtenção de dados a distância, sem o contato físico com os objetos de estudo.

Os sensores podem ser classificados como ativos e passivos. Os sensores passivos ou ópticos detectam a energia originada de uma fonte externa, enquanto os sensores ativos ou radares detectam a energia originada por uma fonte própria (NOVO, 2010).

As imagens de satélite são caracterizadas por três resoluções distintas: a resolução temporal, espacial e espectral (NOVO, 2010; FLORENZANO, 2002).

- ✓ Resolução Temporal: refere-se ao intervalo de tempo que o sensor leva na obtenção de duas imagens da mesma área da superfície terrestre. Permite a coleta de informações em diferentes épocas do ano e em anos distintos, facilitando os estudos de uma região.
- ✓ Resolução Espacial: Está relacionada ao tamanho do pixel e é o tamanho da menor feição possível de ser detectada pelo sensor. Permite a aquisição de informações em diferentes escalas, desde as regionais até locais.

- ✓ Resolução Espectral: É a medida da largura das faixas espectrais ou bandas, ressaltando que quanto mais estreitas essas faixas maior será a sensibilidade do sensor na distinção entre as variações do comportamento espectral do alvo. A resolução radiométrica refere-se à capacidade em distinguir variações do nível de energia proveniente do alvo e permite a obtenção de informações sobre um alvo na natureza em distintas regiões do espectro eletromagnético.

As principais aplicações do Sensoriamento Remoto são no monitoramento de cobertura da terra e dos processos geomorfológicos, no mapeamento geológico, na área de agricultura e na pesquisa mineral, além do enfoque para estudos de detecção e monitoramento de escorregamentos, podendo utilizar os dados obtidos para avaliar as implicações dos escorregamentos e mapear os fatores condicionantes como cobertura vegetal, formas e uso da terra, entre outros (MARCELINO, 2004).

### 5.3.2 Sistema de Informação Geográfica (SIG)

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) simbolizou uma nova era para a manipulação de dados geográficos, aos quais possibilita a inserção de milhares de atributos em um banco de dados, de maneira sistemática e geograficamente espacializada. É uma tecnologia relativamente nova no Brasil, apareceu por volta de 1964 no Canadá, evoluindo paralelamente com o avanço dos computadores, que conforme foram se desenvolvendo em tecnologia de ponta, possibilitaram que os SIGs se desenvolvessem e aprimorassem em novas funcionalidades.

Segundo Câmara (2005), o SIG é uma ferramenta capaz de realizar o tratamento computacional de dados geográficos, com capacidade de armazenar tantos os atributos descritivos como as geometrias de diferentes tipos de dados geográficos. Outra funcionalidade dessa tecnologia é servir como ferramenta de suporte a tomada de decisão baseando-se em informação espacial.

Diante de todas as funcionalidades do SIG juntamente com as técnicas de geoprocessamento, este se apresenta como um poderoso instrumento para subsídio nas análises de áreas de riscos, permitindo o cruzamento de informações e auxiliando no planejamento urbano e regional.

### 5.3.3 Análise Multicritério

Segundo Francisco et al. (2008), a análise multicritério consiste em uma ferramenta matemática que permite ao usuário ou pesquisador reunir características diversas, atribuir pesos e valores a estas, com o objetivo principal de auxiliar à tomada de decisão. A escolha dos critérios deve ser em função dos objetivos do estudo.

Ao trabalhar com esta ferramenta é necessário definir quais serão os fatores condicionantes para que um determinado processo aconteça, e a esses fatores são atribuídos pesos para o cruzamento dos dados, como na Figura 10 abaixo:

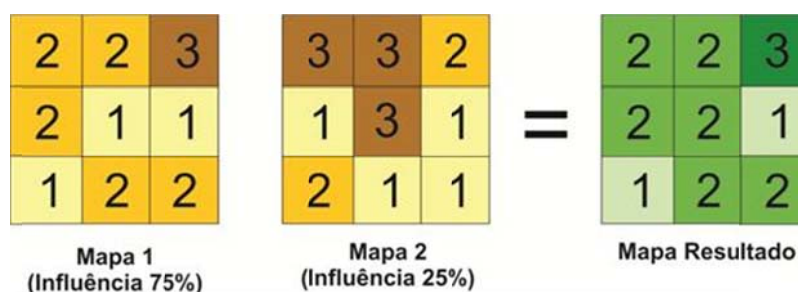


Figura 10: Ilustração da operação realizada pela análise multicritério. (Adaptado de ESRI, 2006 apud Vidotti, 2007)

Considerando o exemplo exposto na Figura 10, as classes do Mapa 01 e do Mapa 02 foram anteriormente atribuídos pesos numa escala de valores de 1 a 3; esses valores de peso caracterizam a influência que cada fator possui no processo e para este fim é necessário o suporte da literatura e uma equipe multidisciplinar para analisar os pesos necessários para cada fator.

Segundo Vidotti (2007), os valores dos pixels são multiplicados pela porcentagem de influência de cada fator e depois somados na criação do arquivo *raster* de saída (Mapa resultado). Vidotti (2007) explica como é realizado o cruzamento dos mapas para gerar o mapa resultado, considerando a célula do canto superior esquerdo, o cálculo para os valores do pixel de saída será calculado da seguinte maneira  $(2 \cdot 0,75) = 1,5$  e  $(3 \cdot 0,25) = 0,75$ . A soma de 1,5 e 0,75 é 2,25. Os valores dos pixels de saída sempre devem ser números inteiros, então neste caso o valor final é arredondado para 2.

Para o uso desta técnica deve-se ter extremo cuidado, pois por permitir cruzar dados de fontes diferentes os mapas resultados devem ser avaliados criteriosamente, para verificar a consistência e limitações dos mesmos.

#### 5.3.4 Imagens do Google Earth®

As imagens do Google Earth® apresentam algumas distorções geométricas, e, portanto, deve-se ter cautela no seu manuseio, considerando a precisão necessária para a realização do mapeamento. Sendo assim, o presente trabalho fundamentou-se na pesquisa de Lopes (2009), para avaliar se as imagens do Google teriam a qualidade pretendida no final da pesquisa.

Lopes (2009) realizou uma pesquisa para avaliar a qualidade geométrica e a qualidade de registro (georreferenciamento) das imagens do Google Earth®. Para chegar ao resultado, utilizou três testes baseados nos tipos de representação vetorial (ponto, linha e área) (ponto, linha, área e posição). Comparou os dados interpretados na imagem do banco de dados do Google Earth® com as informações da base cartográfica em escala 1: 2.000 do município de Barbacena/MG, trabalhando com análises estatísticas e equipamentos de levantamentos topográficos de precisão.

Lopes (2009) obteve resultados expressivos sobre a qualidade geométrica das três avaliações realizadas (avaliação pontual, de distâncias e de áreas), com valores que indicaram a fidelidade geométrica entre a imagem analisada e a base cartográfica. Apesar de a primeira possuir um desvio padrão considerável, o desvio padrão das distâncias dos deslocamentos é relativamente imperceptível. Vale ressaltar que os parâmetros obtidos na imagem do Google podem ser diferentes em outras áreas, pela existência de registros diferentes ou até por virem de épocas distintas.

Como, no presente trabalho, a finalidade dos produtos sensores do Google Earth® foi apenas apresentar a mudança da drenagem posterior aos eventos de escorregamentos, sem considerar os atributos de precisão cartográfica, as imagens do referido software atenderam satisfatoriamente o objetivo principal.

## 6 HISTÓRICO DO DESASTRE

Entre os dias 11 e 12 de janeiro de 2011 ocorreu o Megadesastre na região serrana do Estado do Rio de Janeiro, refletindo em centenas de escorregamentos em sete municípios do Estado, com cerca de três mil vítimas entre mortos e desaparecidos (RODRIGUES et al., 2011; LIMA, 2013).

O movimento de massa destacado neste trabalho refere-se à corrida de detritos que ocorreu no alto curso do rio Vieira, em Teresópolis, com alcance de 7,5 km, largura de 30 a 150m, 4 metros de espessura média, causando 86 mortes no bairro do Vieira e a destruição de casas e lavouras da zona rural do alto do Vieira. O fluxo gravitacional de massa teve início na cota 1750 m, na nascente do rio Vieira se estendendo até o fim da sua planície de inundação, na cota 900 m (LIMA, 2013).

O fluxo de massa deflagrado expôs, por cerca de 2.000 m de extensão, o leito rochoso original do rio (RODRIGUES et al., 2011).

Segundo Lima e Amaral (2011) apud Rodrigues et al (2011, p. 157), “o fluxo foi caracterizado como uma onda formada por uma frente rochosa, constituída principalmente por blocos; pelo corpo, uma massa de detritos numa matriz mais ou menos viscosa; e pela cauda, com fluxo turbulento de carga de sedimentos dissolvidos em água.”

Segundo Rodrigues et al. (2011), na cabeceira da drenagem constatou-se depósitos de talus pretéritos que foram parcialmente removidos, enquanto blocos e matacões foram transportados até a planície aluvionar a jusante.

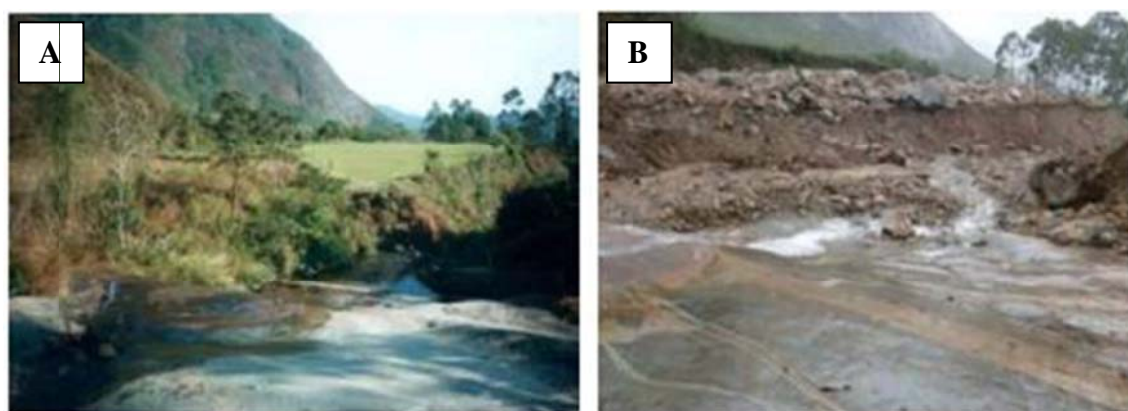
O fluxo ganhou densidade e viscosidade ao ultrapassar uma “garganta natural”, com largura de 15 m, altura de 40 m e inclinação negativa, localizado na cota 1400 m (Figura 11). Após romper este barramento, o fluxo mobilizou detritos acumulados nas laterais do canal de drenagem, entre depósitos oriundos de corridas passadas e detritos do fundo do canal (LIMA, 2013).





Figura 11: "Barramento natural"; zona de acúmulos de influxos de sedimentos oriundos de antigos depósitos (LIMA, 2013).

A frente do fluxo gravitacional se depositou num campo de futebol na cota 1250 m, (Figura 12), localizado as margens do canal e a jusante de um lajedo rochoso conhecido como Cascata.



**Figura 12:** A foto "A" mostra o campo de futebol ao fundo antes do desastre e a foto "B" após o desastre. (LIMA, 2013)

Entre as cotas 1.000 m e 900 m ocorreu a deposição de extensos e espessos materiais arenosos nos leques do canal, devido possivelmente à redução da viscosidade da corrida de massa; neste ponto o fluxo começou a transportar somente partículas finas e água, com características de uma corrida de lama de alta velocidade (LIMA, 2013).

O fator deflagrador da corrida de massa do Vieira foi a chuva intensa (LIMA & AMARAL, 2011). Segundo as informações coletadas junto aos moradores no trabalho realizado por Lima (2013), a chuva intensa aconteceu na madrugada do dia 12 de janeiro de 2011, ocorrendo em dois pulsos, à 01h00min e à 03h30min.



Na localidade do Vieira não existiam estações meteorológicas, impossibilitando a obtenção dos dados de precipitação no dia do acidente, entretanto, no período dos desastres da Região Serrana estava em operação o Sistema de Alerta de Cheias INEA, estação de rede convencional do Instituto Estadual do Ambiente (INEA) do estado do Rio de Janeiro, localizado no município de Nova Friburgo (Estações Nova Friburgo, Pico Caledônia, Torres, Sítio Santa Paula, Olaria e Ypu); e a estação automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) Nova Friburgo. Com os dados da estação do INEA foi possível obter os valores de precipitação nos dias 11 e 12 de janeiro de 2011.

Segundo Dourado et al. (2013) os valores de pluviometria variam muito entre as estações, devido a topografia da região e os efeitos da microclimatologia local (Gráfico 2). Deste modo, os dados entre as estações são divergentes, destacando-se:

- ✓ Estação Ypu - os dados de pluviometria indicam que o acumulado do mês de janeiro até o meio-dia do dia 11 era de 114,4 mm, nas doze horas seguintes esta estação marcou 106,4 mm de chuva, fornecendo um acumulado das 24 horas de 222,8 mm, com um pico de 61,8 mm em uma hora à meia-noite. O mês de janeiro teve um total acumulado de 329,2 mm até às 06 horas do dia 12.
- ✓ Estação Sítio Santa Paula – a precipitação acumulada nesta estação no dia 12 de janeiro foi de 240,0 mm, com um pico máximo em uma hora de 50,0 mm, com um valor acumulado mensal de 573,6 mm.
- ✓ Estação Olaria – no intervalo de 24 horas do dia 12 de janeiro o valor acumulado foi de 241,8 mm com pico de 54,8 mm no intervalo de uma hora, com um acumulado de 311 mm no mês.
- ✓ Estação Nova Friburgo - no intervalo de 24 horas do dia 12 de janeiro, o valor acumulado foi de 182 mm em 24 horas, com um pico de 40 mm em uma hora e um acumulado mensal de 480,8 mm.

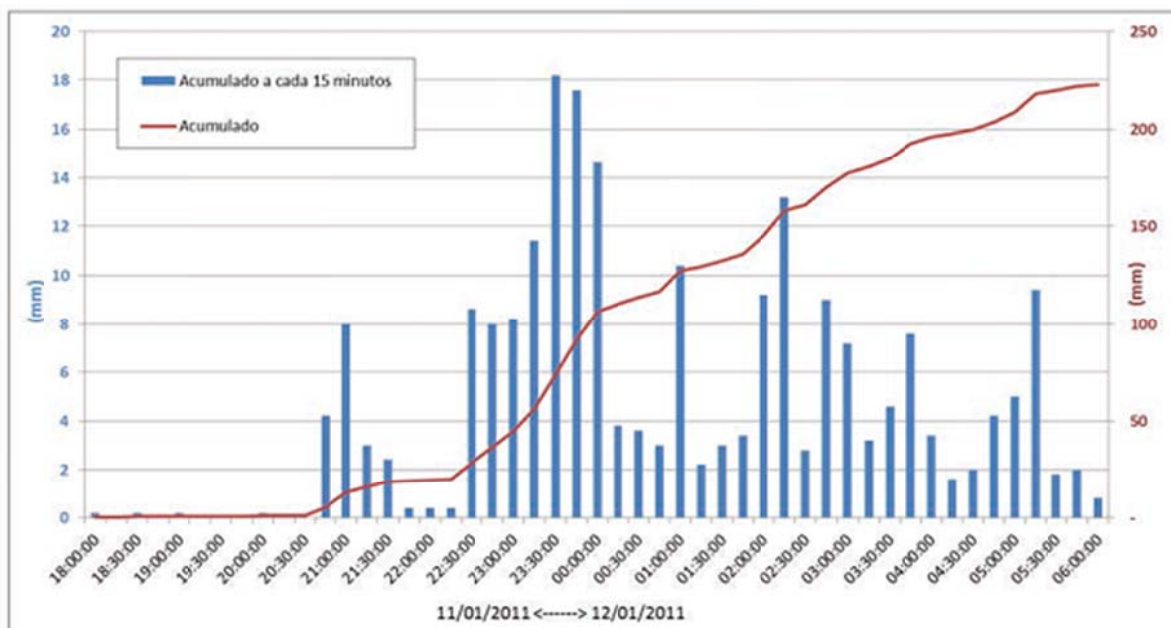


Gráfico 2: Pluviometria entre dos dias 11/01/2011 e 12/01/2011 Fonte: Dourado et al. (2013)

Com a análise do mapa consegue-se constatar que o período de chuva com maiores picos de precipitação ocorreram entre as 22h30min até 00h00min. Segundo Dourado et al (2013), o evento climático foi extremo, em que se registrou em uma das estações pluviométricas da região (Olaria) 241,8 mm de chuva acumulada nas 24 horas do dia do evento, com um pico máximo de 61,8mm/hora à meia noite deste dia na estação pluviométrica de Ypu (INEA).

## 7 MATERIAL E MÉTODOS

### 7.1 Material

Para a realização do presente trabalho de conclusão do curso foram utilizados os seguintes documentos cartográficos e softwares:

- ✓ Carta topográfica no município de Teresópolis, na escala 1:50.000, extraído do IBGE, (1974);
- ✓ Rede de drenagem do município extraída do IBGE (1974);
- ✓ *Software ArcGis®* e extensões *Spatial Analyst*, *3D Analyst* e *ArcScene*, versão 10.0 desenvolvido pela empresa ESRI;
- ✓ Imagens Google Earth® referentes as datas 29/07/2010 e 19/01/2011;
- ✓ Mapa geológico extraído de CPRM (2009), na escala de 1:100.000.

Os dados de campo, como as descrições e interpretações da geomorfologia, geologia e o acervo fotográfico, foram retirados dos levantamentos realizados na bacia do Vieira pelo DRM (2011), Rodrigues (2011) e Lima (2013).

### 7.2 Procedimentos Metodológicos

As etapas de trabalho adotadas nesta monografia estão detalhadas nos itens a seguir.

#### 7.2.1 Levantamento Bibliográfico

A primeira etapa estabelecida para a elaboração desta monografia foi o levantamento bibliográfico, a qual perdurou durante toda a pesquisa, selecionando as literaturas referentes à temática do trabalho e o levantamento de mapas já existentes da área.

Vale ressaltar a importância desta etapa para a elaboração do trabalho acadêmico, pois permitiu o contato com outras literaturas evidenciando o contexto metodológico fundamental para a validação da pesquisa.

### 7.2.2 Georreferenciamento

Uma das etapas da pesquisa foi o georreferenciamento das imagens do Google Earth®, ou seja, a transformação geométrica que relaciona as coordenadas da imagem (linha e coluna) com coordenadas geográficas (INPE, 20??).

Nesta pesquisa foram utilizadas duas imagens do Google Earth®, uma de 29/07/2010 e a outra de 19/01/2011, anterior e posterior ao desastre respectivamente.

Para o georreferenciamento foram coletados 15 pontos de controle, tendo como referência as próprias coordenadas do Google Earth®; o erro geométrico foi de 2,41 metros para a imagem de 19/01/2011 e 2,75 metros para a imagem de 29/07/2010.

De acordo com o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC), Decreto de Lei nº 89.817 de 1984, as imagens georreferenciadas atendem ao PEC classe A para escala de 1:50.000, pois as variações máximas ficou abaixo de 1/5 do valor da escala do mapa.

### 7.2.3 Carta de Declividade

A carta de declividade foi gerada a partir dos dados topográficos da carta topográfica Teresópolis na escala 1:50.000 do IBGE (1999). Com as curvas de nível e os pontos cotados foi gerado uma rede triangular irregular (*Triangulated Irregular Network* - TIN) com a ferramenta *Create TIN From Features* da extensão *3D Analyst* no ArcMap (ArcGis®). A partir do TIN foi gerado um Modelo Digital de Elevação (MDE) no formato *raster* com o interpolador *Topo to Raster* da extensão *Spatial Analyst* no ArcMap (ArcGis®) com tamanho da célula de 10 m. Com a ferramenta *Slope* também da extensão *Spatial Analyst* foi gerada a carta de declividade, também com o mesmo tamanho de célula (10 m).

Para o fatiamento das classes de declividade utilizou-se duas metodologias propostas na literatura, do IPT (SCHIRMER & TRENTIN, 2013) e do Hertz. & De Biasi (1989). Para fins desta pesquisa foi realizado um rearranjo das duas propostas integrando-as para melhor adequação aos objetivos. No intervalo proposto pelo IPT (SCHIRMER & TRENTIN, 2013):

- ✓ Declividades < 5% correspondem às áreas com baixa declividade, em que se registram processos deposicionais;
- ✓ Entre 5% e 15% o processo erosivo começa a ser significativo, e essa faixa define o limite máximo para o emprego da mecanização na agricultura; são áreas propícias à ocorrência de processos de movimentos de massas.

A partir de declividades superiores a 15%, a metodologia proposta nesta pesquisa baseou-se em Hertz. & De Biasi (1989), abordando as seguintes classes:

- ✓ Entre 15% e 30% - o limite de 30% é definido por legislação federal – Lei n° 6766/79 (BRASIL, 1979) – Lei Lehmann, que define o limite máximo de urbanização sem restrições, a partir do qual toda e qualquer forma de parcelamento far-se-á através de exigências específicas;
- ✓ Entre 30% e 47% - define o limite de 25° (47%) pelo código florestal, como limite de corte raso, a partir do qual a exploração só será permitida se sustentada por cobertura de florestas. Lei n° 4771/65 de 15/09/65 (BRASIL, 1965);
- ✓ Declividades > 47% - entre 25° (47%) e 45° (100%) a lei n° 12.651, de 25 de maio de 2012, em seu artigo 11, dispõe sobre as condições para o uso do solo (BRASIL, 2012):

“Em áreas de inclinação entre 25° e 45°, serão permitidos o manejo florestal sustentável e o exercício de atividades agrossilvipastoris, bem como a manutenção da infraestrutura física associada ao desenvolvimento das atividades, observadas boas práticas agronômicas, sendo vedada a conversão de novas áreas, excetuadas as hipóteses de utilidade pública e interesse social.”

Depois de elaborado o mapa de declividade, foi necessário realizar o recorte do limite da bacia hidrográfica do Vieira, utilizando a ferramenta *Extract by mask* da extensão *Spatial Analyst*.

#### 7.2.4 Mapa de Formas de Vertente

A partir do mesmo MDE descrito no item anterior, foi produzido o mapa de formas de vertentes, através da ferramenta *Curvature* da extensão *Spatial Analyst* no ArcMap (ArcGis®) com tamanho da célula de 10 m.

Após a confecção do mapa, observou-se que este apresentou muitas áreas espúrias, e frente ao problema utilizou-se a ferramenta *Filter* da extensão *Spatial Analyst*, a qual realiza uma varredura em toda a imagem para reduzir o número de *pixels* isolados e “suavizar” a imagem classificada (LIMA et al. 2011).

Para o fatiamento das classes desse mapa utilizou-se como referência a divisão de classes proposta por Valeriano (2003). O intervalo entre  $-0,55\% \text{ m}^{-1}$  a  $+0,55\% \text{ 100m}^{-1}$  refere-se a vertentes retilíneas, abaixo desse valor as vertentes são côncavas e, acima, convexas. Para elaborar essa proposta Valeriano (2003) realizou vários testes em mapas, comparações com as cartas topográficas, observações dos perfis de vertentes para todas as áreas avaliadas em seu estudo, fundamentos da literatura geomorfológica e o conhecimento do próprio pesquisador.

### 7.2.5 Mapa das Áreas de Cicatrizes e Deposição

Para a confecção desse mapa foi necessário, primeiramente, o mapa de drenagem e as curvas de nível na escala de 1: 50.000, extraídos e vetorizados da carta topográfica de Nova Friburgo retirado do IBGE (1974). Além desses vetores, foram necessárias duas imagens de satélite do Google Earth®, uma antecedente ao desastre (29/07/2010) e outra posterior (19/01/2011), a fim de delimitar polígonos das áreas de cicatrizes e deposição nas imagens. Para a vetorização das drenagens utilizou-se a ferramenta *Sketch Tool* do ArcGis®.

Entretanto, as drenagens extraídas da referida carta topográfica não estavam totalmente adequadas com o cenário da área de estudo, sendo necessário para correção, ajustar toda a rede de drenagem de forma manual utilizando as imagens do Google Earth®.

A partir de uma interpretação visual das feições identificadas na imagem datada de 19/01/2011, delimitou-se os polígonos das áreas de cicatrizes e deposição da bacia do Vieira, usando como suporte as curvas de nível na escala de 1:50.000.

### 7.2.6 Mapa de Suscetibilidade a Movimentos de Massas

O mapa de suscetibilidade a movimentos de massas foi também confeccionado no *software* ArcGis®, com base na análise multicritério. Para determinar a suscetibilidade da área de estudo, foram considerados três fatores condicionantes a movimentos de massa: declividade das encostas, geologia e formas de vertente.

Com os mapas de declividade, geologia e formas de vertente finalizados, foi possível reclassificar as classes por ordem numérica, ou seja, atribuiu-se um valor numérico para cada classe criada em cada mapa, sendo que tais valores variavam conforme o número de classes, de 1 a 5. Para a definição dos valores foi utilizado a ferramenta *Reclassify* a extensão *3D Analyst* do ArcGis®. Tal procedimento foi necessário para simplificar a subdivisão das classes dos mapas temáticos, atribuindo um valor inteiro para cada intervalo de classe, incluindo todos os valores contidos em tais classes.

Após a etapa de reclassificação deu-se início a etapa de Análise Multicritério utilizando a ferramenta *Weighted Overlay* da extensão *Spatial Analyst*, a fim de atribuir os pesos de influência para cada classe de cada mapa. Os pesos foram definidos de acordo com as características físicas da área, considerando os fatores condicionantes responsáveis por deflagrar o fenômeno de corrida de detritos. A partir de uma análise multidisciplinar com outros profissionais avaliando o cenário, foi possível atribuir os seguintes pesos para cada classe (Tabela 6 a Tabela 8).

Tabela 6: Pesos atribuídos para cada classe de declividade

<b>Carta de Declividade</b>	
< 5%	1
5 – 15%	3
15 -30%	4
30 – 47%	8
47%	7

Tabela 7: Pesos atribuídos para cada classe de forma de vertente

<b>Mapa de Formas de Vertente</b>	
Retilíneo	8
Côncavo	4
Convexo	2

Tabela 8: Pesos atribuídos para cada classe de geologia

<b>Mapa de Geológico</b>	
Depósito Colúvio-Aluvionar	1
Suíte Nova Friburgo	8
Suíte Serra dos Órgãos	4
Suíte Cordeiro	2

Outro passo da análise multicritério é a atribuição da influência (em porcentagem) para cada mapa temático inserido na análise. Esses valores representaram os fatores condicionantes em ordem sequencial de importância, do fator que mais influencia ao que menos influencia na deflagração do fenômeno de movimentos de massa. Foram realizados vários cenários com influências e pesos diferentes, até chegar a um mapa mais fidedigno com a realidade observada em campo. As influências de cada fator condicionante estão representadas na Tabela 9.



Tabela 9: Influência de cada fator condicionante para a deflagração do fenômeno

Influência em %	
Mapa Geológico	35 %
Mapa de Formas de Vertente	20 %
Carta de Declividade	45 %

## 8 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os resultados e discussões com base nos mapas produzidos, como: mapa de declividade, formas de vertente, geológico, mapa das áreas de cicatrizes e deposição, mapa de susceptibilidade a movimentos de massa e mapa geológico compilado da literatura. As informações obtidas foram integradas para caracterizar as áreas susceptíveis a movimentos de massa e comparar com o cenário pós desastre.

### 8.1 Mapa de Declividade

Como já enfatizado anteriormente no item 5.1 referente a geomorfologia, o município de Teresópolis/RJ possui um relevo bastante acidentado, no domínio do Planalto da Região Serrana, caracterizado predominantemente por morros elevados e, subordinadamente, por morros baixos e colinas. A partir apenas da análise do mapa de declividade foi possível evidenciar tal afirmação, já que o mesmo apresentou a maioria das vertentes acima de 30% de declividade, como mostra o mapa da Figura 13.

Sendo assim, vale destacar o que foi citado no sub-item 7.2.3. sobre a lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012, que dispõe sobre as condições para o uso do solo em declividades superiores a 25°(47%) (BRASIL, 2012), em que será permitido apenas o manejo florestal sustentável e o exercício de atividades agropastoris, sendo restrita a conversão de novas áreas para ocupação.

Conforme o disposto na lei acima, no artigo 4-IX, as áreas consideradas como de preservação permanente serão:

“...topo de morros, montes, montanhas e serras, com altura mínima de 100 (cem) metros e inclinação média maior que 25°, as áreas delimitadas a partir da curva de nível correspondente a 2/3 (dois terços) da altura mínima da elevação sempre em relação à base, sendo esta definida pelo plano horizontal determinado por planície ou espelho d’água adjacente ou, nos relevos ondulados, pela cota do ponto de sela mais próximo da elevação.”.

Dessa forma, vale salientar que as áreas de cores mais claras do mapa são mais favoráveis a ocupação, enquanto que as representadas pelas cores mais escuras, entre laranja e vermelho, são áreas ocupáveis com restrição e não ocupáveis, respectivamente.

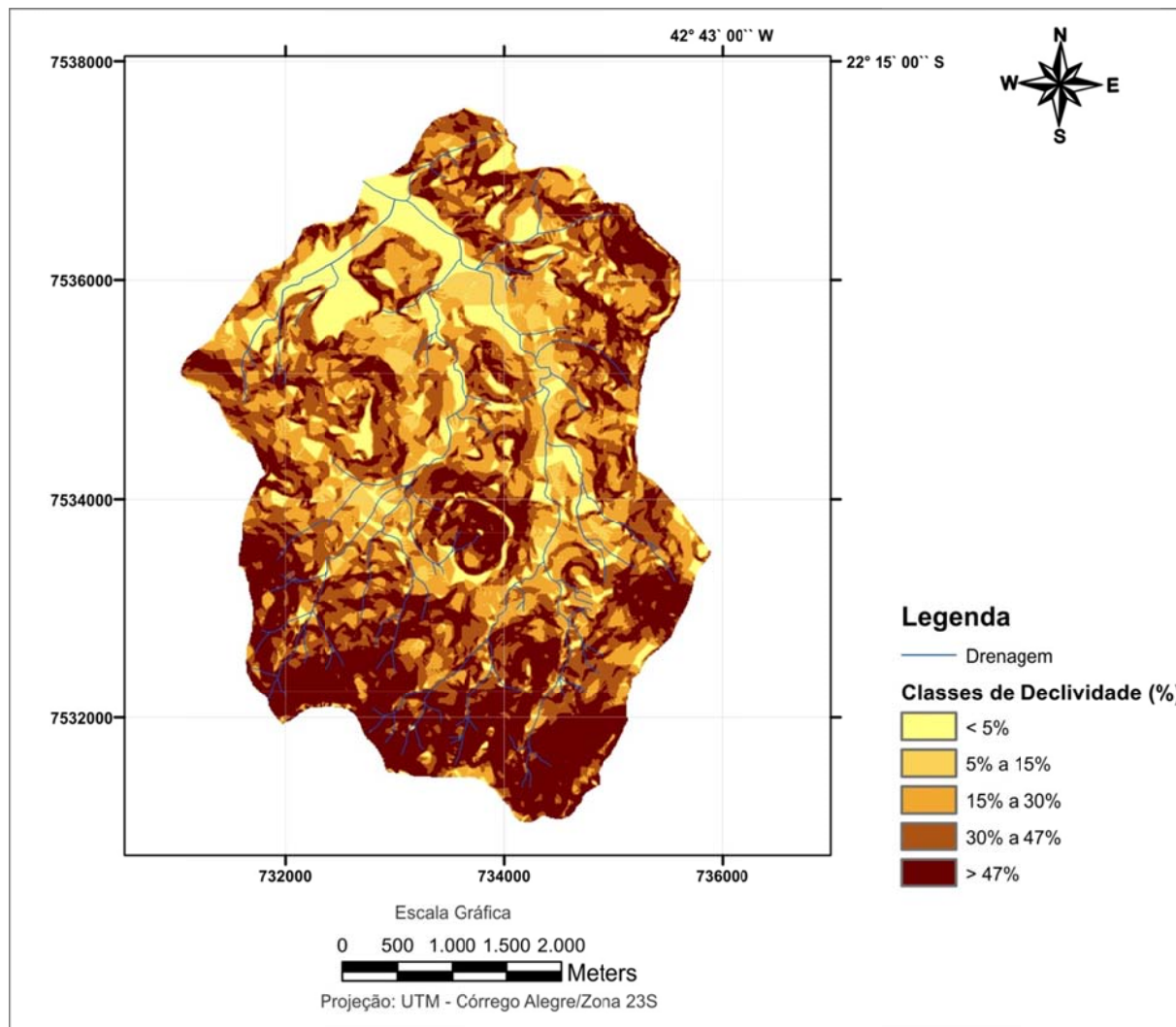


Figura 13: Mapa de Declividade da bacia do rio Vieira, no município de Teresópolis/RJ

Com a análise do mapa foi possível verificar também a predominância de vertentes acima de  $45^\circ$  (100%) de declividade, justificando os resultados levantados pelas equipes do IPT e Serviço Geológico do Estado do Rio de Janeiro (DRM) em 2011, os quais relataram grande ocorrência de blocos e matacões no canal da drenagem, deflagrados pelo fenômeno queda de blocos.

De acordo com os trabalhos do IPT (1986), geralmente o risco de escorregamentos acima de  $45^\circ$  (100%) de declividade é baixo, por não ter mais camada de solo nessa declividade, apenas rocha, contudo, as quedas de blocos podem ser desencadeadas a partir de tal declividade. Foi o que aconteceu na bacia do Vieira, uma sucessão de quedas de blocos que foram transportados no fluxo da corrida de detritos por longas distâncias.

Devido a tal fato foi atribuído um peso alto no mapa de declividade para vertentes com declividades superiores a 47% (25°).

## 8.2 Mapa Geológico da Bacia do Rio Vieira, no Município de Teresópolis/RJ

O mapa geológico na escala de 1:100.000 foi simplificado de CPRM (2009), para auxiliar na interpretação da geologia da bacia do Vieira, como apresentado anteriormente na Figura 02.

Considerando que para esta pesquisa não foi realizado trabalho de campo na área a fim de melhor compreender como foi deflagrado o processo, principalmente em função do tempo decorrido desde o acidente, todos os dados foram baseados nos levantamentos das equipes do IPT e DRM e que culminaram em artigos e na dissertação de Lima (2013), que teve como objetivo principal da sua pesquisa, explicar como foi deflagrado um fenômeno de tamanha magnitude.

Baseando-se no levantamento geológico de detalhe realizado por Rodrigues et al (2011), foi encontrado na cabeceira da bacia na Suíte Nova Friburgo, o Biotita Granito Mesocrático, que por conta de suas características de mineralogia, textura e estrutura, confere uma certa susceptibilidade à formação de blocos nas encostas devido ao intemperismo, fato este evidenciado pela observação de grande quantidade de blocos e matacões nos leitos de drenagem após o acidente, que somado a outros fatores, criou o cenário ideal para que um fenômeno de grande magnitude ocorresse, sendo atribuído um peso maior para esta classe.

Além dessa formação, foram descritas mais duas suítes encontradas na bacia, a Suíte Cordeiro e Serra dos Órgãos. Na Suíte Cordeiro, foi encontrada a Biotita Gnaisse Migmatítico. Para essa rocha, em função de suas características, principalmente a textura e estrutura, foi atribuído um peso menor para esta classe.

Por fim, a Suíte Serra dos Órgãos, caracterizada pela Biotita Gnaisse Homogêneo, também em função de suas características, um meio termo entre o granito mais homogêneo e o gnaisse fortemente estruturado, foi atribuído um peso intermediário para esta classe.

### 8.3 Mapa de Formas de Vertente da Bacia do Rio Vieira - Teresópolis/RJ

O mapa de formas de vertente foi dividido em três classes: côncavo, convexo e retilíneo (Figura 14). Analisando o mapa gerado para a área, observou-se uma predominância de vertentes retilíneas e côncavas, como evidencia a tabela 10, justamente as vertentes que mais influenciam no processo de movimentos de massa (AUGUSTO FILHO, 1992). Os resultados confirmaram o esperado, que nas áreas de vertentes côncavas e retilíneas ocorressem maiores processos de escorregamentos do que nas vertentes convexas. Tal fato deve-se as características pedológicas das vertentes côncavas e convexas, que favorecem a formação de solos menos espessos e apresentam, na maior parte das vezes, declividades superiores (AUGUSTO FILHO, 1992).

Côncava	24,92 %
Convexa	24,86%
Retilínea	50,22%

Tabela 10: Quantitativo (porcentagem em área) das formas de vertentes presentes na área de estudo

Vale ressaltar que a resolução do mapa de formas de vertente (células de 10 m) não é totalmente adequando para geração de tal produto; o ideal seria uma malha mais refinada da área, entretanto, considerando a escala de 1:50.000 dos dados topográficos originais disponíveis, o refinamento para células menores que 10m (100 m de área) gerou muitos ruídos no mapa, mesmo com a aplicação de filtros passa-baixa. Contudo, mesmo nessa resolução, conseguiu-se o resultado esperado, a predominância de vertentes côncavas e retilíneas nas áreas que mais apresentaram processos de movimentos de massa.

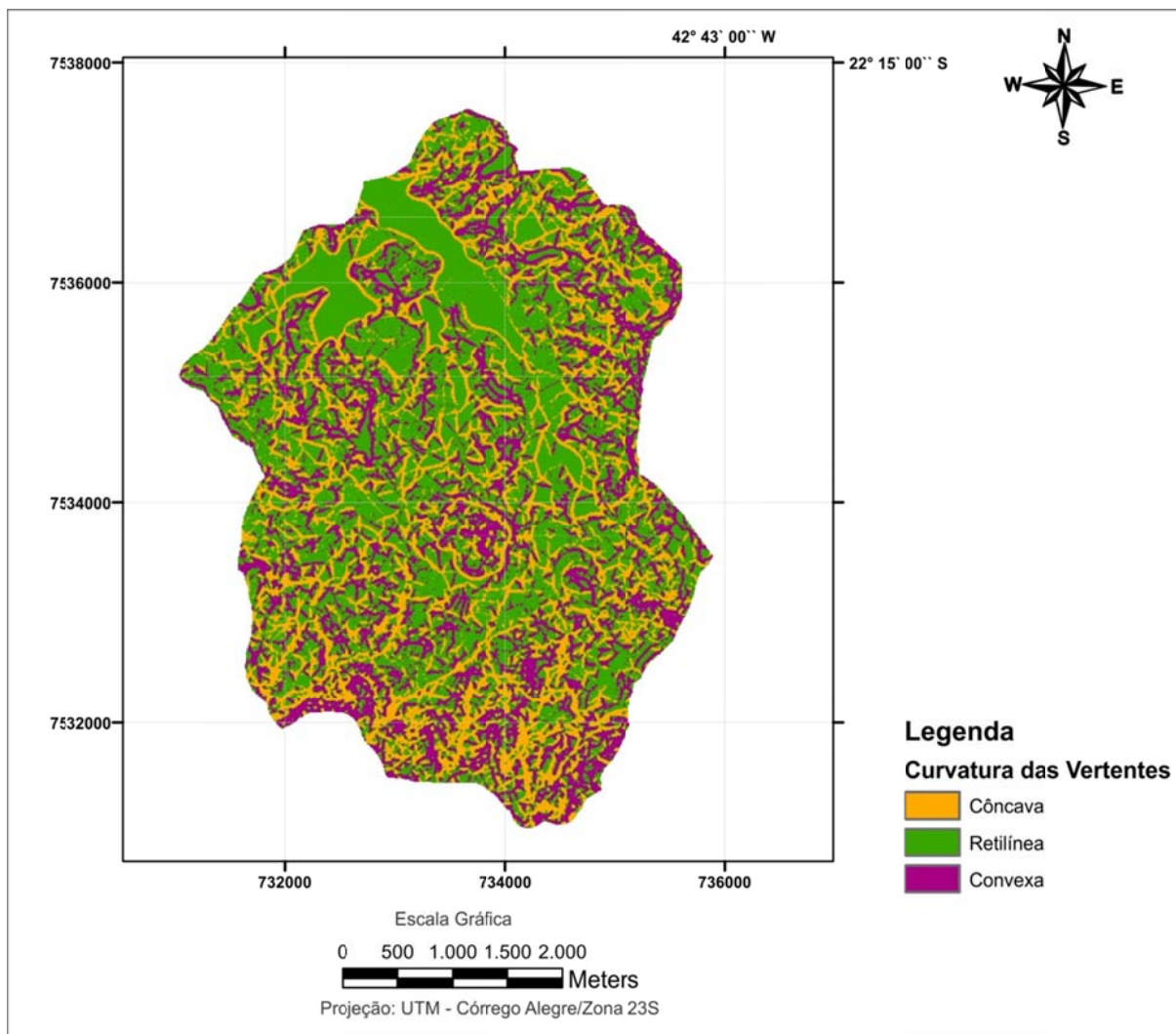


Figura 14: Mapa de formas de vertente da bacia do rio Vieira - Teresópolis/RJ

#### 8.4 Mapa das áreas de cicatrizes e de deposição

O mapa das áreas de cicatrizes e de deposição elaborado conforme descrito no subitem 7.2.5, permite observar uma série de informações. A partir da confecção desse mapa pode-se comparar as diferenças do cenário antes e depois dos movimentos de massas, como apresentado na Figura 15, e com maior detalhe na Figura 16.

Observa-se na Figura 15 a imagem do Google Earth® de 29/07/2010, como a drenagem do Vieira era encaixada, com extensas áreas rurais nas margens do rio. Ao compará-la com a imagem de 19/01/2011 (pós-desastre), outro cenário é apresentado, a linha amarela representa toda a área com sedimentos depositados pós-desastre, evidenciando que as construções e plantações da margem do rio foram todos afetados pelo fluxo da corrida de detritos. Os polígonos vermelhos apresentam todas as áreas onde ocorreram processos erosivos.



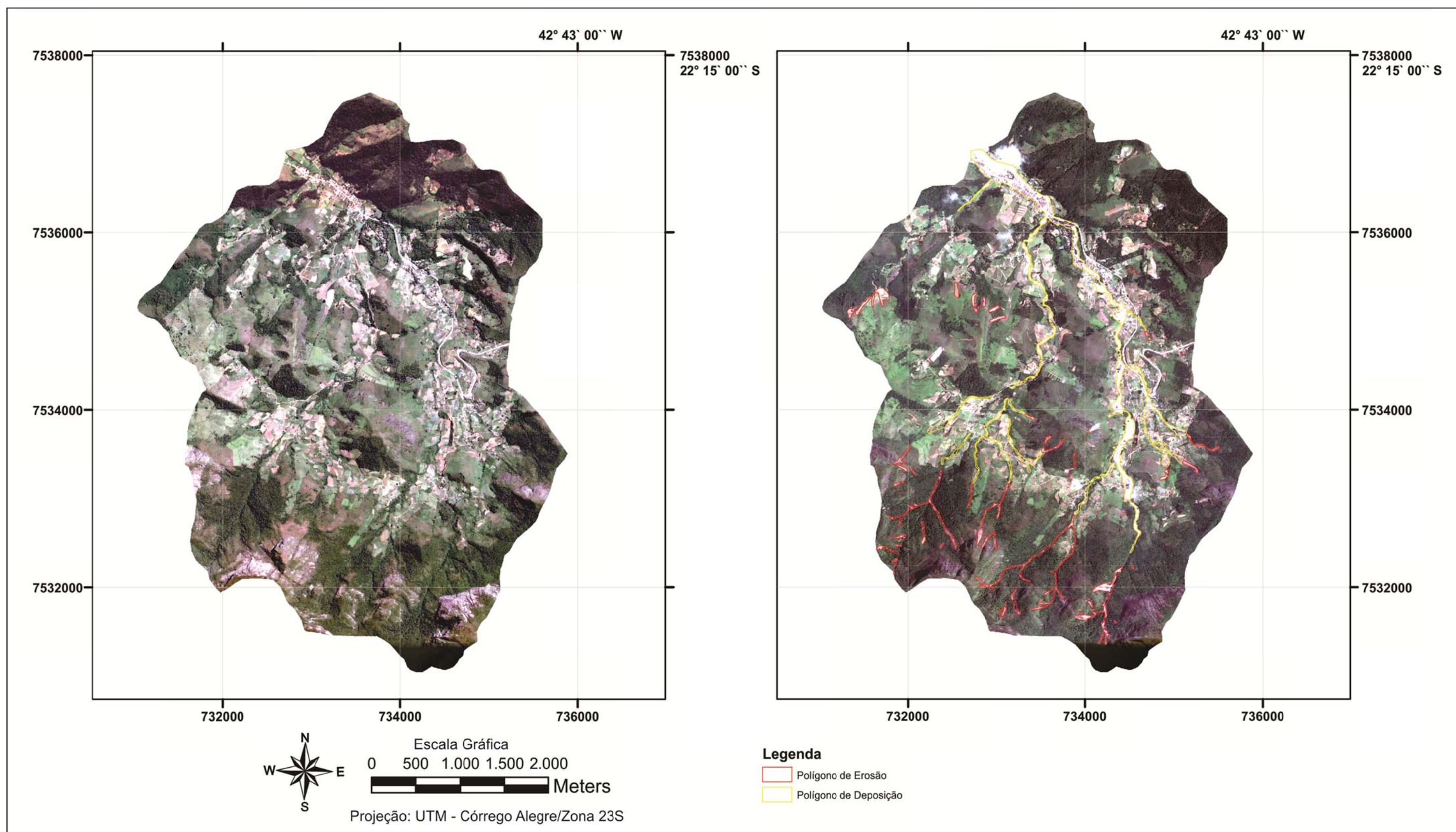


Figura 15: Comparação entre as imagens anterior e posterior ao desastre



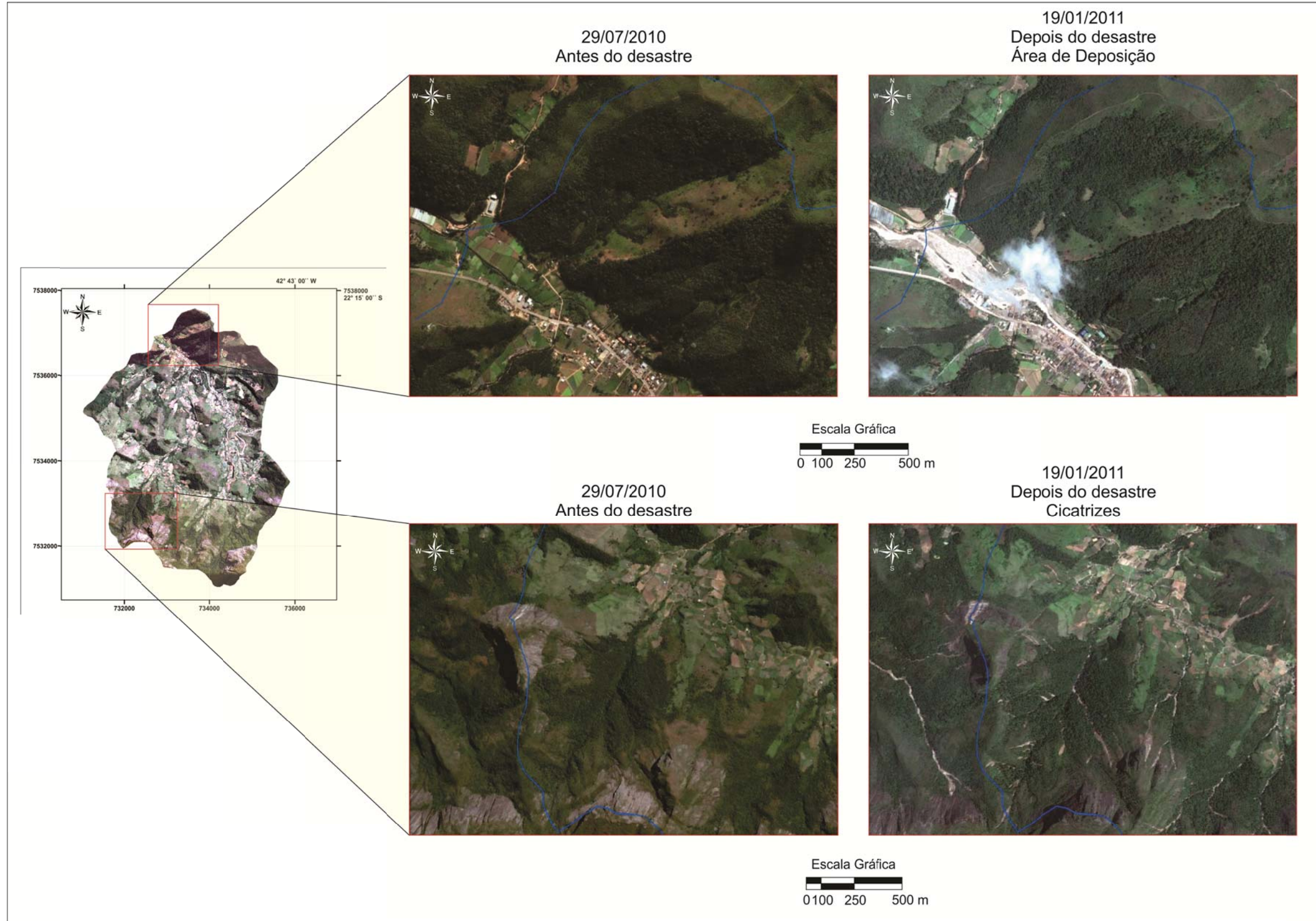


Figura 16 : Comparação entre as imagens em detalhe anterior e posterior ao desastre.

Na Figura 17, apresenta-se apenas o mapa das áreas de cicatrizes e deposição, com os polígonos das áreas de cicatrizes e deposição. As áreas sem a delimitação de polígonos correspondem aos trechos aonde o material foi transportado pelo fluxo, não sendo observado nem cicatriz, tampouco deposição.

Os polígonos que representam a deposição estão localizados nas áreas mais planas, de fundo de vale, por vezes acompanhando a própria planície de inundação da drenagem. A partir do trabalho de Lima (2013), foi possível identificar o tipo de material depositado na porção mais próxima do sistema (Alto Vieira), como depósitos de matações métricos de gnaiss migmatíticos e granitos, areias médias a grossas desorganizadas; areais maciças ou sem estrutura com lama e clastos líticos, clastos de lama de até 4 cm retidos por diques. Enquanto na porção média inferior da encosta, com uma inclinação mais reduzida, encontraram-se depósitos de clastos suportados, com grãos de areia fina a grossa.

Conforme a diminuição da inclinação da encosta, encontraram-se depósitos referentes ao fluxo de lama.

Os polígonos que denotam as cicatrizes se concentraram justamente nas vertentes mais íngremes, a partir de 30% de declividade, confirmando dessa maneira que a declividade é um dos principais fatores condicionantes aos movimentos de massa. Conforme a Tabela 11, aproximadamente 61% da área de todos os polígonos de erosão está em vertentes acima de 47% de declividade, valendo lembrar que nessa situação ocorreu predominantemente queda de blocos, sendo assim, os polígonos de erosão representam tanto escorregamentos como áreas evidenciadas por queda de blocos.

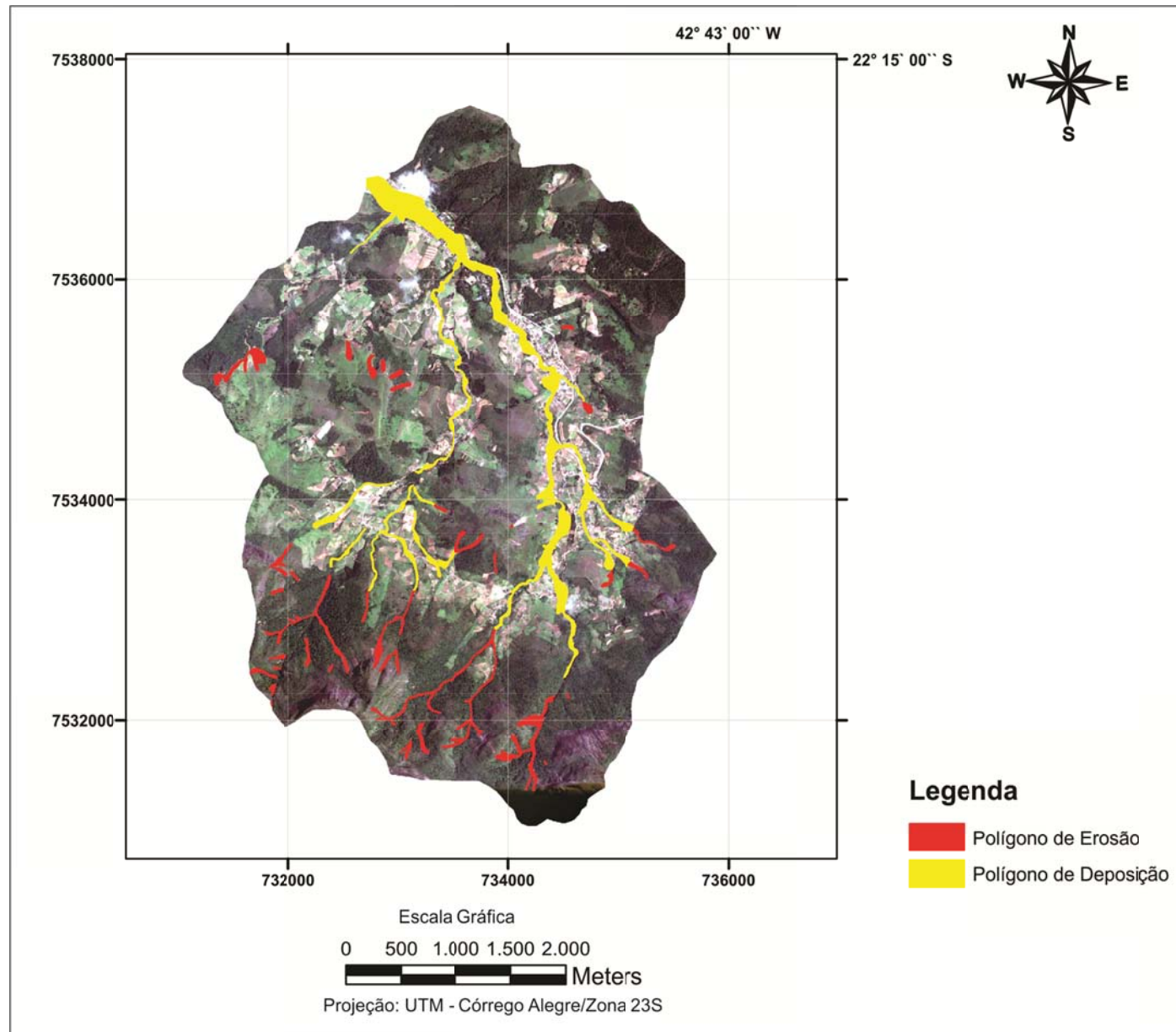


Figura 17: Mapa das áreas de cicatrizes e deposição



Tabela 11: Áreas dos polígonos das cicatrizes encontradas nas classes de declividade.

Classe	Área (m <sup>2</sup> )	Área (%)
< 5%	4800	1,46
5 -15%	4800	1,46
15 -30%	34700	10,53
30-47%	82800	25,14
> 47%	202300	61,41

Na Tabela 12, confirma-se a premissa que os movimentos de massa são mais susceptíveis a ocorrerem em vertentes retilíneas e côncavas, pois aproximadamente 80% da área dos polígonos de cicatrizes foram constados nessas formas de vertentes.

Tabela 12: Área dos polígonos das cicatrizes encontradas nas classes de formas de vertentes.

Classe	Área (m <sup>2</sup> )	Área (%)
Côncavo	131900	40,04
Retilíneo	129300	39,25
Convexo	68200	20,70

Quanto à geologia, foi possível constatar aspectos bem interessantes na área, por mais que a Suíte Nova Friburgo seja constituída por rochas mais susceptíveis à formação de blocos por intemperismo, a maior porcentagem de polígonos das cicatrizes, em área, foi observada na Suíte Serra dos Órgãos, que também possui uma geologia susceptível a tal erosão, entretanto não mais que a Suíte Nova Friburgo (Tabela 13).

Tabela 13: Área de polígonos das cicatrizes encontrada nas classes de geologia.

Classe	Área (m <sup>2</sup> )	Área (%)
Sedimentos Colúvio-Aluvionares	0	0,00
Nova Friburgo	54400	16,53
Serra dos Órgãos	174700	53,10
Cordeiro	99900	30,36

Para compreender os motivos pelos quais se sucederam mais processos erosivos na Suíte Serra dos Órgãos, é necessário avaliar os outros fatores condicionantes, de forma interligada.

Analisando o mapa de formas de vertentes da Suíte Nova Friburgo, constata-se que esta apresenta vertentes mais côncavas do que retilíneas, enquanto que a Suíte Serra dos Órgãos apresenta predominantemente vertentes côncavas e retilíneas. Sendo assim, sabe-se que tais vertentes são as mais condicionantes para movimentos de massa, somado a altas declividades superiores a 30%, juntamente com a precipitação, a Suíte Serra dos Órgãos apresentou mais fatores condicionantes a movimentos de massa do que a Suíte Nova Friburgo.

Um aspecto semelhante aconteceu na Suíte Cordeiro, esta por sua vez é a classe com menor peso em relação às demais classes. No entanto, constatou-se uma porcentagem elevada, em área, de polígonos de erosão, provavelmente isso também se deve ao fato de que outros fatores condicionantes auxiliaram no processo de deflagração do fenômeno, neste caso, a declividade e a forma da vertente foram os condicionantes que mais influenciaram no fenômeno.

Todos os polígonos observados na Suíte Cordeiro ocorreram em declividades superiores a 30%, chegando até a 47% ou mais, com formas de vertentes predominantemente retilíneas e côncavas. Sendo assim, nesse caso a geologia não foi decisiva para que os movimentos de massa ocorressem, mas sim um conjunto de fatores condicionantes somados, que propiciaram um cenário favorável para o desastre.

Nas áreas de sedimentos colúvio-aluvionares não foram delimitados polígonos das áreas de cicatrizes, devido ao fato de se apresentarem somente em áreas de fundo de vale,

junto com as drenagens, não apresentando nenhuma característica condicionante para que ocorressem escorregamentos. Cabe ressaltar que na área da bacia do Vieira, as áreas sedimentares são representadas por aluviões e planícies de inundação, ou seja, ambiente deposicional essencialmente fluvial, e não depósitos de colúvio em sopé de montanha.

Desta maneira, com a análise feita neste mapa das áreas de cicatrizes e deposição, pode-se inferir que os movimentos de massas são fenômenos desencadeados por fatores interligados, tendo que serem estudados com cautela e com o maior acervo de dados possível, para assim poder compreender de que forma tais processos podem ser deflagrados.

### 8.5 Mapa de Susceptibilidade a Movimentos de Massa

O mapa de susceptibilidade foi classificado em 4 classes: baixa, média, alta e muito alta. Com a análise do mapa, foi possível verificar extensas áreas nas classes alta e muito alta, confirmando dessa forma que a declividade é o principal fator condicionante a movimentos de massas (Figura 18).

Foram realizados nove cenários com base na análise multicritério para conseguir gerar um mapa mais próximo da realidade observada em campo pós-desastre. Os pesos atribuídos para as diferentes classes que melhor representaram a área de estudo estão representados na Tabela 14.

Tabela 14: Pesos atribuídos para os fatores condicionantes da área.

Declividade		Geologia		Forma de Vertente	
Classes	Peso	Classes	Peso	Classes	Peso
< 5%	1	Colúvio Aluvionar	1	Retilíneo	8
5 - 15%	3	Suíte Nova Friburgo	8	Côncavo	4
15 - 30%	4	Suíte Serra dos Órgãos	4	Convexo	2
30 - 47%	8	Suíte Cordeiro	2		
> 47%	7				

As influências para cada fator condicionante foram: Declividade (45%), Geologia

(35%) e Forma de vertente (20%).

As áreas representadas com as cores tendendo ao verde correspondem às regiões menos íngremes, com vertentes geralmente convexas e geologia menos susceptível a erosão. Enquanto, as áreas com cores mais quentes, variando do amarelo ao vermelho, correspondem às áreas mais íngremes, com declividades superiores a 30%, com geologia mais susceptível a processos erosivos, com vertentes côncavas e retilíneas, corroborando a deflagração de fenômenos de movimentos de massa de grande magnitude.

Dessa forma, a partir da análise do mapa de susceptibilidade, observou-se que em todas as áreas representadas com alto risco a escorregamentos, foram evidenciados polígonos das cicatrizes, ou seja, nessas áreas ocorreram ou fenômenos de escorregamentos, corrida de detritos ou queda de blocos, como mostra a Figura 19. Sendo assim, pode-se validar a eficácia do mapa de susceptibilidade para mitigar os efeitos e danos causados por Megadesastres como o que ocorreu na bacia do Vieira.

A Figura 20 apresenta uma visualização em caráter ilustrativo dos polígonos das cicatrizes e deposição sobre o mapa de elevação e o mapa de susceptibilidade a movimentos de massa, mostrando as áreas em que ocorreram tais movimentos e sua relação com as áreas montanhosas.



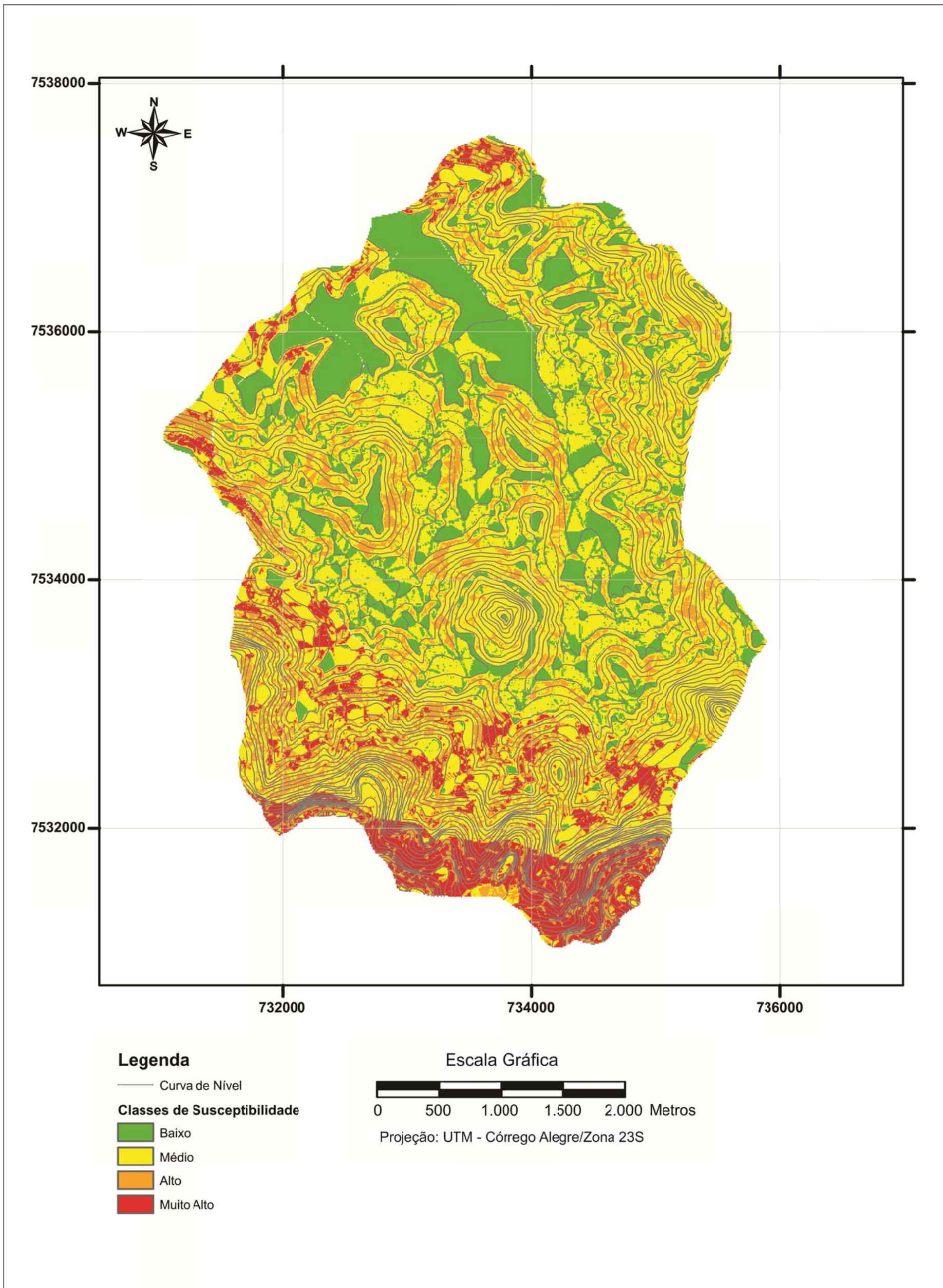


Figura 18: Mapa de susceptibilidade a movimentos de massa da bacia do rio Vieira - Teresópolis/RJ



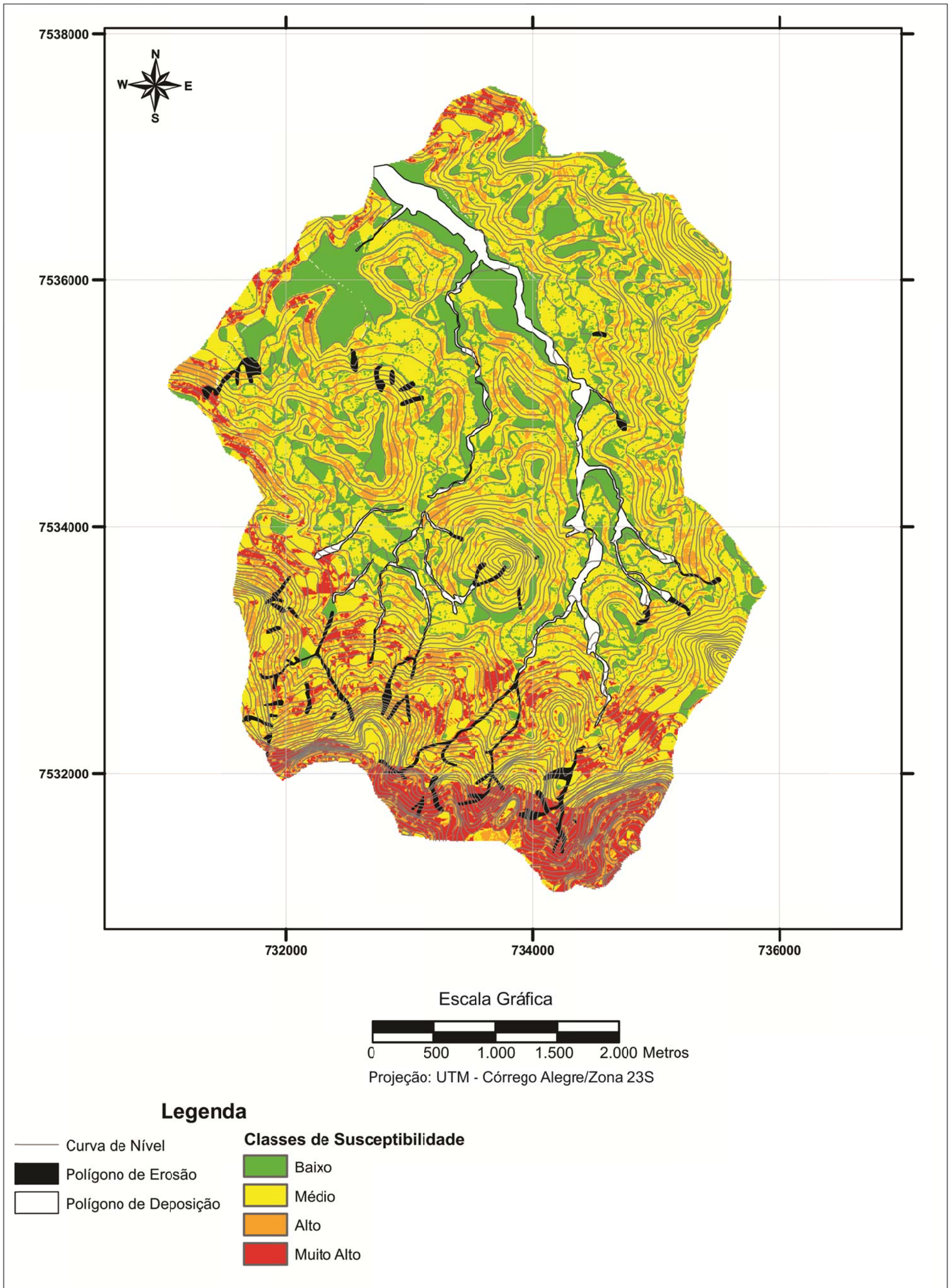


Figura 19: Mapa de susceptibilidade a movimentos de massa com polígonos das áreas de cicatrizes e deposição

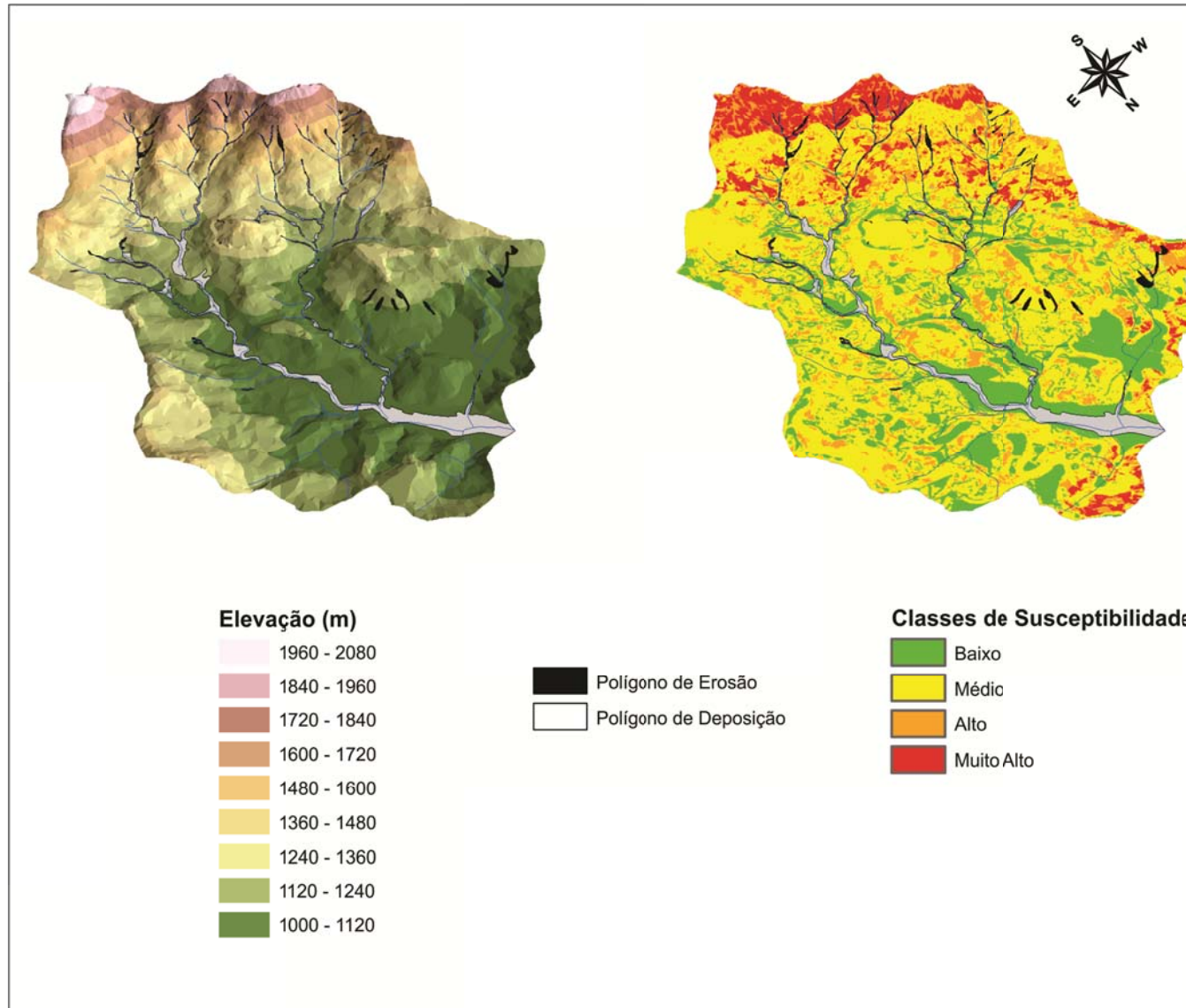


Figura 20: Representação dos polígonos das cicatrizes e deposição sobre o mapa hipsométrico (à esquerda) e sobre o mapa de susceptibilidade a movimentos de massa (à direita).



## 9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados apresentados observa-se uma correlação notória entre um mapa de susceptibilidade a movimentos de massa elaborada com base nos procedimentos técnicos utilizados atualmente como medida preventiva e um cenário pós-desastre conhecido como Megadesastre 11` da Região Serrana do Rio de Janeiro.

Partindo de um mapa das áreas de cicatrizes e de deposição no qual foram delimitadas as áreas em que ocorreram processos erosivos e deposição de sedimentos, é possível visualizar uma correlação com as áreas de maior susceptibilidade a movimentos de massa, demonstrando que esta carta é uma importante ferramenta de gestão.

Portanto, depende dos dirigentes públicos a utilização das ferramentas de gestão de áreas de riscos, dentre elas, uma das mais importantes, o mapa de susceptibilidade a movimentos de massa para aplicação de medidas preventivas às consequências ocasionadas por tais processos. Vale ressaltar que a grande parcela da responsabilidade da ocupação irregular das encostas pode ser atribuída aos administradores públicos em suas gestões.

A análise da influência de cada fator condicionante a movimentos de massa permite identificar que para a área de estudo a declividade das vertentes é o aspecto principal para a ocorrência a movimentos de massa, seguida pelo condicionante geologia e por último a forma de vertente. Esta afirmação se justifica ao verificar que a maioria dos polígonos de erosão foi constatada nas classes superiores a 15% de declividade.

Corroborando com outros estudos de riscos a movimentos de massa, os resultados aqui obtidos reafirmam que os fatores condicionantes atuam em conjunto na deflagração de tais processos, não podendo ser analisados individualmente e sim de maneira integrada.

Os mapas de declividade, de forma de vertente e de susceptibilidade a movimentos de massa foram gerados a partir de um levantamento topográfico na escala de 1:50.000. Porém, através da análise dos mapas percebe-se a necessidade de um levantamento topográfico mais detalhado.

Além disso, é de suma importância que levantamentos geológicos, estruturais, geomorfológicos e pedológicos sejam realizados com maior detalhe, possibilitando assim o cruzamento de informações gerando resultados mais coerentes e refinados com a realidade.

A partir desse trabalho pode-se verificar a fundamental importância das geotecnologias para trabalhos relacionados a movimentos de massa, pois a mesma permite correlacionar diversos fatores de forma organizada e lógica, resultando em produtos que auxiliam nas medidas de prevenção a grandes desastres em menor período de tempo. Dessa maneira,

salienta-se a necessidade dos órgãos públicos trabalharem com os SIGs, criando banco de dados com informações espacialmente localizadas, contribuindo para a tomada de decisões mais rápidas.

Por fim, mesmo trabalhando em uma escala pouco adequada, conseguiu-se atingir o objetivo pretendido, validando a eficiência de um mapa de susceptibilidade para mitigação das consequências de desastres e até Megadesastres.

## REFERÊNCIAS

AUGUSTO FILHO, O. Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. In. Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas, 1, Rio de Janeiro, Anais..., p. 721-733.1992.

AUGUSTO FILHO, O. Cartas de Risco de Escorregamentos: uma proposta metodológica e sua aplicação no município de Ilha Bela, SP.1994. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 167 p. 1994

AUGUSTO FILHO, O.; VIRGILI, J.C. Estabilidade de taludes. In. Oliveira, A.M.S; Brito, S.N.A. (ed.) **Geologia de Engenharia**. São Paulo: ABGE. Cap. 15, p.244-269.1998.

BATHURST, J.C. et al. Debris flow run-out and landslide sediment delivery model test. *Journal of Hydraulic Engineering*, may/97, v123, n5,p.410-419.1997.

BRASIL. Casa Civil. Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 28 mai. 2012.

BRASIL. Casa Civil. Lei nº 4.771 de 15 de setembro de 1965. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília. 1979.

BRASIL. Casa Civil. Lei nº 6.766 de 19 de dezembro de 1979. Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília. 1965.

CÂMARA, G. Representação computacional de dados geográficos. In. Casanova, M. et al (Ed). **Bancos de dados geográficos**. São José dos Campos, SP: Instituto Nacional de Pesquisa Espacial – INPE. p . 1 -44. 2005.

CPRM, 2009. Mapa Geológico Folha SF.23-Z-B-II - Nova Friburgo – UERJ. Disponível em <<http://geobank.sa.cprm.gov.br/>>. Acesso em 01 ago.2013

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. Geologia do Estado do Rio de Janeiro: texto explicativo do mapa Geológico do Estado do Rio de Janeiro. SILVA, L. C.; CUNHA, H. C. (Coord.) Brasília. 2001

COSTA, D. P. Utilização de geotecnologias na análise da transformação sócio-espacial urbana da região serrana fluminense: o estudo de caso do distrito sede de Teresópolis. 2005. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 190 p. 2005.

COSTA, J. E. Physical Geomorphology of Debris Flow. In. COSTA, J.E. & FLEISHER, P.J. – **Developments and Applications of Geomorphology**. Springer-Verlag.. p. 269-317. 1984.

DANTAS, M., et al. Diagnóstico Geoambiental do Estado do Rio de Janeiro. CPRM, Brasília. 2001.

DOURADO, F. ; ARRAES, T. C. ; SILVA, M. F. E. . O Megadesastre da Região Serrana do Rio de Janeiro - as Causas do Evento, os Mecanismos dos Movimentos de Massa e a Distribuição Espacial dos Investimentos de Reconstrução no Pós-Desastre. Anuário do Instituto de Geociências (UFRJ. Impresso), v. 35\_2, p. 43-54, 2013.

DRM-RJ. Serviço Geológico do Estado do Rio de Janeiro – Diagnóstico do Megadesastre da Região Serrana, janeiro de 2011.

EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. Zoneamento Agroecológico Do Estado Do Rio De Janeiro – ANO 2003. Disponível em: <[http://www.cprm.gov.br/publique/media/bol\\_33\\_2003\\_zon\\_rj.pdf](http://www.cprm.gov.br/publique/media/bol_33_2003_zon_rj.pdf)>. Acesso em: 18 jun. 2013.

FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P. **Movimentos de Massa**: uma abordagem geológico geomorfológica. In: Guerra, A, J, T.; Cunha, S.B. (Eds.). Geomorfologia e meio ambiente. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, p. 123-194. 1996.

FERRARI, A. L. Evolução Tectônica do Gráben da Guanabara. 2001. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 412 p. 2001.



FONSECA, M. J. G. et al.. Mapa Geológico do Estado do Rio de Janeiro (Escala 1:400.000). Texto explicativo, DNPM, 141 p. 1998.

FRANCISCO, C. E. S. et al. Análise multicriterial na seleção de bacia hidrográfica para recuperação ambiental. *Ciência Florestal* (UFSM. Impresso), v. 18, p. 1-13, 2008.

FLORENZANO, T. G.. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. 1ª. ed. São Paulo: Oficina de Textos. 104p . 2002.

GRAMANI, M. F. **Caracterização geológico-geotécnica das corridas de detritos ("debris-flows") no Brasil e comparação com alguns casos internacionais**. 2001. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EP-USP). Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações (PEF). São Paulo. 372 p. 2001.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. Estabilidade de taludes naturais e de escavação. 2º Edição. Edgard Blucher, São Paulo, 194 p. 1984.

HERZ, R., DE BIASI, M. Critérios e legendas para macrozoneamento costeiro, Comissão Interministerial para os recursos do Mar – CIRM, Brasília. 1989.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo demográfico de 2010. Disponível em <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=330580> . Acesso em 15 jul. 2013.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Carta Topográfica Nova Friburgo – SF-23-Z-B-II-4. Escala 1:50.000. 1974.

IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Ocupação de Encostas. CUNHA, M.A. (coord). São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT),1991.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Obtenção de Imagens de Satélite. 20??. Disponível em <<http://www.ltid.inpe.br/vcsr/files/3-imagens.pdf>>. Acesso em 23 nov 2013.

LIMA, I. F. **O fluxo gravitacional de massa do Vieira, Teresópolis-RJ, megadesastre de 2011: descrição, análise das feições sedimentológicas e apreciação das características mecânicas**. Dissertação de Mestrado. Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro, no prelo. 2013.

LIMA, I. F.; AMARAL, C.. Megadesastre`11 da Serra Fluminense: a Corrida de Massa do Vieira, em Teresópolis – Análise preliminar dos mecanismos de propagação. *In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 13, Anais.* São Paulo. CD-ROM.2011.

LIMA, R. N. S. ; ROCHA, C. H. B. . Técnicas de sensoriamento remoto e métricas de ecologia da paisagem aplicadas na análise da fragmentação florestal no município de Juiz de Fora MG em 1987 e 2008. *In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 2011, Curitiba. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR.* São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). v. 15. p. 2067-2074. 2011.

LOPES, E. E. **Proposta Metodológica para Validação de Imagens de Alta Resolução do Google Earth para a Produção de Mapas.** 2009. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis/SC, 115p. 2009.

MARCELINO, E. V. **Mapeamento de áreas susceptíveis a escorregamento no município de Caraguatatuba (SP) usando técnicas de sensoriamento remoto.** Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 228p. 2004

MACEDO, E. S.. **Elaboração de cadastro de risco iminente relacionado a escorregamentos: avaliação considerando experiência profissional, formação acadêmica e subjetividade.** Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciência Exatas, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Rio Claro, 276 p. 2001.

MACEDO, E. S.; OGURA, A. G. (Orgs.). **Mapeamentos de riscos em encostas e margens de rios.** Brasília. Brasil. Ministério das Cidades / Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT. 2007.

MASSAD, F. et al. **Characteristics and volume of sediment transported in debris flow in Serra do Mar, Cubatão, Brazil.** *In. International Workshop on the Debris Flow Disaster of December 1999 in Venezuela, Caracas, 12p.* 2000.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e aplicações.** 4º ed. Blucher, São Paulo, 387p. 2010.

OLIVEIRA, L. M. **Acidentes Geológicos Urbanos.** Mineropar: Curitiba, 2010.

PREFEITURA DE TERESÓPOLIS. Histórico. Disponível em  
<http://teresopolis.rj.web.br.com/teresopolis/>. Acesso em 22 ago. 2013.

RADAMBRASIL. Mapa Geomorfológico Folhas SF .23/24 Rio de Janeiro – Vitória. Rio de Janeiro: Ministério das Minas e Energia. Escala 1: 1000.000. Vol. 32. 1983.

RODRIGUES, J.; et al. A corrida de Massa do Rio Vieira em Teresópolis, Sudeste do Brasil: Caracterização da Área-Fonte dos Sedimentos Transportados. Anuário do Instituto de Geociências. (UFRJ. Impresso), v.35\_2, p.152-164. 2011.

SCARANCE, M. R. A. P. **Diretrizes para a execução de investigações geológicas e geotécnicas voltadas à análise de estabilidade de encostas e taludes.** 2004. Monografia (Bacharelado em Geologia) Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 70 p.

TUPINAMBÁ, M. (coord.). Nota explicativa da Folha Nova Friburgo 1:100.000. Rio de Janeiro, CPRM Serviço Geológico do Brasil.136p. 2012.

VALERIANO, M. M. . Curvatura vertical de vertentes em microbacias pela análise de modelos digitais de elevação. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, PB, v. 7, n.3, p. 539-546, 2003.

VIDOTTI, M. F. 2007. Comparação entre diferentes critérios para geração de mapas de suscetibilidade aos escorregamentos. Exemplo do município de Cubatão, Serra do Mar Paulista. . Monografia (Bacharelado em Geologia) Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 70 p. 2007.