



Universidade Federal da Paraíba

Centro de Tecnologia

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental

Engenharia Civil

Samuel Pessoa da Silva Filho – 11211454

**A ESTABILIDADE DOS TALUDES E SUAS IMPLICAÇÕES
SOCIOECONÔMICAS: ANÁLISE DO MAIOR DESASTRE NATURAL
DO BRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso

João Pessoa

2017

Samuel Pessoa da Silva Filho – 11211454

**A ESTABILIDADE DOS TALUDES E SUAS IMPLICAÇÕES
SOCIOECONÔMICAS: ANÁLISE DO MAIOR DESASTRE NATURAL DO BRASIL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
à Universidade Federal da Paraíba como exigência
à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil
Orientador: Professor Dr. Fabio Lopes Soares.

João Pessoa

2017

S381a Silva Filho, Samuel Pessoa da

A Estabilidade dos Taludes e Suas Implicações Socioeconômicas: Uma Análise do Maior Desastre Natural do Brasil. / Samuel Pessoa da Silva Filho. – João Pessoa, 2017.

46 f. il.:

Orientador: Prof. Dr. Fábio Lopes Soares

Monografia (Curso de Graduação em Engenharia Civil) Campus I - UFPB / Universidade Federal da Paraíba.

1. Pluviometria
- 2 Encostas
3. Ângulo de atrito
3. Coesão
4. Ocupação. I. Título.

BS/CT/UFPB

CDU: 2.ed. 62 504.05(043)

FOLHA DE APROVAÇÃO

SAMUEL PESSOA DA SILVA FILHO

(Times New Roman 12 em negrito)

**A ESTABILIDADE DOS TALUDES E SUAS IMPLICAÇÕES SOCIOECONÔMICAS:
UMA ANÁLISE DO MAIOR DESASTRE NATURAL DO BRASIL**

(Times New Roman 12 em negrito)

Trabalho de Conclusão de Curso em 30/05/2017 perante a seguinte Comissão Julgadora:

Fábio Lopes Soares

PROFESSOR FÁBIO LOPES SOARES, Dsc
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO

Paulo Germano Toscano de Moura

PROFESSOR PAULO GERMANO TOSCANO DE MOURA, Dsc
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA – UFPB

aprovado

Aline Flávia Nunes Remigio

PROFESSORA ALINE FLÁVIA NUNES REMIGIO ANTUNES,

Dsc

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA – UFPB

APROVADO

Ana Cláudia Fernandes Medeiros Braga

Prof^ª. Ana Cláudia Fernandes Medeiros Braga

Matrícula Siape: 1668619

Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao meu pai que orgulhosamente diz a todos que tem um filho formado em Engenharia Civil e, com muito orgulho, reconheço que na minha formação prática de Engenheiro ele tem grande influência com seus muitos ensinamentos do dia-a-dia de obra. Também dedico este trabalho ao meu avô que tem o neto formado na profissão que exerceu durante toda a vida. A vocês meu apreço e respeito por toda a história e ensinamentos compartilhados, essa formação não é apenas minha, mas de vocês também. Muito obrigado!

AGRADECIMENTOS

Antes de tudo agradeço a Deus por toda Sua graça e misericórdia que me fizeram chegar até aqui, pelas oportunidades que me deu, pois sem Sua bondade não estaria aqui. A Ele e apenas a Ele sejam dedicados honra, glória, força e poder, pois não fosse Ele não teria chegado até aqui!

Aos meus pais que sempre se dedicaram para que eu tivesse uma boa educação científica e social, graças ao amor e carinho que sempre me deram estou aqui. Sem suas mãos me guiando de maneira invisível pelo caminho correto e seus muitos conselhos, eu teria me perdido! Muito obrigado!

Aos meus irmãos Beatriz e Benjamim que sempre me apoiaram com muito amor e carinho. Quando estive mal foi a risada de vocês que me fez continuar sem desanimar, cada vez que precisei vocês estiveram presentes e eu agradeço a vocês por tudo. Sem vocês aqui, eu não teria conseguido!

Ao amor da minha vida, Thalia Araújo, que sempre esteve presente me arrancando sorrisos quando não achava possível sorrir, que sempre cuidou de mim e me deu carinho durante todo esse tempo em que estamos juntos, seu amor é tudo que sempre pedi a Deus. Muito obrigado, meu amor, por estar aqui!

Ao professor Dr. Fábio Lopes Soares que aceitou me orientar nesse árduo trabalho e, além de ensinamentos acadêmicos, me proporcionou uma grande experiência para vida e atuação como Engenheiro Civil. Meu muito obrigado!

A todos os professores e funcionários da Universidade Federal da Paraíba, em especial aos do Centro de Tecnologia, por proporcionarem um ambiente propício a minha formação.

Aos meus amigos com quem tive o prazer de dividir sala de aula e que me escutaram nos meus piores momentos e comemoraram comigo as minhas vitórias, com os quais passei boa parte do tempo de formação acadêmica, dividimos muitas experiências – boas e ruins –, muitos trabalhos feitos juntos, de modo que minha formação tem muito de vocês e em especial cito aqui: Geórgia Fernanda, Laís Lacet, Camila Pereira, Matthews Borba, Ana Rachel.

EPÍGRAFE

“Aí Samuel pegou uma pedra, pôs entre Mispa e Sem e disse: - Até aqui o SENHOR Deus nos ajudou.”

1 Samuel 7:12

RESUMO

O objetivo deste trabalho acadêmico é fazer a análise do caso dos deslizamentos de terra ocorridos no ano de 2011, no estado do Rio de Janeiro, ocasionados não apenas pelas fortes chuvas horárias, mas também por causa das chuvas acumuladas nos dias que antecederam a tragédia, conforme será demonstrado no capítulo pertinente. Será visto neste trabalho os impactos socioeconômicos dos deslizamentos de terra na região Serrana do Rio de Janeiro, local de acontecimento do desastre natural de maiores proporções do Brasil. A influência do clima, relevo, geologia, pluviometria, dentre outros temas serão levados a uma reflexão de modo a trazer a luz, sob a ótica da engenharia civil, de quais soluções poderiam ser dadas para que os impactos ocasionados pelos escorregamentos de terra fossem aplacados. Mais de 900 mortes, 50 mil desabrigados, 150 desaparecidos e cerca de um milhão de pessoas que, direta ou indiretamente, foram atingidas pela tragédia esperam da tecnologia uma solução plausível para essa região que, não raras vezes, sofre com deslizamentos de terra. Uma atenção especial será dada a pluviometria, sendo ela o principal agente deflagrador, entre os não antrópicos, dos deslizamentos de terra. Entre os agentes antrópicos, serão muito lembradas a ocupação irregular e modificação da inclinação das encostas. Características peculiares dos movimentos de massa ocorridos serão estudadas aqui de modo que seja entendido o que a engenharia sabe sobre o assunto e quais as respostas que podem ser dadas. A demonstração de como os resvalos de solo ocorridos pode afetar a vida das pessoas residentes na região do ocorrido, os impactos ambientais e a relação próxima com a economia são maiores do que se pode imaginar. Prova disso é que cinco anos após a tragédia ainda tem sequelas na economia que começam a ser superadas.

Palavras-chave: Pluviometria. Encostas. Ângulo de atrito. Coesão. Ocupação.

Abstract

The objective of this academic work is to analyze the case of landslides that occurred in 2011 in the state of Rio de Janeiro, caused not only by heavy rainfall but also because of the rains accumulated in the days leading up to the tragedy, As will be shown in the relevant chapter. It will be seen in this paper the socioeconomic impacts of landslides in the Serrana region of Rio de Janeiro, the site of the largest natural disaster in Brazil. The influence of climate, relief, geology, pluviometry, among other topics will be brought to a reflection in order to bring light, from the point of view of civil engineering, of what solutions could be given so that the impacts caused by landslides were placated . More than 900 deaths, 50,000 homeless, 150 missing and about one million people who, directly or indirectly, were affected by the tragedy, expect from technology a plausible solution for this region that, not infrequently, suffers from landslides. Particular attention will be paid to rainfall, which is the main triggering agent of non-anthropogenic landslides. Among the anthropic agents, the irregular occupation and modification of the inclination of the slopes will be very remembered. Particular characteristics of the mass movements that have occurred will be studied here in a way that understands what engineering knows about the subject and what answers can be given. The demonstration of how soil slides occurred can affect the lives of people living in the region, the environmental impacts and the close relationship with the economy are greater than you can imagine. Proof said it is that five years after the tragedy still has sequels on the economy that begin to be overcome.

Keywords: Pluviometry. Slopes. friction angle. Cohesion. Occupation.

Sumário

1. Introdução	10
1.1. Objetivos	12
2. Caracterização Histórica dos Principais deslizamentos no Rio de Janeiro	13
3. Caracterização Geomorfológica	18
3.1. Clima	18
3.2. Relevo	20
3.3. Pluviometria	27
4. Caracterização dos tipos de Movimentos de Massa	31
4.1. Fluxos Torrenciais, Hiperconcentrados e Debris flows	32
4.2. Deslizamento do tipo “Na Parroca” (DRM)	33
4.3. Deslizamentos do tipo “Rasteira” (DRM)	35
4.4. Deslizamento “tipo Vale Suspenso” (DRM)	35
4.5. Deslizamento do “tipo Catarina” (DRM)	36
5. Impactos	37
5.1. Impactos Sociais	37
5.2. Impactos Econômicos	38
6. Conclusão	40
REFERÊNCIAS	44
LISTA DE SIGLAS	46

1. Introdução

Movimento de massa, também chamados de deslizamentos, escorregamentos, rompimento de taludes, queda de barreira, entre outros é um processo natural, caracterizados por quaisquer deslocamentos de rochas ou segmentos e deslizamentos de solo sob o efeito da gravidade quase sempre potencializado pela ação água.

No Brasil, o clima predominantemente tropical, com grandes índices pluviométricos no verão, é gerador de catástrofes originadas pelos movimentos de massa e os casos são recorrentes. Sendo muito suscetível a esse tipo de desastre ambiental, são realizados no Brasil diversos estudos sobre o assunto, sendo um tema amplamente debatido entre especialistas em congressos e conferências específicas sobre o tema. Devido à geomorfologia e as condições climáticas, o Brasil é um país que, de modo geral, tem grandes riscos de desastres e catástrofes relacionadas ao deslizamento de encostas. O país passa por uma constante mudança de crescimento do seu sistema urbano, essas relacionadas ao desenvolvimento socioeconômico da nação. O alto índice de crescimento populacional e a concentração dessa população nos grandes centros urbanos tornou evidente que a falta de planejamento e ocupação desenfreada gera diversos problemas ambientais, dentre eles os relacionados com o deslizamento de encostas.

O Rio de Janeiro é castigado há centenas de anos por desastres relacionados ao rompimento de taludes, quase sempre esses movimentos de massa terminam em tragédias e são responsáveis por um número elevado de mortes, sendo que existem registros de escorregamentos desde o ano de 1711 na cidade do Rio de Janeiro. Segundo relatório do Banco Mundial produzido com o apoio do Governo do Estado do Rio de Janeiro, os prejuízos relatados no desastre acontecido em 2011 na região serrana do Rio de Janeiro chegaram a 4,8 bilhões de reais – a preços de 2010 –, sendo desconsiderado o impacto em setores relevantes como o da educação e saúde por falta de dados detalhados.

Duas tragédias consecutivas, ocorridas no estado do Rio de Janeiro nos anos de 2010 e 2011 no morro do Bumba, Angra dos Reis e, o pior deles, na Região Serrana do Rio de Janeiro, levou a comunidade a refletir sobre o papel da Engenharia Civil no impedimento de acidentes como esses. De fato, as

consequências dessas tragédias, na sociedade, são muito grandes, levando a comunidade científica a pensar a respeito de políticas públicas que funcionem, para que seja possível coibir que acidentes de proporções tão grandes atinjam mais uma vez a comunidade local.

Tendo no horizonte este problema, foram analisadas neste trabalho de forma clara e sistemática quais as sequelas sociais ocasionadas pelos deslizamentos de terra e rolamento de rochas ocorridos na Região Serrana do Rio de Janeiro e quais as possíveis soluções – objetivando custo e eficiência – que podem ser adotadas a partir dessa análise. Será feito um levantamento com base em dados disponíveis em diversas pesquisas e relatórios, relacionados ao custo dos acidentes com deslizamentos de terra.

Em decorrência de sua grandeza, como desastre, e de sua abrangência, tratando das soluções aplicáveis ao caso, este foi o caso escolhido para análise. A região serrana fluminense é a mais propícia a acidentes desse tipo. Prova disso é que cerca de 40% das mortes registradas oficialmente entre os anos de 1988 e 2012 aconteceram nessa região. Segundo dados oficiais, foram 912 mortes, 45 mil desabrigados e cerca de um milhão de pessoas foram afetadas de algum modo pelo acidente. Mesmo após cinco anos, restam ainda cerca de 300 desaparecidos. No entanto, dados não oficiais apontam para um número ainda maior de mortes e prejuízos. Segundo dados de associações daquela região, baseado no número de contadores de energia dos bairros, às mortes podem passar de 10 mil, já que existem diversos relatos de áreas em que toda a comunidade foi dizimada e não há quem reclame de corpos ou desaparecimento.

A abordagem adotada na pesquisa é qualitativa (Santos Filho, 2001), tendo em vista que a investigação toma por base um único caso. Sendo assim, não é possível afirmar com precisão que os dados podem ser extrapolados para toda a população sem que haja prejuízo quanto aos resultados que serão obtidos. Vale ressaltar que o trabalho se trata de um estudo de caso evidenciando, entre outras coisas, as consequências sociais do desastre e apontando possíveis soluções, tanto de caráter preventivo, como também de caráter corretivo para os movimentos de massa que serão caracterizados. Portanto, torna-se fácil de observar que, embora não se tenha certeza da exatidão e da eficácia destes resultados ao serem aplicados em outras situações, e de que, obviamente, as características climáticas, de relevo e solo sejam diferentes nas diversas regiões do país, as soluções apresentadas neste

trabalho podem facilmente ser rearranjadas e adaptadas de tal forma que se tornem aplicáveis em outras condições e em outras regiões quaisquer que forem.

Baseado na análise e compreensão dos diversos trabalhos, relatos e reportagens investigativas realizadas sobre o tema, o trabalho é amplo e significativo no que tange as observações realizadas sobre os efeitos dos movimentos de massa sobre a população e quais as possíveis respostas podem ser adotadas para evitar esses terríveis acidentes que ocasionam perdas, não só financeiras, mas também de vidas e ambiental.

1.1. Objetivos

Nesse trabalho são apresentados como objetivos principais abordados em seus capítulos uma caracterização histórica dos deslizamentos no Rio de Janeiro, a caracterização geomorfológica da região onde ocorreram os deslizamentos, uma breve caracterização dos movimentos de massa ocorridos na região e uma discussão sobre os impactos tanto sociais quanto econômicos dos escorregamentos.

2. Caracterização Histórica dos Principais deslizamentos no Rio de Janeiro

Esse capítulo conceitua os desastres e acidentes relacionados ao deslizamento de massa na história do Rio de Janeiro. Dessa maneira, será feito relatos históricos para que o leitor perceba o tamanho da importância de estudos relacionados ao tema e que embora se tenha um histórico antigo e um elevado número de acidentes, as autoridades do Estado do Rio de Janeiro tenham se apercebido um tanto tarde de que se faziam necessárias ações para que fossem evitados acidentes, dado percebido a partir da data de criação do órgão que dá atenção especial às movimentações de massa – GeoRio.

O Rio de Janeiro, nos meses de verão – entre dezembro e março –, passa por eventos de chuvas excepcionais, com alto poder de destruição, atingindo várias localidades da região da serra do Mar e Mantiqueira. Sempre que as tempestades chegam às regiões serranas e urbanizadas, geram desastres ambientais e humanos de proporções imensas.

Segundo a professora Anna Laura (2013), há uma recorrência de acidentes que chega a impressionar. Foram registrados 1 (um) acidente a cada 5 (cinco) anos, com forte tendência de aumento para 1 (um) acidente para cada ano. Essa frequência de desastres e essa tendência de aumento podem, facilmente, ser associadas aos fenômenos de mudanças climáticas e à expansão desordenada das zonas urbanas. Os fenômenos de mudanças climáticas se devem ao efeito estufa, à intensa industrialização e ao alto índice de poluição. Já a expansão desordenada, é fruto da alta concentração de pessoas em centros urbanos e às mudanças com relação a situação socioeconômica da população, sendo que, geralmente, a população que mais fica a mercê dos desastres é a de baixa renda, já que elas são empurradas para os locais com baixo índice valorização imobiliária que, usualmente, ficam junto as serras por serem locais com topografia difícil.

Como já dito anteriormente, embora os apontamentos com relação à frequência de desastres sejam notadamente muito fáceis de serem observadas, há relatos de desastres tocantes à movimentação de massa desde a época do império, conforme evidenciado na Tabela 1, deixando bastante claro que há lentidão na resposta do poder público. Na Figura 1, há uma quantificação dos acidentes de

acordo com os municípios do estado do Rio de Janeiro atingidos por movimentos de massa onde é possível observar que a recorrência em determinadas regiões é notável e na Figura 2 é possível observar a recorrência por região do Estado.

BELFORD ROXO									1	1	1		3
BOM JARDIM												1	1
BOM JESUS DO ITABAPOANA			1							1			2
CAMBUCI							1						1
CANTAGALO			1					1					3
COMENDADOR LEVY GASPARIAN								1					1
CONCEIÇÃO DE MACABU										1			1
CORDEIRO								2				1	3
DUAS BARRAS								1					1
DUQUE DE CAXIAS				1									1
ENGENHEIRO PAULO DE FRONTIN			1										1
GUAPIMIRIM							1	1			3		5
ITALVA								1					1
ITAOCARA							1						1
LAJE DO MURIAE								1					1
MACUCO										1	1	1	3
MAGÉ										1	1	2	4
MANGARATIBA								1	1	1	1		5
MARICÁ											1		1
MENDES											1		2
MIGUEL PEREIRA													1
MIRACEMA									1				1
NATIVIDADE										1	2	1	5
NILOPOLIS												1	1
NITERÓI											1	3	5
NOVA FRIBURGO													1
NOVA IGUAÇU										1	1		2
PARATY												1	1
PATY DO ALFERES											2		2
PETROPOLIS											2	3	5
PIRAÍ											1	3	1
PORCIUNCULA													2
QUEIMADOS											1	1	2
RIO BONITO											1	2	3
RIO CLARO											1	2	3
RIO DE JANEIRO											1	2	3
SANTA MARIA MADALENA											1	1	1
SÃO GONCALO													14
SÃO JOÃO DE MERITI											1	1	2
SÃO SEBASTIÃO DO ALTO											1		1
SAPUCAIA													1
SAQUAREMA											1	2	3
SILVA JARDIM											1	2	3
TERESÓPOLIS													1
TRAJANO DE MORAES											1		1
TRÊS RIOS											1		1
VALENÇA											1	1	2

Figura 1: Municípios Atingidos por movimentos de massa no Estado do Rio de Janeiro de 1991 a 2012

Fonte: Atlas Brasileiro de Desastres Naturais – 1991 a 2012 – Volume Rio de Janeiro

Tabela 1 – Principais eventos de deslizamentos no Rio de Janeiro

Data	Evento	Data	Evento
Set. 1711	Grandes inundações e deslizamentos de encostas na cidade do Rio de Janeiro	Mar. 1981	Temporais com inundações, transbordamento do Rio Faria-Timbó e deslizamentos no Morro Pauda Bandeira, 6 mortes
Abr. 1756	3 dias consecutivos de temporais com inundações e desabamentos de casas na cidade do Rio de Janeiro	Mar. 1983	Temporais de 189mm/dia com inundações e desabamento de casas em Sta Teresa, 5 mortes. Transbordamento de rios e canais em Jacarepaguá com mais de 150 desabrigados.
Fev. 1811	Catástrofe conhecida como "Águas do Monte" que castigou o Rio de Janeiro por 7 dias. Grande deslizamento no Morro do Castelo (descendo por via hidráulica no séc. XX)	Out. 1983	Temporal com inundações e deslizamento no Morro do Pavãozinho, Rio, 13 mortes
Abr. 1883	Tempestade chamada de "Manga D'água" com 223 mm de chuva em apenas 4 horas na cidade do Rio de Janeiro	Jan. 1985	Chuva de 100mm em 1 hora com o deslizamento de cerca de 2.500.00m ² em Piraquara, destruição de trecho da BR101
Mai. 1987	Temporal com 217mm em 10 horas na cidade do Rio, provocando inundações e deslizamentos	Fev. 1987	Temporais com inundações e deslizamentos de encostas em Petrópolis, Teresópolis e Rio de Janeiro, 292 mortes, 20.000 desabrigados, Estado de Calamidade Pública
Abr. 1905	Temporais com inundações e deslizamento no Rio	Fev. 1988	Temporal com inundações e deslizamentos em Petrópolis e na Baixada Fluminense, 277 mortes e 2.000 desabrigados. Chuvas com volumes pontuais de 1.000mm
Mar. 1905	Chuvas de 165mm/dia com inundações e deslizamentos no Rio de Janeiro	Jan. 1991	Temporal e inundações na cidade do Rio de Janeiro, 25 mortes e 8 feridos
Abr. 1911	Temporais com inundações na cidade do Rio	Fev. 1996	Temporal de 301mm/24h com debris flows nos Morros do Quitite e Papagaio. Deslizamentos na cidade do Rio e BR040. Interdição do Túnel Dois Irmãos
Abr. 1924	Temporais com transbordamento do Canal do Mangue e desabamentos com vítimas no Morro de São Carlos	Jan. 1999	Temporais com inundações e deslizamentos no Rio de Janeiro e cidades do Vale do Paraíba e Região Serrana, 41 mortes, 72 feridos e 180 famílias desabrigadas
Mar. 1926	Temporais com inundações na cidade do Rio	Jan. 2000	Temporais com inundações e deslizamentos em Petrópolis, Teresópolis, Casimiro de Abreu e Barra Mansa, 22 mortes e 133 famílias desabrigadas
Mar. 1928	Temporais com inundações na cidade do Rio	Jan. 2002	Temporal com deslizamentos na região de Angra dos Reis e na BR 101
Jan. 1940	Chuva de 112mm causa inundações e mortes por desabamentos no bairro de Santo Cristo, Rio	Fev. 2003	Temporais com inundações e deslizamentos na Região Serrana, Sul e Norte Fluminense, 36 mortes, 1693 desabrigados
Jan. 1942	Chuva de 132mm com inundações e desabamentos no Morro do Salgueiro, 5 mortes	Nov. 2005	Temporais em Sta Catarina com deslizamentos, 100 mortes, 140 mil desabrigados
Jan. 1962	Chuva de 242 mm com inundações, transbordamento do Canal do Mangue e Rio Maracanã e deslizamentos, 25 mortes	Jan. 2010	Catástrofe em Angra dos Reis, 143mm/dia, 53 mortes e deslizamentos em 61 bairros
Jan. 1966	Enchentes e deslizamentos nos Estados da Guanabara e Rio de Janeiro com a pior tempestade do século: chuva acumulada de 245mm/24horas com cerca de 400 mortos, 50.000 desabrigados	Abr. 2010	Chuvas de 248mm em 13 horas e deslizamentos do Morro dos Prazeres no Rio (38 mortes) e Morro do Bumba em Niterói (mais de 150 mortes)
Jan. 1967	Enchentes e deslizamentos nos Estados da Guanabara e Rio de Janeiro, 245mm/dia, 436 mortos e 23.000 desabrigados. Catástrofes por intensas debris flows na Serra das Araras, 275mm em 3 horas, 1.700 mortes estimadas. Chuva de 119mm com ruptura de talude na General Glicério, Laranjeiras, 3 edifícios destruídos, 200 mortes, 300 feridos	Jan. 2011	Enchentes e deslizamentos na Região Serrana (Friburgo, Teresópolis e Petrópolis)
Fev. 1981	Tromba d'água na Serra dos Órgãos, entre Teresópolis e Guarimirim, estrada fecha por mais de 2 meses e muitas mortes	Abr. 2012	Temporais e deslizamentos em Teresópolis, 5 mortes e 1.000 desabrigados

Fonte: Departamento do Corpo de Bombeiros do Estado do Rio de Janeiro

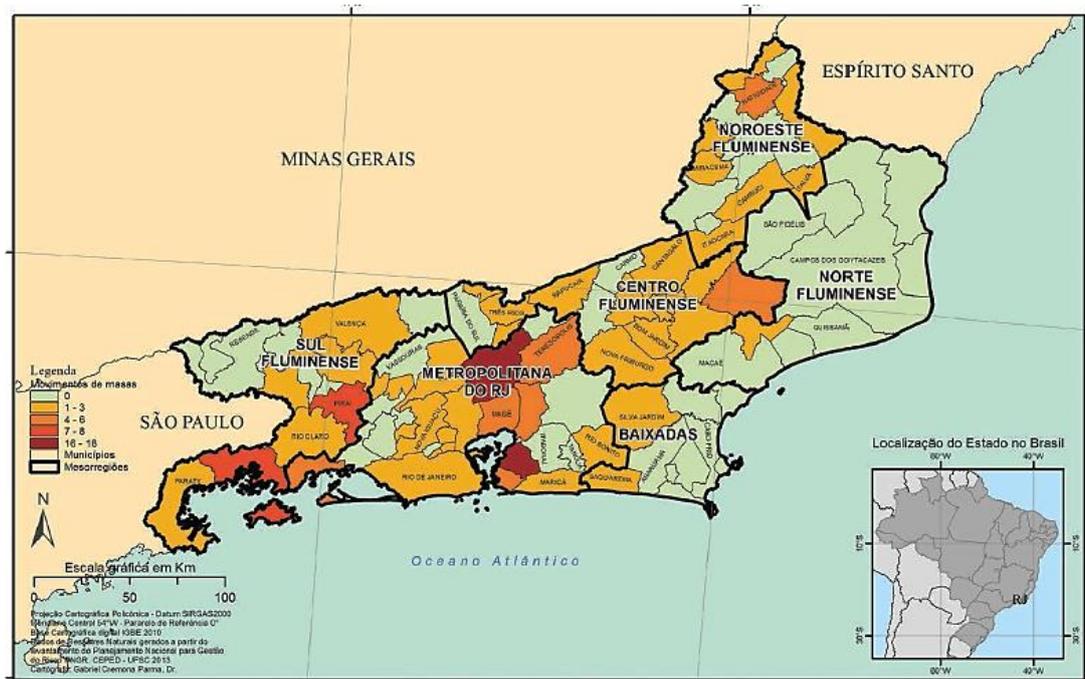


Figura 2: Registro de Movimentos de Massa no Estado do Rio de Janeiro

Fonte: Atlas Brasileiro de Desastres Naturais – 1991 a 2012 – Volume Rio de Janeiro

De acordo com o relato histórico da criação da Fundação Geo-Rio, em 1966, fortes chuvas ocorreram na cidade do Rio de Janeiro no mês de Janeiro, sendo contabilizados deslizamentos às centenas, um saldo de 400 (quatrocentos) mortos, mais de 500 (quinhentos) feridos e milhares de desabrigados. Após esse fenômeno, sobre forte pressão popular, o então Governador do Estado da Guanabara, Francisco Negrão de Lima, assina o decreto que cria o Instituto de Geotécnica do Rio de Janeiro – hoje Fundação Geo-Rio. Os acontecimentos daquele ano deixaram o Rio de Janeiro em estado de calamidade por alguns dias, fato que gerou uma forte repercussão nacional e internacional.

Dentre as várias atribuições do novo órgão, estavam o cadastramento de todas as situações de risco, elaboração de planos de emergência e planos de longo prazo. À época não existiam profissionais capacitados para trabalhar apenas com obras de contenção. Sendo assim, os profissionais que se envolveram nos trabalhos da Fundação Geo-Rio construíram o conhecimento relacionado às obras de contenção empiricamente, caso a caso. O trabalho pioneiro e o empreendedorismo dos seus colaboradores levaram a Fundação a ter rápido reconhecimento mundial, sendo elevada ao grau de excelência nessa área. Ficava, assim, marcada criação de uma política racional de ocupação das encostas com a aplicação de recursos em

diversas obras de contenção em regiões perigosas, aliados ao mapeamento das características geomorfológicas do solo do Rio de Janeiro e ao rigor aplicado na aprovação de projetos da iniciativa privada concernentes a ocupação de encostas e as obras de contenção.

Atualmente, a Fundação Geo-Rio, com mais de quatro décadas de atuação, já demonstrou toda a sua importância tendo em seu acervo mais de 3000 (três mil) obras de contenção, um quadro técnico respeitado e um enorme patrimônio de manuais técnicos que serve de norte à maior parte das obras de contenção no país, tendo já alcançado o grau de patrimônio técnico dos brasileiros. Na Figura 3, tem-se o Centro de Operações da Fundação Geo-Rio criado depois do Megadesastre ocorrido.



Figura 3: Centro de Operações Prefeitura do Rio de Janeiro

Fonte: tecnoblog.net

Como observado na Tabela 1 que resume os principais acontecimentos atinentes aos deslizamentos de massa ocorridos no Estado do Rio de Janeiro o primeiro registro em 1711 até 2012, em função dos dados disponíveis, índices pluviométricos, danos e prejuízos são apontados. Constata-se que o Rio de Janeiro é palco de cenários de desastres de encostas por mais 300 (trezentos) anos, independentemente de aquecimento global, mas principalmente pelas suas características geológica, geomorfológicas e climáticas.

3. Caracterização Geomorfológica

Nesse capítulo foi feita uma análise inicial e de cunho essencialmente informativo – tendo em vista que não é propósito desse estudo caracterizar de maneira profunda a geografia ou o solo da região serrana do Rio de Janeiro – sobre o relevo, o solo, o clima e a pluviometria da área onde ocorreu a catástrofe. De maneira prática, será posto em tela como esses fatores foram determinantes para ocorrência do desastre. Junto a essas caracterizações, será posto que a maneira como os morros foram ocupados e as desordens determinadas de maneira antropológica que contribuíram significativamente para transformar um fenômeno natural em uma tragédia descomunal. Também será feita uma análise sobre como a instrução normativa não foi obedecida quanto aos fatores de segurança que deveriam ser respeitados para que acidentes de grandes proporções fossem evitados.

3.1. Clima

O clima da região serrana do estado do Rio de Janeiro é o tropical de altitude, caracterizados por verões úmidos e quentes e invernos secos e frios. A temperatura da região é amena, com médias anuais próximas de 19°C. Nos meses de verão a média é próxima dos 23°C e nos meses de inverno a média não passa dos 15°C. Nos arquivos históricos consta que a menor temperatura já registrada na região foi de -0,7°C e a maior de 36,6°C.

A região sudeste, onde se localiza o estado do Rio de Janeiro, possui mais de 10% da área do Brasil com mais de 900 mil Km². Caracterizado por uma grande variação de relevo e latitude, é marcado por ser área de transição entre o Brasil Meridional úmido e o Brasil Central ora seco, ora úmido.

A área serrana do Rio de Janeiro é governada pelo sistema climático Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), sendo este o principal agente ordenador das chuvas. Esse sistema climático é caracterizado pelo encontro entre a massa de ar quente e úmido vinda do Amazonas e a massa de ar frio, vinda do Sudoeste, estendendo-se desde Amazônia, passando pelo centro-oeste e até região sudeste.

A Figura 4 mostra o mapa das mesorregiões do Estado do Rio de Janeiro, com suas nomenclaturas citadas.

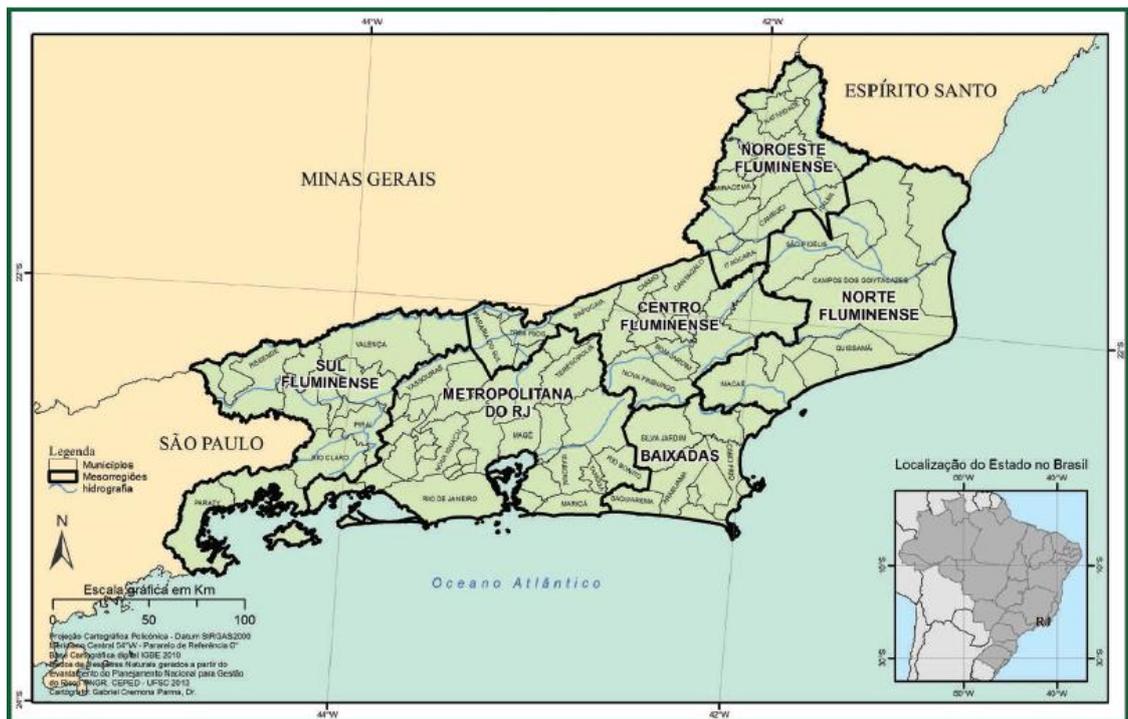


Figura 4 – Mapa das Mesorregiões do Estado do Rio de Janeiro

Fonte: Atlas Brasileiro de Desastres Naturais – Volume Rio de Janeiro

A Figura 5 mostra como foi o comportamento da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) no dia do acidente. A Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) é o principal fenômeno meteorológico que coordena o clima na região sudeste. Tal fenômeno é responsável por trazer a maior parte do volume de chuvas para o sudeste e centro-oeste, sendo tipicamente ocorridas durante o verão.

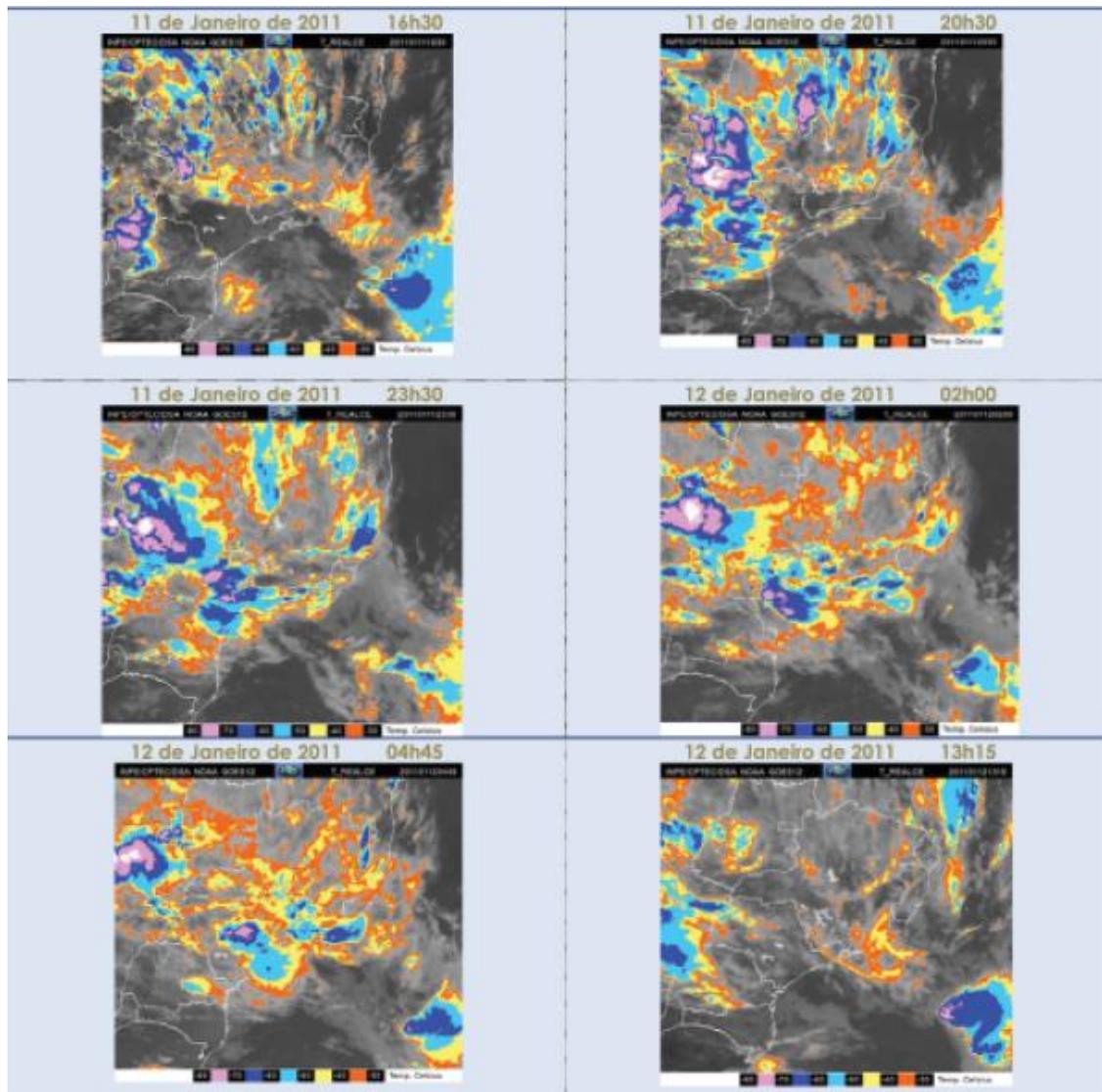


Figura 5 – Imagem Realçada da Zona de Convergência do Atlântico Sul no dia da Tragédia

Fonte: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)

3.2. Relevo

Como fica claro na nomenclatura da microrregião, o relevo da área é tipicamente composto de serras. Com muitas encostas e regiões muito íngremes, não raramente acontecem movimentos de massa na região. Dada a tão clara

insegurança das encostas, não parece óbvio, no entanto, a população e ao poder público que tais taludes devem ficar salvaguardados de se tornarem locais de moradia, de serem escavados tendo, dessa maneira, sua inclinação alterada, aumentando o seu ângulo de inclinação e, conseqüentemente, diminuindo o seu fator de segurança.

Fazendo uma alusão ao movimento de corpos em superfícies inclinadas, é fácil de observar como a alteração da inclinação pode influenciar o resultado. A Figura 6 exemplifica como funciona o movimento de corpos sobre planos inclinados com algumas simplificações que em nada alteram explicação dos fatos.

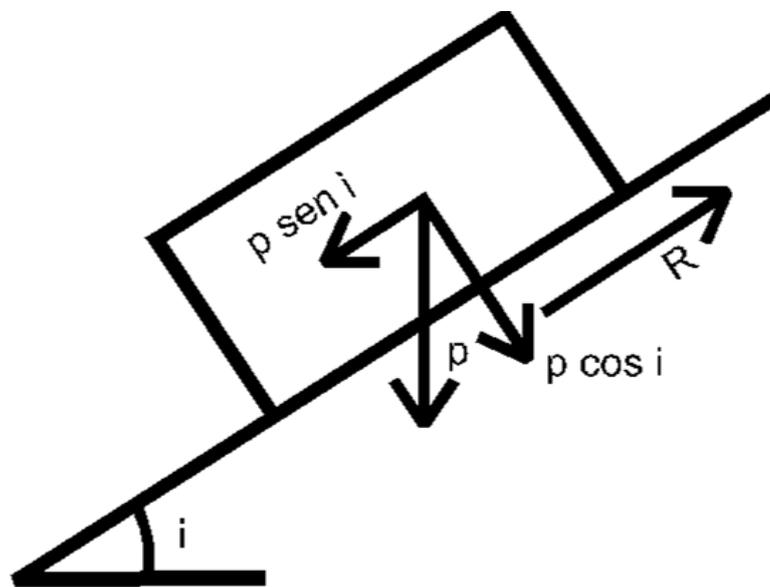


Figura 6 – Movimento de corpos em planos inclinados

Fonte: Notas de aula do Prof. Dr. Fábio Lopes Soares

Na Figura 6, é possível perceber como o aumento do ângulo, denominado na imagem de i , pode ser decisivo na estabilidade de um talude. Fisicamente, quanto mais é aumentado o ângulo, mais $p \cdot \sin(i)$ aproxima-se do peso total do bloco. O aumento da inclinação torna o bloco menos aderido à superfície, facilitando o seu movimento mais facilitado. Trazendo essa análise à estabilidade dos taludes, seria o que é chamado na literatura de equilíbrio limite. Segundo a equação 1, o fator de segurança de um talude é determinado a partir de uma relação entre as forças resistentes e as forças solicitantes:

$$FS = \frac{\text{Forças Resistentes (R)}}{\text{Forças Solicitantes (S)}} \quad \text{Eq. 1}$$

Se for desconsiderada a influência da coesão do solo, dado que em situações de saturação alguns tipos de solo, como os granulares ou não coesivos, essa característica do solo tem um valor muito pequeno, sendo desprezível, e considerando-se a pior situação para o cálculo do fator de segurança poderemos encontrar através da equação de tensão de superfície através de uma relação entre a força resistente e a área de superfície o que pode ser observado na equação 2, sendo φ o ângulo de atrito do solo, teremos:

$$\tau = \frac{P.Cos(i).Tan(\varphi)}{\text{Área da Superfície}} \quad \text{Eq. 2}$$

Sabendo disso, temos, substituindo-se a equação 2 na equação 1:

$$FS = \frac{P.Cos(i).Tan(\varphi)}{P.Sen(i)} = \frac{Tan(\varphi)}{Tan(i)} \quad \text{Eq. 3}$$

Como pode ser observado na rápida análise de equações feita acima e sabendo que através do círculo trigonométrico a tangente diminui no primeiro quadrante conforme o ângulo diminui que no estado de limite último da segurança ($FS = 1$) o ângulo de atrito será igual ao ângulo de inclinação do talude. Sendo assim, a maior inclinação do talude, para que o fator de segurança seja igual a um e, portanto, ele esteja no limite de segurança é o valor do ângulo de atrito, considerada a hipótese de coesão com valor desprezível.

Segundo CALDERANO, Filho (2012), o solo da região é, de maneira geral, latossolo de baixa profundidade. Esse tipo específico de solo possui ângulo de atrito próximo de 30° . É fácil encontrar na região rochas graníticas florando, sendo o solo uma camada fina acima dessa região rochosa. Essa baixa profundidade diminui a massa e deixa a superfície com baixo atrito aumentando ainda mais as chances de escorregamento de uma superfície sobre a outra. Segundo pesquisas realizadas na região, as encostas da região serrana do Rio de Janeiro são bastante inclinadas, passando, não raramente, dos 45° , sendo assim as inclinações da região não

respeitam essa relação que determina o fator de segurança como 1 (um) que é o estado de limite último de resistência.

Na Figura 7 pode-se observar como o solo da região é raso, além de ser possível ver como funciona o mecanismo de ruptura das encostas do Estado do Rio de Janeiro.

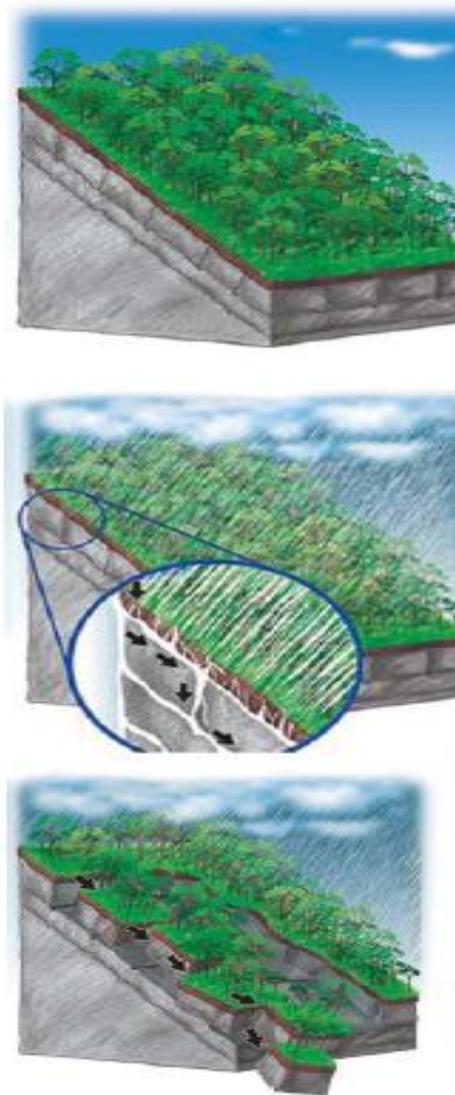


Figura 7 – Esquema do Mecanismo de Ruptura das encostas

Fonte: Professora Anna Laura Nunes

Como dito anteriormente, a coesão é responsável – embora de maneira menos importante que o ângulo de atrito, se observados, por exemplo, os principais métodos de análise de estabilidade de taludes que são Fellenius e Bishop – por parte da estabilidade de uma encosta. No entanto, solos saturados possuem a capacidade coesiva muito baixa, tendendo a 0 (zero). Na análise da estabilidade de encostas que sofram com uma intensa quantidade de chuva, a coesão do solo não

deve ser considerada, tendo em vista que a ideia de tal análise é determinar um fator de segurança para o qual a encosta estará com a possibilidade de rompimento muito pequena, sendo assim a coesão tem seu valor desprezado haja vista que em ocasiões de chuvas torrenciais essa característica do solo tem seu valor diminuído. É importante salientar que, mesmo que se respeite o fator de segurança, é difícil determinar que não acontecerá rompimento de uma encosta, considerando-se que as características do solo são imprecisas por serem determinadas de maneira pontual, ainda que tenham sido feitas muitas análises sobre ele.

A área das encostas naquela região é, teoricamente, área protegida sendo proibido seu uso para qualquer que seja o fim. Não obstante, a região é bem adensada, com pouca ou nenhuma infraestrutura básica de saneamento e ocupada, em sua grande maioria, por famílias de baixa renda. Há um processo claro de favelização da região, isso acaba gerando moradias sem as condições mínimas de infraestrutura e sem as boas práticas da Engenharia. De maneira geral, a população possui baixo índice de escolaridade o que gera, por consequência, moradores com pouca instrução acerca da educação ambiental, práticas corretas da engenharia, entre outros fatores importantes como o respeito à legislação vigente. Como consequência desses fatores, as edificações que ficam na região são feitas de maneira improvisada, com diversas falhas de Engenharia, desrespeito à legislação vigente gerando uma série de edificações que trazem riscos à vida dos moradores que estão sujeitos a tal condição. Um levantamento de campo feito na região observou que o descarte das águas cinza é feito de forma inadequada, o direcionamento das águas de chuva não é feito por calhas, a inclinação dos taludes é usualmente alterada para que possa comportar mais moradias, os arredores das casas são impermeabilizados acelerando o processo de arrasto da água, entre outros fatores que são responsáveis desencadear as tragédias.

Esse cenário demonstrado acima se repete em todas as cidades da região serrana do Rio de Janeiro. A maior parte da população reside em Áreas de Proteção Permanente (APP), que deveriam ser regiões onde não ocorreria uso do solo por ser uma região muito instável, com taludes muito inclinados e altos índices de pluviometria.

Segundo a professora Anna Laura Nunes (2011), um dos principais agentes condicionantes e propulsores da tragédia foram à utilização sem planejamento dos terrenos nas encostas dos morros. A explicação passa pelo fato que tal ocupação, inevitavelmente, precisa retirar a vegetação natural, desviar cursos naturais de rios e

muitas vezes alterar a inclinação do talude para que possa comportar mais moradias, sendo os perigos dessas circunstâncias demonstrados em parágrafos anteriores.

Segundo dados dessa mesma análise de campo feita na região, existem áreas onde há afloramento de nascente. O que reforça a tese de que essas regiões, sob hipótese alguma, deveriam ser ocupadas. É sabido que os deslizamentos de terra são processos naturais, pois a crosta terrestre está em constante adaptação e reformulação de sua superfície. Não cabendo a engenharia nenhuma interferência no que tange ao impedimento de tais movimentos. No entanto, a tecnologia existente nos meios acadêmicos tem total capacidade de impedir a catástrofe. Sendo assim, não há como tratar o acontecimento taxando-o de imprevisível, pois, embora não seja possível a movimentação do solo, é totalmente exequível o impedimento da tragédia, sendo utilizado para isso obras de contenção, zoneamento da cidade, proteção de áreas instáveis, entre outros meios possíveis. Tais meios, não são impeditivos ao movimento, mas tem capacidade de impedir a perda de vidas e diversos prejuízos financeiros. A geologia, topografia e pluviometria da região, davam indícios claros de que escorregamentos deveriam ser esperados. Portanto, a tragédia passa muito pelo crivo do poder público que permitiu – ou não coibiu, por assim dizer – a ocupação desordenada das encostas de serras e beiras de rios. Pode ser tratado como risco assumido, quando os responsáveis por gerenciar os terrenos nesses arredores não extinguiram as moradias de tais áreas, mais atenção será dada ao assunto que será retomado mais adiante quando tratarmos de possíveis soluções para que a tragédia fosse evitada.

Nessas condições era notório que o que deveria ser um processo natural e sem prejuízos a vidas humanas – excetuando-se eventualidades – tornou-se uma catástrofe. Se for buscada informação na instrução normativa que dita a segurança de encostas – NBR 11682/2009 –, serão encontrados valores mínimos para os fatores de segurança. Na Tabela 2 pode-se determinar o nível de segurança desejado quanto à perda de vidas humanas que, nesse caso específico, é alto devido ao fato de que, de acordo com os critérios utilizados para a determinação do nível de segurança, áreas com intensa movimentação de pessoas, áreas com rodovias ou edificações residenciais precisam ter nível de segurança alto.

Tabela 2 – Tabela que determina o nível de segurança quanto à perda de vidas humanas

Nível de segurança	Critérios
Alto	Áreas com intensa movimentação e permanência de pessoas, como edificações públicas, residenciais ou industriais, estádios, praças e demais locais, urbanos ou não, com possibilidade de elevada concentração de pessoas Ferrovias e rodovias de tráfego intenso
Médio	Áreas e edificações com movimentação e permanência restrita de pessoas Ferrovias e rodovias de tráfego moderado
Baixo	Áreas e edificações com movimentação e permanência eventual de pessoas Ferrovias e rodovias de tráfego reduzido

Fonte: NBR – 11682/2009

Na Tabela 3, é determinado o fator de segurança quanto aos danos materiais e ambientais. Nesse caso, também de acordo com os critérios determinados pela a norma, o nível de segurança é alto, haja vista que as perdas patrimoniais na região são de valor muito alto. Como citado anteriormente nesse trabalho, o valor das perdas financeiras na região foi próximo de 4 (quatro) bilhões de reais, desconsiderando a perda de serviços essenciais como educação e saúde.

Tabela 3 – Tabela que determina o nível de segurança quanto aos danos materiais e ambientais

Nível de segurança	Critérios
Alto	Danos materiais: Locais próximos a propriedades de alto valor histórico, social ou patrimonial, obras de grande porte e áreas que afetem serviços essenciais Danos ambientais: Locais sujeitos a acidentes ambientais graves, tais como nas proximidades de oleodutos, barragens de rejeito e fábricas de produtos tóxicos
Médio	Danos materiais: Locais próximos a propriedades de valor moderado Danos ambientais: Locais sujeitos a acidentes ambientais moderados
Baixo	Danos materiais: Locais próximos a propriedades de valor reduzido Danos ambientais: Locais sujeitos a acidentes ambientais reduzidos

Fonte: NBR 11682/2009

Na Tabela 4, a combinação dos níveis de segurança determinados nas Tabelas 1 e 2, são dados de entrada na tabela 3 que determina o fator de segurança que deve ser utilizado no dimensionamento da proteção da encosta estudada. No caso do Talude alvo de estudo desse trabalho, a combinação dos fatores determina um fator de segurança de 1,5.

Tabela 4 – Tabela para determinação do fator de segurança do talude de acordo com o nível determinado nas tabelas inferiores

Nível de segurança contra danos materiais e ambientais \ Nível de segurança contra danos a vidas humanas	Alto	Médio	Baixo
	Alto	1,5	1,5
Médio	1,5	1,4	1,3
Baixo	1,4	1,3	1,2

NOTA 1 No caso de grande variabilidade dos resultados dos ensaios geotécnicos, os fatores de segurança da tabela acima devem ser majorados em 10 %. Alternativamente, pode ser usado o enfoque semiprobabilístico indicado no Anexo D.

NOTA 2 No caso de estabilidade de lascas/blocos rochosos, podem ser utilizados fatores de segurança parciais, incidindo sobre os parâmetros γ , ϕ , c , em função das incertezas sobre estes parâmetros. O método de cálculo deve ainda considerar um fator de segurança mínimo de 1,1. Este caso deve ser justificado pelo engenheiro civil geotécnico.

NOTA 3 Esta tabela não se aplica aos casos de rastejo, voçorocas, ravinas e queda ou rolamento de blocos.

Fonte: NBR – 11682/2009

Os critérios da norma atual são mais amenos quanto ao fator de segurança. Caso fosse utilizada a Tabela da instrução normativa anterior – NBR 11682/1991 –, seria encontrado o valor de 2 ou maior.

Prejuízos em todas as áreas, tanto de vidas humanas, como ambientais, culturais e financeiros, sendo notório que não houve obediência à instrução da norma. Não houve, pelo poder público, vontade e nem coragem de resolver os problemas das famílias ali residentes. Somaram-se ao descaso e aos fatores condicionantes de geologia e topografia, chuvas torrenciais e uma grande chuva acumulada, além dos fatores condicionantes por ação humana e o que vimos foi uma catástrofe de proporções monumentais que entrou para história de maneira negativa com uma das 10 maiores catástrofes naturais do mundo.

3.3. Pluviometria

Merecendo atenção especial, a pluviometria é o fator condicionante mais importante no caso do rompimento de encostas, em qualquer caso, especialmente nesse. Em uma análise preliminar poderia se dizer que a chuva horária é o fator relevante mais importante, mas isso não é verdade. O acúmulo de chuvas nos dias

anteriores foi fator igualmente determinante nos deslizamentos. A região serrana do Rio de Janeiro, como já dito anteriormente, é governada pelo sistema climático ZCAS, possuindo clima quente e úmido no verão. São exatamente esses meses do ano, com suas “chuvas de verão”, que trazem pavor aos moradores do entorno das encostas. A média de chuvas na região é bastante alta. Na região de Petrópolis, por exemplo, a média anual de chuvas é de aproximadamente 2500 mm/ano sendo, nos meses de verão, algo próximo dos 250 mm/mês.

No caso especial do evento estudado neste trabalho, as condições climáticas eram bastante controversas. Segundo relato de moradores locais, tinha havido uma chuva de intensidade moderada e constante na região. De acordo com dados resgatados de estações pluviométricas da região, o acumulado de chuvas no mês de janeiro até o dia 11 – na madrugada desse dia para o dia 12 aconteceria à tragédia – era de cerca de 120 mm de chuvas. Em 24h choveu, segundo dados das mesmas estações, aproximadamente 240 mm. Os acumulados de chuvas combinados com as chuvas horárias deflagraram a tragédia. No gráfico que segue abaixo, foi feita, pelo autor da pesquisa que deu luz ao gráfico, uma análise por meio de deslizamentos induzidos da relação existente entre os movimentos de massa, a chuva acumulada nos últimos quatro dias e a chuva horária. O resultado, entre outros, foi o gráfico que é apresentado logo mais abaixo. Se, de maneira absolutamente experimental, for calculada a média de chuva diária daqueles dias será encontrado o valor de aproximadamente 10,45 mm/dia. Multiplicado por 4, que é a abrangência do gráfico, é encontrado o valor de aproximadamente 41,82 mm. Entrando com esse valor no gráfico, é fácil ver que a maior chuva horária seria de 70 mm/h, aproximadamente. Considerada a saturação anterior e que as estações registraram picos de, aproximadamente, 62 mm/h, é possível ver a aplicabilidade dessa pesquisa que apresentou o gráfico aqui referido. Na Figura 8 é possível visualizar a relação entre as chuvas horárias e acumuladas e os deslizamentos.

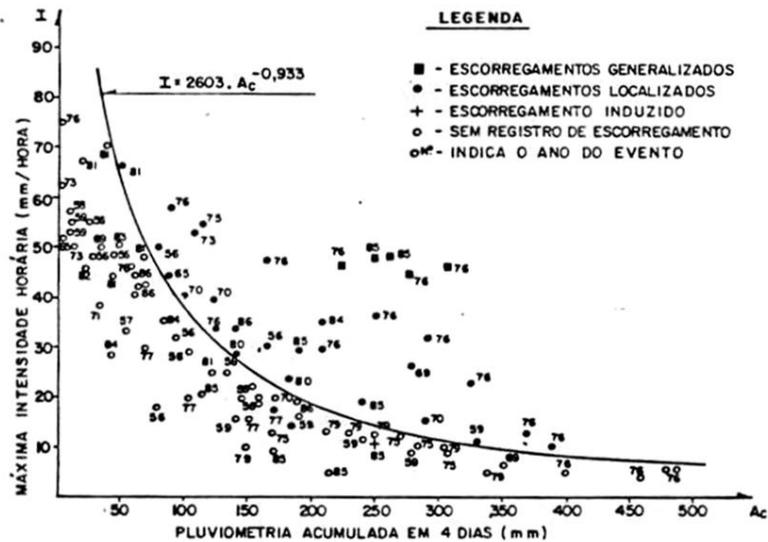


Figura 8 – Gráfico da envoltória que relaciona as chuvas horárias com o acumulado de chuvas, com respeito a deslizamentos de encostas na Região serrana do Rio de Janeiro

Fonte: Tatizana et al., 1987

Sendo assim, claramente pode-se ver a relação entre as chuvas acumuladas, as chuvas horárias e a instabilidade dessa região. No Brasil, a água é o principal agente não antrópico para eclosão de deslizamentos generalizados. Analisando os dados do acidente, podemos dizer que a chuva altera a coesão do solo, responsável pela manutenção da estabilidade das encostas, está diretamente relacionada à dinâmica das águas de superfície e infiltrada. Cabe dizer aqui, que essa relação guarda estreita relação com o regime de infiltração, o grau e tipo de instabilização e com a dinâmica das águas subterrâneas, de tal modo que o gráfico apresentado acima é aplicável apenas para região onde o estudo foi realizado. Dadas as incertezas geradas pelas diferentes formações de solo, um novo gráfico deve ser construído para cada região onde se deseja fazer o controle e aplicação desses conceitos apresentados de maneira prática nesse trabalho para que os resultados da nova avaliação sejam semelhantes aos apresentados aqui.

Além de modificar a coesão do solo, a chuva tem de gerar erosão no solo. A precipitação, quando em seu início e de baixa intensidade, gera erosão por embate, decorrente da energia de impacto da gota de chuva no solo. Esse tipo de erosão não apenas desintegra parcialmente os agregados naturais do solo, mas também promove uma lavagem lançando mão das partículas finas projetando-as para fora do maciço. Com o aumento da saturação do solo e da intensidade da chuva, a erosão

por embate dá lugar a erosão laminar ou lençol. Tal erosão promove um desgaste uniforme e contínuo da superfície do solo, retirando a resistência aparente da camada superior do solo. Em último caso, ocorre escoamento de água concentrado chamado de erosão linear, abrindo fissuras no solo e deixando o seu interior expostos aos mesmos problemas erosivos da superfície. O grande problema é que esse tipo de escoamento concentrado possui estágios: primeiro abre sulcos, que com o tempo avança para ravinas, culminando, por fim, em voçorocas que já é, ambientalmente, uma catástrofe, pois em caso de voçoroca o lençol freático já está aparente, podendo ser contaminado e provocar ainda mais erosão, por efeito de seu escoamento.

Para além do já citado, pode-se dizer da influência das chuvas nas águas de subsuperfície. A chuva não fica totalmente na superfície do solo. Se por um lado ela atua de modo a gerar erosão na superfície do solo, por outro, através da taxa de infiltração do solo, atua de modo a alterar o nível de água no interior do maciço. Essa alteração do volume de água do solo gera alteração do nível piezométrico reduzindo as tensões efetivas e, conseqüentemente, a resistência do solo a deslizamentos, altera a coesão aparente do solo que é um dos responsáveis diretos do impedimento a escorregamentos, eleva a coluna de água no interior do solo em descontinuidade gerando erosão interna no maciço.

A partir dessa análise pode surgir o questionamento: então, o que é melhor, solos permeáveis ou solos impermeáveis? É impossível responder essa pergunta sem incorrer em falha analítica. Qualquer um dos dois tipos possui vantagens e desvantagens. Se por um lado os solos impermeáveis, como os que possuem grande quantidade de argila e silte, estão pouco sujeitos à influência da chuva em suas águas de subsuperfícies, é muito mais erodível o que traz a tona todos os problemas da erosão. De mesmo modo, solos muito permeáveis, como as areias e os solos mais granulares, tem pouca atuação da erosão, mas é totalmente suscetível aos efeitos da chuva nas águas de subsuperfície.

Sabendo, a partir do que foi exposto aqui, dá importância da pluviometria e do temível efeito da chuva na estabilidade das encostas, pode-se dizer que foi fator preponderante para a tragédia ocorrida na região serrana do Rio de Janeiro. A chuva acumulada nos dias anteriores e as fortíssimas chuvas ocorridas em apenas 24h tiveram participação direta em praticamente todas as etapas dos movimentos de massa ocorridos que vitimaram centenas – talvez milhares – de pessoas naquela madrugada. É sabido que não é nenhuma novidade que aquela região sofre no

início do ano com fortes chuvas. Historicamente, há relatos de deslizamentos desde o século XIX, não sendo nenhuma novidade que existem deslocamentos de maciços na área. Disso pode-se concluir que faltou gerência, prudência e celeridade as autoridades municipais e estaduais para que o problema tivesse sido resolvido. Na Figura 9 pode-se observar o índice pluviométrico da cidade de Petrópolis.

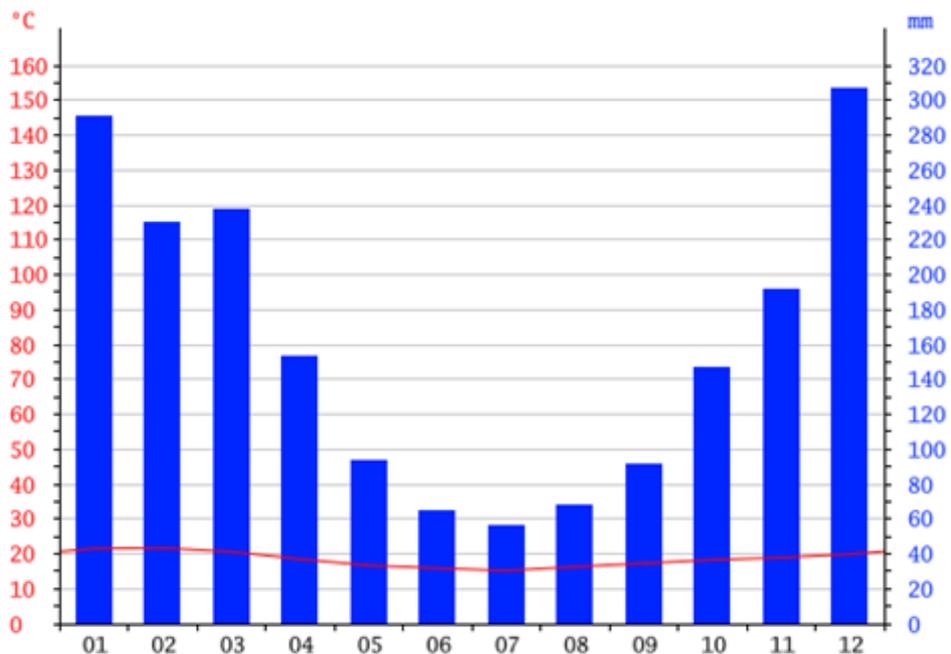


Figura 9 – Gráfico climático da cidade de Petrópolis, uma das que mais sofreu com os deslizamentos

Fonte: Climate-data.org

4. Caracterização dos tipos de Movimentos de Massa

Nesse capítulo será feita uma caracterização técnica dos tipos de movimentos de massa ocorridos nessa catástrofe. Faz-se necessária a diferenciação de alguns pontos relevantes para continuação do trabalho de modo a não permitir dúvidas. Os sub capítulos serão nomeados conforme o tipo de movimento de massa para permitir uma melhor explicação de cada um deles.

Os deslizamentos foram tão fora do comum que o Serviço Geológico do estado de Rio de Janeiro do Departamento de Recursos Minerais (DRM) classificou de maneira especial esses escorregamentos de solo. Olhando para a Figura 8, observam-se, nas manchas vermelhas presentes na Figura 10, as fraturas deixadas

por todos os movimentos de massa que aconteceram preferencialmente na região norte do cume da serra. O DRM (2011) classificou em cinco grandes grupos, todos serão descritos e explicados logo mais abaixo.



Figura 10 – Mapa de distribuição das cicatrizes dos deslizamentos ocorridos na região serrana do Rio de Janeiro

Fonte: Extraído do DRM

4.1. Fluxos Torrenciais, Hiperconcentrados e Debris flows

Esse tipo de movimento de massa ocorre, geralmente, do ponto mais alto para o mais baixo e em sua descida carrega o que encontrar pela frente, seja solo, seja rocha. A classificação se é lama, terra, detritos ou qualquer outra classificação depende da relação água/solo. São grandes movimentos que ocorrem como escoamento rápido. Tem um potencial destrutivo gigantesco, pois carrega grande volume de material em um extenso raio de cobertura.

Tal processo tende a ser ampliado à medida que as encostas são ocupadas irregularmente e sem nenhum critério técnico. Como pode-se concluir, o agente

deflagrador é, além das atividades inadvertidas antrópicas, a chuva que satura a matéria, diminui sua coesão aparente e o carrega dos pontos mais altos aos pontos mais baixos.

Na Figura 11 observa-se a exemplificação do funcionamento de uma corrida, além de uma imagem de satélite da área da tragédia. A mancha vermelha aponta o local onde ocorreram movimento de *Debris Flow*.

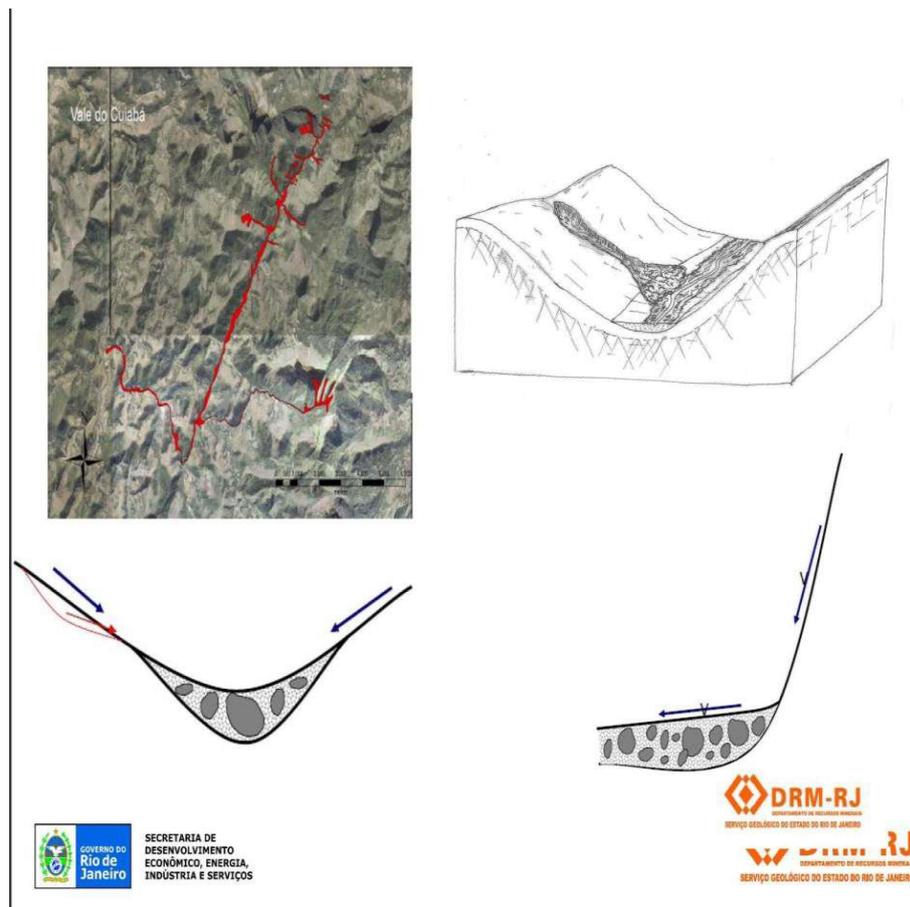


Figura 11 – Imagem de satélite de um dos movimentos de corrida ocorridos no Vale do Cuiabá, na Região Serrana do Rio de Janeiro

Fonte: Extraído do DRM

4.2. Deslizamento do tipo “Na Parroca” (DRM)

Definido como um movimento de terra no qual uma quantidade de material é mobilizada do alto da encosta, gerando uma onda de choque ou força de arrasto no pé da escarpa, esse tipo de deslizamento é bastante perigoso, pois durante sua queda adquire alta carga de energia cinética que tende a ser dissipada no seu

impacto no fim do percurso. O impacto originado pelo material depositado, por sua vez, desencadeia outros movimentos de massa secundários com volume e capacidade de destruição muito maior que o primeiro. Esse deslizamento é caracterizado pela instabilidade no contato solo/rocha gerada pela elevação da poro-pressão na fina camada de solo existente no topo da rocha.

Pode ser facilmente desencadeado – existe a suspeita no caso do Rio de Janeiro, através de relatos de moradores da região – por estrondos de grandes proporções, como o barulho de trovões.

Na Figura 12 é mostrado como funciona o movimento do tipo “na Parroca” que, segundo relatório do DRM (2011), foi uma nomenclatura utilizada para esse desastre em especial.

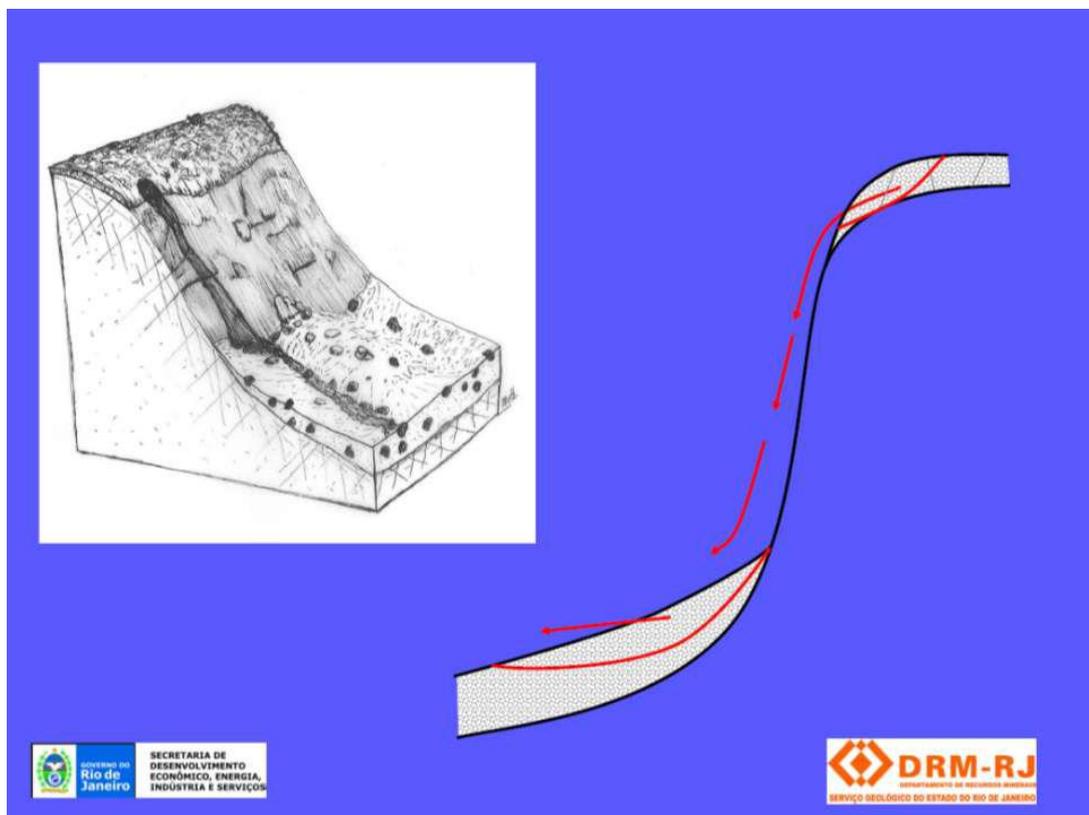


Figura 12 – Exemplo de deslizamento do tipo “Na Parroca”

Fonte: Extraído do relatório do DRM

4.3. Deslizamentos do tipo “Rasteira” (DRM)

Esse tipo de deslizamento é causado pela erosão fluvial, que descalça o talude gerando ainda mais instabilidade. O material carreado por esse tipo específico de deslizamento pode tanto alimentar corridas, como dar origem, em pontos de estrangulamento, ao represamento de material dificultando que a drenagem seja operada com eficiência. Acontece em altíssima velocidade e tem potencial para grande volume de destruição.

Na figura 13 é apontada a forma de movimentação do tipo “Rasteira” (DRM, 2011).

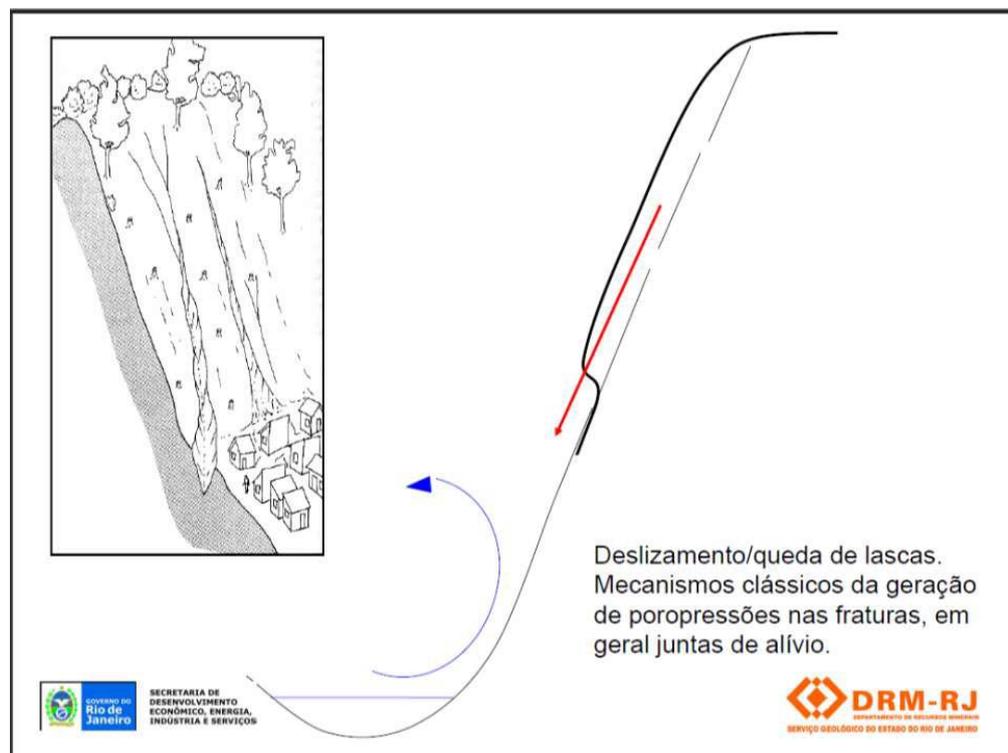


Figura 13 – Exemplo de deslizamento do tipo rasteira

Fonte: Extraído do relatório do DRM

4.4. Deslizamento “tipo Vale Suspenso” (DRM)

Deslizamento que alcança grandes profundidades, planares e, geralmente, de forma circular não possui grandes alcances, mas carregam consigo grande volume de material. Ocorrem primeiro com a incidência da água acumulada no solo,

gerando buracos e fissuras, são mais lentos e, portanto, de identificação mais fácil. Ocorrem normalmente em vales ou drenagens fluviais afluentes que possuam desnível para o vale principal.

Na Figura 14 é observada a forma de ruptura do tipo “Vale Suspenso” (DRM, 2011)

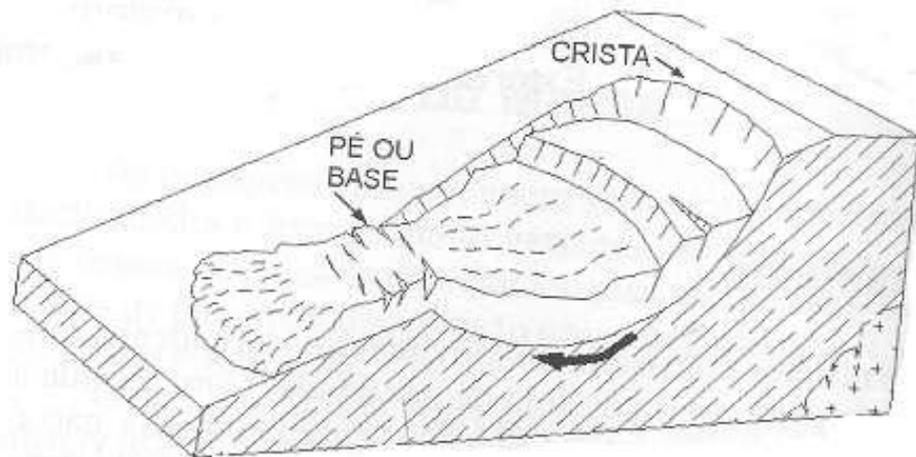


Figura 14 – Exemplo de deslizamento do tipo “Vale Suspenso”

Fonte: Extraído do relatório do DRM

4.5. Deslizamento do “tipo Catarina” (DRM)

Recebeu esse nome em referência ao principal movimento ocorrido em Santa Catarina em 2008. É um movimento de alta velocidade onde o material mobilizado sofre ruptura na superfície de transição entre o solo jovem e o solo maduro. Ocorre pelo aumento da poro-pressão na base das concavidades das encostas, oriundo da infiltração e armazenamento de água entre a camada fina de solo e a rocha que está sob ela. Esta infiltração gera uma instabilidade no solo, dando início a sua ruptura.

Este movimento ocorre em camadas de solo com menos de 1,5m de profundidade e em zonas não tão íngremes.

Na Figura 15 é mostrado um exemplo do local onde ocorreu o deslizamento do “Tipo Catarina” na região do desastre.



Figura 15 – Imagem de deslizamento do tipo Catarina no local da tragédia

Fonte: Extraído do relatório do DRM

5. Impactos

As combinações dos fatores naturais e antropológicos demonstrados nos capítulos anteriores expuseram a população a uma condição de iminente risco, colocando-os em uma situação de vulnerabilidade onde não havia como escolher. A atitude do poder público de fazer calçamento de ruas, ligação de luz e água entre outras atitudes, deram a população a sensação de segurança quando, na verdade, era imediata a retirada da população para evitar o acidente.

A recorrência de situações semelhantes, resguardadas as devidas proporções, mostra que o problema está longe de ser resolvido. Há uma série de consequências para a população destas áreas, sejam elas econômicas ou sociais, bem como outras implicações indiretas, envolvendo saúde e os riscos que tais deslizamentos representam à vida dos moradores das zonas estudadas.

5.1. Impactos Sociais

Mais de 900 mortes e 300 mil pessoas afetadas segundo, grande parte dos impactos foi causada pelos deslizamentos de terra. Segundo relatório do Banco

Mundial, o número de funcionários envolvidos na operação de resposta serve de indicador para medir a escala do desastre. Em nosso caso, houve mais de mil funcionários de diversas agências (Defesa Civil, prefeituras, governos estaduais e municipais) trabalhando na região.

Ainda segundo o Relatório elaborado pelo Banco Mundial, com o apoio do Governo do Estado do Rio de Janeiro (2012, p. 9) “Os impactos do desastre na Região Serrana não se limitaram às perdas e danos, mas também configuraram um marco nas políticas de gestão de riscos e desastre no país”.

As chuvas de 2011 trouxeram à luz da discussão, as políticas e práticas de gestão de risco e desastres em níveis nacionais.

A Figura 16 traz um resumo da população atingida pela tragédia na serra.

Município	Afetados	Desabrigados	Desalojados	Mortos	Feridos
Areal	7,000	1,469	1,031	na	15
Bom Jardim	12,380	632	1,186	na	423
Nova Friburgo	180,000	3,800	4,500	420	900
Teresópolis	50,500	6,727	9,110	355	837
São José do Vale do Rio Preto	20,682	790	na	na	163
Sumidouro	15,000	240	311	22	13
Petrópolis	19,000	2,800	6,341	68	na
Total	304,562	16,458	na	na	na
Subtotal	-	-	22,479	865	2,351

Figura 16 – Tabela da População Atingida por Município.

Fonte: Secretaria Nacional de Defesa e Defesa Civil do Rio de Janeiro

5.2. Impactos Econômicos

Estima-se que os custos totais dos danos sejam da ordem de R\$ 4.78 bilhões. Dividindo-se entre os setores público e privado nas cifras de aproximadamente R\$ 3.15 bilhões para o primeiro e R\$ 1.62 bilhões para o último. No tocante a propriedade dos danos, o custo privado mais expressivo se deu para o setor habitacional, totalizando R\$ 647 milhões.

Na Figura 17 observam-se as propriedades das perdas classificadas em públicas ou privadas.

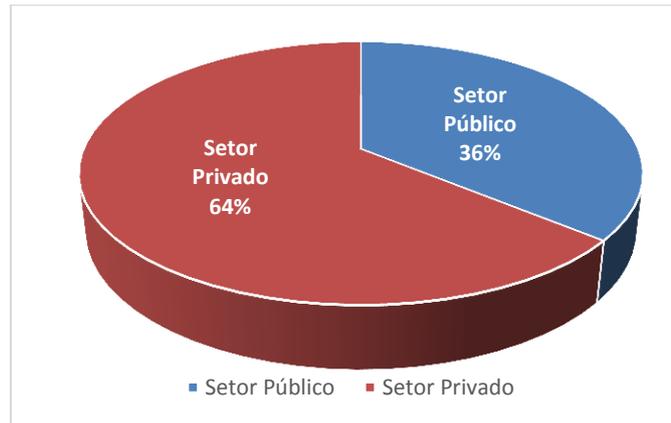


Figura 17 – Propriedades das Perdas e Danos

Fonte: Estimativas do Banco Mundial, de acordo com dados oficiais.

Todavia, é necessário frisar que os danos totais estimados omitem setores como educação e saúde — devido à ausência de dados. Os custos também se subdividem em dois outros grupos: custos diretos dos deslizamentos (que correspondem ao valor de R\$ 2.2 bilhões; 46% do total) e custos indiretos, dados pelas perdas (com a somatória de R\$ 2.6 bilhões, ou 54% do valor total).

Na Figura 18 são apontadas as perdas por setor atingido e dividido por propriedade, sendo mostrado no fim o total dessas perdas. Na Figura 19 é apresentado um gráfico que expõe de maneira clara a informação relacionada as perdas.

	IMPACTOS (R\$ 1,00)		PROPRIEDADES		TOTAL
	DANOS	PERDAS	SETOR PÚBLICO	SETOR PRIVADO	
INFRAESTRUTURA	R\$ 1.106.312.344,44	R\$ 16.426.518,04	R\$ 1.038.839.939,38	R\$ 83.898.923,10	R\$ 1.122.738.862,48
TRANSPORTE	R\$ 620.971.233,15	R\$ -	R\$ 620.971.233,15	R\$ -	R\$ 620.971.233,15
TELECOMUNICAÇÕES	R\$ 9.303.400,00	R\$ -	R\$ -	R\$ 9.303.400,00	R\$ 9.303.400,00
ÁGUA E SANEAMENTO	R\$ 453.890.352,83	R\$ 3.143.000,00	R\$ 417.868.706,23	R\$ 39.164.646,60	R\$ 457.033.352,83
ENERGIA	R\$ 22.147.358,46	R\$ 13.283.518,04	R\$ -	R\$ 35.430.876,50	R\$ 35.430.876,50
SETORES SOCIAIS	R\$ 721.817.800,00	R\$ 1.973.754.827,97	R\$ 2.047.382.327,97	R\$ 648.190.300,00	R\$ 2.695.572.627,97
HABITAÇÃO	R\$ 644.685.300,00	R\$ 1.964.987.327,97	R\$ 1.962.662.327,97	R\$ 647.010.300,00	R\$ 2.609.672.627,97
SAÚDE	R\$ 2.502.500,00	R\$ 8.767.500,00	R\$ 10.720.000,00	R\$ 550.000,00	R\$ 11.270.000,00
EDUCAÇÃO	R\$ 74.630.000,00	R\$ -	R\$ 74.000.000,00	R\$ 630.000,00	R\$ 74.630.000,00
SETORES PRODUTIVOS	R\$ 294.724.415,61	R\$ 601.376.475,88	R\$ 2.000.000,00	R\$ 894.100.891,49	R\$ 896.100.891,49
AGRICULTURA	R\$ 124.000.000,00	R\$ 90.000.000,00	R\$ -	R\$ 214.000.000,00	R\$ 214.000.000,00
INDÚSTRIA	R\$ 30.184.961,00	R\$ 123.297.889,00	R\$ -	R\$ 153.482.850,00	R\$ 153.482.850,00
COMÉRCIO	R\$ 133.539.454,61	R\$ 335.678.586,90	R\$ -	R\$ 469.218.041,49	R\$ 469.218.041,49
TURISMO	R\$ 7.000.000,00	R\$ 52.400.000,00	R\$ 2.000.000,00	R\$ 57.400.000,00	R\$ 59.400.000,00
MEIO AMBIENTE	R\$ 71.466.000,00	R\$ -	R\$ 71.466.000,00	R\$ -	R\$ 71.466.000,00
TOTAL	R\$ 2.194.320.560,05	R\$ 2.591.557.821,89	R\$ 3.159.688.267,35	R\$ 1.626.190.114,59	R\$ 4.785.878.381,94

Figura 18 – Tabela do Sumário das Perdas e Danos causados pelas inundações e deslizamentos na Região Serrana do Rio de Janeiro.

Fonte: Estimativas do Banco Mundial, de acordo com dados oficiais.

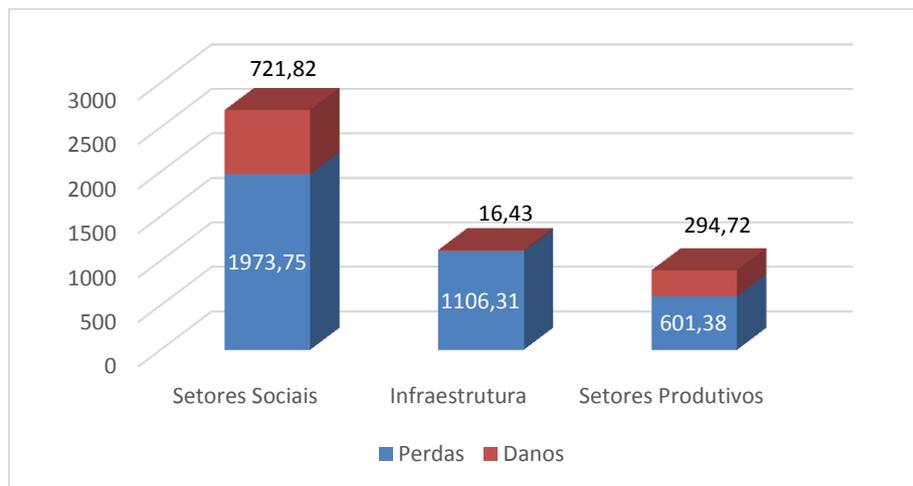


Figura 19 – Perdas e Danos por Setor (R\$ milhões)

Fonte: Estimativas do Banco Mundial, de acordo com dados oficiais.

6. Conclusão

Durante todo o trabalho, foram levantados os dados acerca do maior desastre natural ocorrido no Brasil. Utilizamos ele por parâmetro, a fim de demonstrar as implicações, os riscos e as consequências de uma ocupação desordenada em áreas

de talude. Por meio de caracterizações e métodos analíticos, foram levantados os dados do desastre. É imprescindível dizer que, apesar de ser uma situação extrema, os deslizamentos ocorridos em 2011 servem de marco para o estudo de tais movimentos de massa e suas implicações. Os números alarmantes, as proporções da catástrofe e a resposta por parte do poder público nos trazem questionamentos e respostas. Não obstante à inevitabilidade dos movimentos de massa, podemos afirmar que medidas socioeducativas podem minimizar tais danos, em curto, médio e longo prazo. Ainda que esta solução seja tão e somente um paliativo.

É primordial falar da infraestrutura, observa-se que a população mais carente é mais afetada pelos acidentes envolvendo deslizamentos e processos erosivos. O motivo é claramente compreensível dado que as zonas íngremes são ocupadas por comunidades de baixa escolaridade e renda. Nota-se então que devido ao baixo nível aquisitivo, as comunidades tampouco têm auxílio do poder público, faltando-lhes meios básicos como saneamento, coleta de lixo entre outros fatores. Tais deficiências na infraestrutura possuem implicações diretas sobre a proporção dos acidentes, afinal, apenas com medidas corretivas nas encostas é que poder-se-ia minimizar os danos. Haja vista que a água é um dos fatores mais importantes, devido a sua correlação com a coesão do solo, deve-se também tomar a falta de saneamento e coleta de águas pluviais como um risco. Afinal, as águas oriundas das chuvas provocam a erosão e o arraste das partículas, além da umidade do solo ser inversamente proporcional à sua coesão, como demonstrado no estudo, o que diminui o ângulo de atrito e conseqüentemente a angulação máxima do talude.

O vasto leque de intervenções deve ser aplicado nestas áreas, a fim de minimizar ou anular os possíveis danos causados pelos deslizamentos de terra. Reeducação da população local, com políticas para moradores e escolas; reorganização das áreas ocupadas, com o realojamento de pessoas desabrigadas e retirada da população em zonas de risco; regulamentação da ocupação do solo; implantação de um sistema eficiente de alarme e controle e manutenção para que ele funcione.

O poder público tem uma grande responsabilidade nesse desastre, pois é evidente que houve negligência com respeito infraestrutura da região e a liberação para ocupação indevida da área. A área em questão não tem permissão para que sejam construídas moradias, entretanto o poder público foi omissivo e negligente permitindo que a população ocupasse de regiões de proteção, pondo em risco a saúde e a segurança da população. A falta de ação governamental vai desde a

permissão à moradia desrespeitando o zoneamento determinado para a região, até a não retirada da população desobediente a legislação vigente. Esses fatores combinados culminaram em uma série de problemas como a lavagem do pé de talude, saturação do solo sem atuação da chuva, edificações em áreas de risco, entre outros fatores.

O histórico de acidentes no Estado do Rio de Janeiro é bastante extenso como ficou claro na discussão desse trabalho. Portanto é de primordial importância que haja tão breve quanto possível uma regulamentação de uso do solo. No entanto, além dessa regulamentação – que já existe no Estado do Rio de Janeiro –, haja uma cobrança efetiva por partes das autoridades públicas, através de seus agentes delegados, a fim de que a população não se ponha em risco.

A implementação de uma Lei que trate com o cuidado devido as encostas no Brasil deve ser uma proposta analisada com o máximo de cuidado pelos técnicos, porque no Brasil são bastante comuns casos de deslizamentos de encostas. Sendo assim, uma das soluções apontadas por esse trabalho é que seja criada a “Lei: Carta Geotécnica de Suscetibilidade” que trate do mapeamento das encostas brasileiras classificando-as de acordo com o risco de escorregamento.

Um estudo de chuvas horárias e acumuladas e sua relação com o escorregamento de encostas deve ser realizado para as principais cidades brasileiras onde há risco iminente de escorregamento, providenciando a retirada de população que eventualmente habite a região próxima a essas encostas. Para o caso de encostas onde existam condições de habitabilidade, tratar de educar a população local acerca do descarte correto de águas cinzas, da importância da manutenção da inclinação do talude, da não retirada da vegetação local, entre outros aspectos tão importantes para a segurança dos taludes.

Para a cidade de João Pessoa deve-se tomar como exemplo a lentidão das autoridades públicas do Rio de Janeiro em solucionar os problemas existentes na região sob risco eminente desastre. A ação imediata do poder público não evita os deslizamentos, entretanto pode evitar diversas mortes como as que aconteceram na região serrana do Rio de Janeiro.

Vale ainda ressaltar que em conjunto com o aumento dos impactos econômicos de desastres no estado do Rio de Janeiro, observa-se um incremento significativo do número de óbitos relacionados aos mesmos. Considerando-se apenas os desastres da Região Serrana, 905 pessoas perderam suas vidas, o que representa 50% do total de mortes em 20 anos de desastres no estado (entre os

anos de 1991 e 2010, foram registrados 28 desastres e 1.783 mortes). Apesar dessas informações, é preciso verificar-se que os registros podem ser incompletos haja vista a pouca tradição do Brasil no setor de gestão de riscos e desastres e, portanto os reais impactos econômicos e sociais possam estar sendo subestimados.

Sendo assim, é possível concluir através desse trabalho que o investimento em um mapeamento das áreas de encostas sob risco de escorregamento é, além de uma questão importante no que tange ao gerenciamento desses taludes por partes dos órgãos governamentais, uma questão importante social e economicamente. Fica claro através desse estudo realizado que os impactos socioeconômicos do desmoronamento de encostas são desastrosos e irremediáveis.

REFERÊNCIAS

ANUÁRIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS: 2011, CENTRO NACIONAL DE GERENCIAMENTO DE RISCOS E DESASTRES. – BRASÍLIA: CENAD, 2012.

Avaliação de Perdas e Danos: Inundações e Deslizamentos na Região Serrana do Rio de Janeiro – Janeiro de 2011, Banco Mundial, 2011.

CASTILHO, V. Lucas; MAGALHÃES, C. O. Priscila; FABRIANI, B. Carmém. ANÁLISE DE UMA TRAGÉDIA AMBIENTAL E A PARTICIPAÇÃO DA POPULAÇÃO NO EQUACIONAMENTO DOS PROBLEMAS DE MORADIA: UM ESTUDO DE CASO DA TRAGÉDIA NA REGIÃO SERRANA DO RIO DE JANEIRO. VI Encontro Nacional da ANPPAS, 2012.

DOURADO, Francisco; ARRAES, C. Thiago; SILVA, F. Mariana. 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. UFRJ, 2012.

<http://blogs.estadao.com.br/olhar-sobre-o-mundo/catastrofe-no-rio-de-janeiro/>.
Último Acesso: 08/05/2016 01:17h

<http://extra.globo.com/noticias/rio/tragedia-regiao-serrana-2011/tragedia-na-regiao-serrana-teve-mais-mortos-que-divulgado-5685873.html>. Último Acesso: 04/05/2016 23:50h

<http://g1.globo.com/rj/regiao-serrana/noticia/2015/08/entidades-apontam-subnotificacao-de-vitimas-da-tragedia-de-2011-na-serra.html>. Último Acesso: 05/05/2016 21:43h

<http://noticias.r7.com/rio-de-janeiro/noticias/tragedia-na-regiao-serrana-e-resultado-da-negligencia-dos-governos-diz-especialista-20110113.html>. Último Acesso: 05/05/2016 21:37h

<http://oglobo.globo.com/rio/desastre-na-regiao-serrana-foi-maior-devido-ocupacao-irregular-do-solo-2838491>. Último Acesso: 04/05/2016 23:25h

<http://pt.climate-data.org/location/4484/>. Último Acesso: 08/05/2016 0:57h

<http://www.cadaminuto.com.br/noticia/103438/2011/01/21/catastrofe-na-regiao-serrana-do-rj-e-uma-das-piores-do-mundo-e-a-maior-na-historia-do-brasil>.
Último Acesso: 06/05/2016 22:28h

<http://www.ebc.com.br/noticias/meio-ambiente/2015/12/pior-enchente-do-rio-de-janeiro-completa-50-anos>. Último Acesso: 04/05/2016 23:10h

http://www.istoe.com.br/reportagens/285265_996+MORTOS. Último Acesso: 07/05/2016 23:14h

http://www.sempretops.com/wp-content/uploads/mapa_rio_de_janeiro.jpg. Último Acesso: 08/05/2016 0:37h

<http://www.unb.br/noticias/unbagencia/artigo.php?id=888>. Último Acesso: 08/05/2016 0:59h

<https://pt.wikipedia.org/wiki/Petr%C3%B3polis>. Último Acesso: 08/05/2016 0:12h

III Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 2012, LABOGEO: DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DOS SOLOS DO MUNICÍPIO DE TERESÓPOLIS- RJ, p. 1.

NBR 11682/1991

NBR 11682/2009

REFLEXÕES SOBRE OS DESASTRES AMBIENTAIS NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO: QUESTÕES SOCIOAMBIENTAIS E PSICOSSOCIAIS. UFF, 2014

RELATÓRIO DO DRM SOBRE O MEGADESASTRE DA SERRA – Rio de Janeiro, 2011.

RIBEIRO, L. HISTÓRICO DE ENVHENTES NO BRASIL – PARTE 3. 2014.

VULNERABILIDADE SOCIAL E DESASTRES NATURAIS: UMA ANÁLISE PRELIMINAR SOBRE PETRÓPOLIS, RIO DE JANEIRO. Senac/SP, 2013.

LISTA DE SIGLAS

APP – Área de Proteção Permanente
Cos – Cosseno
DRM – Departamento de Recursos Minerais
FS – Fator de Segurança
INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
mm – Milímetro
Sen – Seno
Tan – Tangente
UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro
ZCAS – Zona de Convergência do Atlântico Sul