



Maria Beatriz da Conceição Amaral dos Santos

**Avaliação de risco em encosta florestada
no Campus Gávea da PUC-Rio**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da PUC-Rio.

Orientador: Prof. José Tavares Araruna Junior

Rio de Janeiro,
Setembro de 2022



Maria Beatriz da Conceição Amaral dos Santos

**Avaliação de risco em encosta florestada
no Campus Gávea da PUC-Rio**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo.

Prof. José Tavares Araruna Junior

Orientador

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental–PUC-Rio

Profa. Marina Bellaver Corte

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental–PUC-Rio

Prof. Sérgio Tibana

UENF

Rio de Janeiro, 05 de setembro de 2022

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Maria Beatriz da Conceição Amaral dos Santos

Graduou-se em Engenharia Civil com domínio adicional em Empreendedorismo, pela PUC-Rio (Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro), em julho de 2019. Ingressou no curso de mestrado em Engenharia Civil (Geotecnia) no ano de 2019, pela mesma universidade, desenvolvendo dissertação na linha de pesquisa em Geotecnia Ambiental.

Ficha Catalográfica

Santos, Maria Beatriz da Conceição Amaral dos

Avaliação de risco em encosta florestada no Campus Gávea da PUC-Rio / Maria Beatriz da Conceição Amaral dos Santos ; orientador: José Tavares Araruna Junior. – 2022.

183 f. : il. color. ; 30 cm

Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, 2022.

Inclui bibliografia

1. Engenharia Civil e Ambiental - Teses. 2. Avaliação de risco. 3. GPR. I. Araruna Junior, José Tavares. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. III. Título.

CDD: 624

Para a pessoa que mais admirei na vida, meu padrinho, Luiz
Cezar Faria Alonso, que hoje é gratidão e muita saudade.

Agradecimentos

À minha família, Jozelina, Lucia, Cezar, João e Nicole por estarem ao meu lado em todos os momentos, por me lembrarem o quanto eu era capaz e como o meu sonho era possível.

Aos meus amigos emocionados, alunos do mestrado que fizeram das aulas presenciais e à distância uma grande troca de conhecimento, risos, mas também de nervoso. Obrigada por estarem comigo nesse árduo percurso acadêmico: Camila, Luan, Luís Paulo, Luiz Carlos, Marcela, Manoel, Marianna, Vanessa, Rachel e Yeni.

E, aos meus amigos irmãos Pâmela, Luciana, Michelly e Pietro, e ao meu Dream Team (Carol, Julia e Micaele) que mesmo com a distância, sempre se fizeram presentes e me ajudaram a quase não surtar. Obrigada pela irmandade.

Aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio, pela dedicação, ensinamentos e histórias compartilhadas, desde a graduação até o mestrado, como é bom ser filha da PUC! Em especial ao meu orientador, José Tavares Araruna Junior, por acreditar na relevância deste trabalho, pela sua disponibilidade, apoio e empatia em momentos de dificuldades, que foram fundamentais para a conclusão desta dissertação.

Agradeço também às minhas referências na vida acadêmica que me incentivaram a realizar esse mestrado, obrigada por cada palavra de apoio e atitude de carinho, que fizeram toda a diferença, Maristella Roale (eterna favorita) e Luiza Martins (a melhor da PUC-Rio).

A todos que torceram por mim, meu muito obrigada.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Resumo

Santos, Maria Beatriz da Conceição Amaral dos; José Tavares Araruna Junior (Orientador). **Avaliação de risco em encosta florestada no Campus Gávea da PUC-Rio**. Rio de Janeiro, 2022. 183p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Riscos geológicos, tais como os escorregamentos, são os maiores causadores dos desastres naturais em ambientes urbanos. Além dos impactos ambientais negativos, este fenômeno implica em consequências socioeconômicas, uma vez que existe a necessidade de reparos imediatos da área degradada. A avaliação de risco, principalmente em áreas urbanizadas, é necessária para se evitar os possíveis desastres e assegurar a qualidade de vida da população no entorno. No presente trabalho, a avaliação de risco foi realizada em três seções da encosta do Morro Dois Irmãos, localizada na Gávea, Rio de Janeiro, que sofreram sucessivas rupturas após intensas precipitações. A avaliação e classificação do risco pela abordagem qualitativa foi determinada utilizando a metodologia proposta pelo Ministério das Cidades & IPT e do GIDES-CPRM através da realização da vistoria em campo. A encosta foi classificada como de risco alto a muito alto ao escorregamento. Os resultados da abordagem quantitativa, obtidos pelas análises determinísticas de estabilidade com base no método de Morgenstern-Price, evidenciaram que as superfícies de ruptura crítica das seções apresentam fator de segurança menor que 1,5. Já nas análises probabilísticas de estabilidade FOSM, foram obtidas probabilidades de ruptura de 0,19, 0,14 e 0,08 sendo as seções classificadas como “Perigoso” no que diz respeito ao nível de desempenho esperado. Com isso, o índice de vulnerabilidade local encontra-se na faixa de 0,7 a 0,8. Para as seções analisadas, são necessárias ações como forma de mitigar e recuperar a área ambiental e socialmente.

Palavras-chave

Avaliação de risco; GPR

Abstract

Santos, Maria Beatriz da Conceição Amaral dos; José Tavares Araruna Junior (Advisor). **Risk Assessment on a forested slope at PUC-Rio's Gávea Campus.** Rio de Janeiro, 2022. 183p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Geological hazards, such as landslides, are the biggest cause of natural disasters in urban environments. In addition to the negative environmental impacts, this phenomenon implies socioeconomic consequences, since there is a need for immediate repairs to the degraded area. Risk assessment, especially in urbanized areas, is necessary to avoid possible disasters and ensure the quality of life of the surrounding population. In the present work, the risk assessment was carried out in three sections of the slope of Morro Dois Irmãos, located in Gávea, Rio de Janeiro, which suffered successive ruptures after intense rainfall. The assessment and classification of risk by the qualitative approach was determined using the methodology proposed by the Ministry of Cities & IPT and GIDES-CPRM through field inspection. The slope was classified as high to very high slip risk. The results of the quantitative approach, obtained by deterministic stability analysis based on the Morgenstern-Price method, showed that the critical rupture surfaces of the sections have a safety factor lower than 1.5. In the FOSM stability probabilistic analyses, rupture probabilities of 0.19, 0.14 and 0.08 were obtained, with the sections classified as “Dangerous” with regard to the expected performance level. As a result, the local vulnerability index is in the range of 0.7 to 0.8. For the analyzed sections, actions are needed as a way to mitigate and recover the area environmentally and socially.

Keywords

Risk assessment; GPR

Sumário

1 Introdução	22
2 Riscos Ambientais e seus Desdobramentos	29
2.1 Conceitos e Definições.....	29
2.1.1 Risco e Perigo	29
2.1.2 Vulnerabilidade e Fragilidade	31
2.2 Risco e suas Classificações	33
2.2.1 Riscos Ambientais	34
2.2.2 Risco Atual, Potencial e Efetivo.....	36
2.3 Processos Causadores de Risco	37
3 Risco Geológico ao Escorregamento	41
3.1 Risco de Escorregamento	41
3.2 Forças Atuantes em um Talude	45
3.2.1 Fatores e Causas da Instabilização	46
3.3 Condição de Ruptura por Escorregamento	50
3.3.1 Fator de Segurança.....	50
3.3.2 Probabilidade de Ruptura.....	52
3.3.3 Nível de Segurança Desejado.....	56
3.3.4 Índice de Vulnerabilidade	57
3.4 Desastres	59
3.4.1 Impactos: Ambiental, Social e Econômico.....	60
3.4.2 Histórico de Desastres no Rio de Janeiro	62
4 Modelos de Avaliação de Risco	66
4.1 Gestão de Risco	66
4.1.1 Ciclo de Gestão de Proteção e Defesa Civil.....	67
4.1.2 Fases da Gestão do Desastre.....	71
4.1.3 Estados Operacionais	72
4.1.4 Prevenção e Mitigação	75

4.2 Avaliação de Risco	75
4.2.1 Modelo de Avaliação de Risco de Escorregamento de Terra....	81
4.2.1.1 Abordagem Qualitativa: Modelo do Ministério das Cidades & IPT.....	82
4.2.1.2 Abordagem Qualitativa: Modelo GIDES-CPRM.....	86
4.2.2 Abordagem Quantitativa: Perfil Topográfico e Geotécnico	94
4.2.2.1 Levantamento Topográfico	95
4.2.2.2 Determinação do Perfil Geotécnico	96
4.2.3 Ferramenta de Tomada de Decisão	101
5 Estudo de Caso.....	103
5.1 Localização	103
5.2 Caracterização da Área.....	104
5.2.1 Clima e Pluviometria.....	104
5.2.2 Vegetação	106
5.2.3 Geomorfologia e Geologia.....	108
5.2.4 Topografia e Perfil Geotécnico	109
5.3 Histórico: Autoestrada Lagoa-Barra, Túnel Acústico e Zuzu Angel	120
6 Resultados da Avaliação do Risco	126
6.1 Vistoria in loco	126
6.1.1 Seção 1: Edifício Metrô	127
6.1.2 Seção 2: RDC - Grupo de Geradores.....	130
6.1.3 Seção 3: RDC - Sistema de Refrigeração	134
6.1.4 Resultados das Metodologias	138
6.2 Análise de Estabilidade	138
6.2.1 Método de Cálculo e Parâmetros Geomecânicos	139
6.2.2 Resultado Análise da Estabilidade	140
6.2.2.1 Seção 1: Edifício Metrô	141
6.2.2.2 Seção 2: RDC - Grupo de Geradores.....	142
6.2.2.3 Seção 3: RDC - Sistema de Refrigeração	143
6.2.3 Avaliação da Probabilidade de Ruptura	145

7 Conclusões.....	150
7.1 Sugestões para Trabalhos Futuros	153
Referências Bibliográficas	154
APÊNDICE A: Modelo Ministério da Cidade & IPT	166
APÊNDICE B: Modelo GIDES-CPRM	173
APÊNDICE D: Resultado Seção 2- RDC (Grupo de Geradores)	177
APÊNDICE E: Seção 3- RDC (Sistema de Refrigeração)	179
APÊNDICE F: Propriedades Índices	181
APÊNDICE G: Parâmetros de Resistência	182
APÊNDICE H: Tabela da Distribuição Normal Padrão	183

Lista de Figuras

Figura 1- Crescimento das perdas econômicas devido a desastres naturais (Munich Reinsurance Company, 2002 apud Kreimer, 2003)	22
Figura 2-Acidentes geológicos e suas consequências	24
Figura 3-Organograma dos procedimentos metodológicos	27
Figura 4-Diagrama de análise da relação entre Perigo, Exposição e Vulnerabilidade (Adaptado Girão et al., 2013)	32
Figura 5-Risco Ambiental e suas causas (Cerri, 1993)	35
Figura 6-Gávea, Zona Sul (Mapa Online CPRM, 2021)	39
Figura 7- Suscetibilidade a Movimentos de Massa (Mapa Online CPRM, 2021)	40
Figura 8-Suscetibilidade a Inundação (Mapa Online CPRM, 2021)	40
Figura 9-Eventos de risco de escorregamento de terra causado por chuvas (NASA, 2019)	41
Figura 10- Risco produto do perigo e da vulnerabilidade (Lee & Jones, 2014)	43
Figura 11-Componentes do Risco de Escorregamento	45
Figura 12-Forças Atuantes em um Talude	46
Figura 13- Padrão de Talude como referência (ABGE, 1998 apud Marangon, 2018)	48
Figura 14 - Condicionante Geológica (Marangon, 2018)	48
Figura 15 - Diferença de Estabilidade num mesmo vale (Marangon, 2018)	48
Figura 16 - Escorregamento em Massa Coluviais (Marangon, 2018)	49
Figura 17 - Evolução do Fator de Segurança ao longo do Tempo (Camarinha, 2016)	52
Figura 18-Relação entre Índice de Confiabilidade e Probabilidade de Ruptura para Distribuição Normal (Assis et al.,2001)	55
Figura 19 - Reportagens de Escorregamentos no Rio de Janeiro	59
Figura 20-Movimentos de Massa por região no Brasil (CEPED/UFSC, 2012 apud Montandon, 2017)	61

Figura 21 - A evolução da Gestão de Risco foco nos desastres (Brasil, 2017)	67
Figura 22 - Ações integradas em Proteção e Defesa Civil (Brasil, 2017)	69
Figura 23 - Ciclo de Gestão de Proteção e Defesa Civil (CEPED/UFSC, 2014)	69
Figura 24 - Ciclo de um desastre (Marcelino, 2008)	72
Figura 25 - Fluxograma das etapas do processo de avaliação de risco (Lee e Jones, 2014)	77
Figura 26 - Cascata de Eventos de Risco (Lee e Jones, 2014)	79
Figura 27 - Sequência de Evento de Risco (Lee & Jones, 2014)	80
Figura 28 - Estrutura para avaliação e gestão de risco de escorregamento (Ho et al., 2000 apud Dai et al., 2002)	82
Figura 29 - Exemplo de ficha de campo preenchida (Brasil, 2007)	83
Figura 30 - Metodologia GIDES-CPRM (CPRM/SGB, 2018)	87
Figura 31 - Área de Estudo (CPRM/SGB, 2018)	88
Figura 32 - Qualificação de perigo à área crítica (CPRM/SGB, 2018)	91
Figura 33 - Funcionamento GPR (Souza, 2005)	99
Figura 34 - O gráfico de distância x profundidade (Utsi, 2017)	99
Figura 35 - Resultado de dados pelo perfil de reflexão (Porsani, 1999 apud Souza, 2005)	100
Figura 36 - Níveis de risco e a tomada de decisão (Lee e Jones, 2014)	102
Figura 37 - Identificação e Localização da área de estudo	103
Figura 38 - Mapa do Campus Gávea	104
Figura 39 - Mapa do Campus Gávea PUC-Rio (Núcleo de Memória PUC-Rio e Jornal da PUC)	107
Figura 40 - Planta topográfica	110
Figura 41 - Perfil Topográfico fundos DAU e RDC, 1, 2 e 3	112
Figura 42 - Levantamento GPR na seção 1 (DAU)	114
Figura 43 - Levantamento GPR na seção 2 (RDC)	114
Figura 44 - Levantamento GPR na seção 3 (RDC)	115
Figura 45 - Radargrama das seções de 1, 2 e 3	116
Figura 46 - Perfil Geotécnico seção 1 (DAU)	118
Figura 47 - Perfil Geotécnico seção 2 (RDC)	118
Figura 48 - Perfil Geotécnico seção 3 (RDC)	119

Figura 49 - Perfil Morfológico encosta (Daylac, 1994)	120
Figura 50 - Maquete da autoestrada passando pela PUC (Núcleo de Memória PUC-Rio)	121
Figura 51 - a) Frente e (b) Fundos Conjunto Habitacional 'Minhocão' (Acervo O Globo)	122
Figura 52 - (a) Construção do Túnel Acústico (b) Túnel Dois Irmãos (Acervo O Globo)	123
Figura 53 - Autoestrada Lagoa-Barra (Saudades do Rio, 2019)	124
Figura 54-Episódios de Escorregamentos próximos da Autoestrada	125
Figura 55 - Edifício Metrô 25/04/2022	127
Figura 56 - Fundos Edifício Metrô 25/04/2022	128
Figura 57 - Trinca parede e poste 25/04/2022	128
Figura 58 - Entulho e Feição erosiva 25/04/2022	129
Figura 59 - Deslocamento Canaleta 25/04/2022	129
Figura 60 - Inclinação de Árvores 25/04/2022	130
Figura 61 - Rio Datacentro 25/04/2022	131
Figura 62 - RDC (Grupos de Geradores) 25/04/2022	131
Figura 63 - Cicatriz de Escorregamento vista da base 25/04/2022	132
Figura 64 - Cicatriz de Escorregamento vista do topo 25/04/2022	132
Figura 65 - Deslocamento Canaleta 25/04/2022	133
Figura 66 - Inclinação de Árvores 25/04/2022	133
Figura 67-RDC (Sistema de Refrigeração) 25/04/2022	134
Figura 68-Cicatriz de Movimento de Massa 25/04/2022	135
Figura 69-Degrau de Abatimento 25/04/2022	135
Figura 70-Deslocamento Canaleta 25/04/2022	136
Figura 71-Caixa D'Água na crista do Talude 25/04/2022	137
Figura 72- Entulho na encosta (tubulação) 25/04/2022	137
Figura 73-Entulho na encosta (cobertura metálica) 25/04/2022	138
Figura 74-Análise de Estabilidade Seção 1A-B	141
Figura 75-Análise de Estabilidade Seção 2A-B	142
Figura 76-Análise de Estabilidade Seção 3A-B	143

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Conceitos e definições de risco e perigo	30
Tabela 2 - Desastre Natural por Região Brasileira (Parizzi, 2014)	37
Tabela 3 - Ranking de municípios com população em áreas de risco (AGÊNCIA DE NOTÍCIAS IBGE, 2018)	38
Tabela 4 - Ranking das regiões brasileira com população em áreas de risco (Saraiva, 2018; Vettorazzo, 2018)	39
Tabela 5-Fatores e respectivas Causas de Escorregamento (Ziegler, 2013)	47
Tabela 6 - Fator de Segurança e Condições do Talude (Carvalho, 1991 apud Ecks, 2014)	51
Tabela 7-Relação Parâmetros e Coeficiente de Variação Sandroni e Sayão (1993)	54
Tabela 8 - Relação entre índice de confiabilidade e probabilidade de ruptura (U.S. Corps of Engineers,1997)	55
Tabela 9 - Nível de Segurança Desejado Contra a Perda de Vidas Humanas (NBR11682/2009)	56
Tabela 10 - Nível de Segurança Desejado Contra Danos Materiais e Ambientais (NBR11682/2009)	57
Tabela 11 - Fator de Segurança Mínimos para Escorregamentos (NBR11682/2009)	57
Tabela 12 - Vulnerabilidade de acordo com o tipo de dano por escorregamento de terra (Blöchl e Braun, 2005 apud Lee & Jones, 2014)	58
Tabela 13- Principais eventos de escorregamentos no Rio de Janeiro (Adaptado Silva Filho, 2017)	63
Tabela 14-Continuação Principais eventos de escorregamentos no Rio de Janeiro (Adaptado Silva Filho, 2017)	64
Tabela 15 - Conceitos das Ações de Proteção e Defesa Civil (Brasil, 2017)	68
Tabela 16 - Gatilhos para níveis de alerta ao risco Geológico (SEDEC/RJ,2020)	74

Tabela 17 - Características da Capital (PEM/RJ,2020)	75
Tabela 18 - Critério para grau de probabilidade de risco (Ziegler, 2013)	84
Tabela 19-Continuação Critério para grau de probabilidade de risco (Ziegler, 2013)	85
Tabela 20 - Danos Causados pelos escorregamentos (Adaptado de Bressani, 2010 apud Ziegler, 2013)	86
Tabela 21 - Níveis de consequências potenciais de determinado evento destrutivo (Adaptado Pereira et al., 2008 apud Ziegler, 2013)	86
Tabela 22 - Critérios topográficos para identificação das áreas de perigo (CPRM/SGB, 2018)	88
Tabela 23 - Caracterização de áreas crítica e de dispersão (CPRM/SGB, 2018)	89
Tabela 24 - Classes de Perigo (CPRM/SGB, 2018)	90
Tabela 25 - Qualificação do grau de perigo: escorregamento planar (CPRM/SGB, 2018)	91
Tabela 26 - Qualificação do grau de perigo: escorregamento rotacional (CPRM/SGB, 2018)	92
Tabela 27 - Classes de Vulnerabilidade (CPRM/SGB, 2018)	93
Tabela 28 - Classificação da vulnerabilidade das construções (CPRM/SGB, 2018)	93
Tabela 29 - Classes de risco (CPRM/SGB, 2018)	94
Tabela 30 - Matriz de correlação do grau de risco. (CPRM/SGB, 2018)	94
Tabela 31 - Métodos de investigação de subsuperfície (Adaptado Augusto Filho e Virgili, 1998 apud Gomes, 2018)	97
Tabela 32 - Divisão Geomorfológica Adaptado (Dantas, 2000)	108
Tabela 33 - Dados das coordenadas topográficas	111
Tabela 34-Continuação Dados das coordenadas topográficas das seções de 1, 2 e 3	112
Tabela 35 - Dados do processamento	115
Tabela 36 - Classificação do Risco de Escorregamento	138
Tabela 37 - Dados de Entrada	139
Tabela 38 - Fator de Segurança Análise Saturada e Não Saturada	140
Tabela 39 - Resultados das Análises de Estabilidade	144
Tabela 40 - Parâmetros geotécnicos em diversos trabalhos	144

Tabela 41 - Resultados de FS em diversos trabalhos	145
Tabela 42- Caracterização estatística dos parâmetros de resistência	146
Tabela 43- Relevância dos Parâmetros pelo método FOSM Seção 1	146
Tabela 44- Relevância dos Parâmetros pelo método FOSM Seção 2	147
Tabela 45- Relevância dos Parâmetros pelo método FOSM Seção 3	147
Tabela 46- Fatores de Segurança Análise Determinística Método FOSM	147
Tabela 47- Resultados das Análises de Estabilidade	148
Tabela 48 - Vulnerabilidade de acordo com o tipo de dano por escorregamento de terra (Lee & Jones, 2014)	149

Lista de Gráficos

Gráfico 1 - Temperaturas máximas e mínimas médias (Weather Spark, 2020)	105
Gráfico 2 - Temperatura Horária Média (Weather Spark, 2020)	105
Gráfico 3 - Probabilidade Diária de Precipitação (Weather Spark, 2020)	106
Gráfico 4 - Chuva Mensal Média (Weather Spark, 2020b)	106

Lista de Símbolos

γ_d	Peso específico seco
γ_{sat}	Peso específico saturado
ϕ'	Ângulo de atrito interno
c'	Coesão
C	Consequências adversas
H	Perigo específico
E	Total de todos os itens ameaçados
V	Vulnerabilidade
E*	Exposição
Ex	Proporção de cada categoria de elementos em risco
P(HEu)	Probabilidade de uma magnitude particular do escorregamento de terra
HEu	Magnitude particular do escorregamento de terra
Rs	Risco específico
σ_{FS}	Desvio padrão do fator de segurança
β	Índice de Confiabilidade
Pr	Probabilidade de ruptura

Abreviações

ABGE	Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental
AC	Área Crítica
AD	Área de Dispersão
AP	Análise de Perigo
APC	Análise de Perigo de Campo
APE	Análise de Perigo de Escritório
AR	Análise de Risco
CEMADEN	Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais
CEPED	Centro Universitário de Pesquisa e Estudos sobre Desastres
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COV	Coeficiente de Variação
DAU	Departamento de Arquitetura e Urbanismo
DER-GB	Departamento de Estradas de Rodagem
DIRDN	Redução dos Desastres Naturais
DRM	Departamento de Recursos Minerais
EM-DAT	Emergency Disasters Data Base
EOp	Estados Operacionais
FOSM	First Order, Second Moment
FS	Fator de Segurança
GD	Gerenciamento de Desastre
Geo-Rio	Instituto de Geotécnica do Município do Rio de Janeiro
GIDES	Gestão Integrada de Riscos em Desastres Naturais
GRD	Gestão de Risco de Desastre
GRID	Grupo de Gestão de Risco de Desastres
GNSS	Sistema Global de Navegação por Satélite
GPR	Ground Penetrating Radar
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INFORM	Índice de Risco Mundial
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
MI	Ministério da Integração Nacional
NADE	Núcleo de Análise e Diagnóstico de Escorregamentos
NASA	Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço
NBR	Norma Brasileira
PEM/RJ	Plano de Emergência do Estado do Rio de Janeiro
PNPDEC	Política Nacional de Proteção e Defesa Civil
PUC-Rio	Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro
RDC	Rio Datacentro
SEDEC	Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil
SEDEC/RJ	Secretaria de Estado de Defesa Civil Rio de Janeiro
UNISDR	United Nations Office for Disaster Risk Reduction

A natureza só é comandada se ela for obedecida.
Francis Bacon

1

Introdução

O processo de urbanização no Brasil ocorreu de forma intensa e desigual, provocando o aumento de áreas suscetíveis a riscos naturais e o desencadeamento dos problemas sociais e econômicos (Girão *et al.*, 2018). Ainda segundo os autores Girão *et al.* (2018), isso ocorre pois grande parte da população menos favorecida ocupa áreas impróprias para a moradia – encostas e margens de rios – e esse fator, acompanhado aos processos geológicos, tornam o cenário mais vulnerável.

Apesar de serem um fenômeno natural da dinâmica terrestre, os processos geológicos são potencializados pelas atividades antrópicas. Por conta disso, é comum ocorrerem escorregamentos induzidos pela alteração decorrente do uso e ocupação do solo (Reckziegel e Robaina, 2005). Sendo assim, os danos e as perdas causados por eventos adversos naturais tornaram-se cada vez mais frequentes e maiores com o crescimento populacional.

As perdas econômicas devido a desastres naturais no mundo desde a década de 1950 são apresentadas na Figura 1. A Figura 1, mostra que houve um aumento de quase oito vezes de 1950 até 2000.

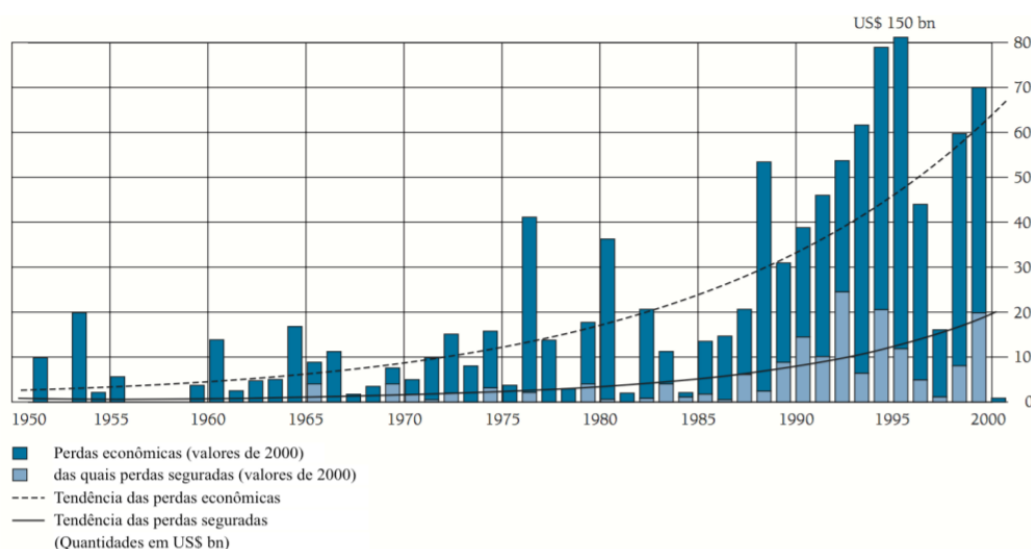


Figura 1- Crescimento das perdas econômicas devido a desastres naturais (Munich Reinsurance Company, 2002 apud Kreimer, 2003)

No Rio de Janeiro, eventos catastróficos envolvendo instabilidade de encostas são ocorrências rotineiras em estações chuvosas devido a configuração do perfil da encosta associado a ocupação irregular desses locais pela população.

De acordo com o relatório da Fundação Geo-Rio (2016) - Fundação Instituto de Geotécnica do Município do Rio de Janeiro - dos 50 maiores acidentes geológicos e geotécnicos ocorridos neste município entre 1966 e 2016, cinco deles foram localizados na região entre Gávea e São Conrado. Dentro deste contexto, é evidenciado de modo cronológico (Figura 2) alguns dos acidentes ocorridos nos últimos anos e seus impactos na Zona Sul, sobretudo na região adjacente aos dois túneis.

19 de fevereiro de 1988: As chuvas torrenciais deflagraram em diversos escorregamentos de solo, os quais atingiram a comunidade da Rocinha, destruindo diversas moradias e o Centro Integrado de Educação Pública (CIEP), que estava em fase final de construção e instalação de equipamentos. Além disso, destruiu e obstruiu parte da Estrada da Gávea.

13 de fevereiro de 1996: Escorregamento planar de solo com volume aproximado de 800 m³ provocaram a destruição de moradias, a morte de 4 pessoas e deixou 3 gravemente feridas na favela da Rocinha. No mesmo período, um escorregamento de terra soterrou uma das entradas do Túnel Dois Irmãos, bloqueando as pistas da autoestrada Lagoa-Barra.

13 de fevereiro de 1996: Escorregamento planar de solo predominantemente residual/colúvio, blocos de rocha e árvores de grande porte. Este escorregamento mobilizou um volume de material de cerca de 15.000 m³ e gerou uma cicatriz com aproximadamente 130 metros de extensão e 150 metros de altura. Tal evento provocou danos as moradias, obstrução total da Rua Capuri, soterrou a moradia de número 510 e entulhou parcialmente a calha do Rio do Pires, que corre paralelamente à rua neste trecho.

14 de fevereiro de 1996: Escorregamentos na região da Rocinha, do tipo planar de solo residual de gnaiss facoidal sobrejacente a substrato rochoso, em escarpa rochosa no alto do Morro Dois Irmãos. As ocorrências atingiram parcialmente as moradias localizadas a jusante da escarpa rochosa, local conhecido como setor Macega na comunidade da Rocinha.

5 e 6 de abril de 2010: Escorregamento planar de solo na Rocinha provocou a ruína dos muros de divisão das construções a jusante da encosta e o soterramento dos pátios e garagens internas.



Figura 2-Acidentos geológicos e suas consequências

Analisando todas as ocorrências descritas, é possível verificar que a intervenção humana em conjunto com alta precipitação, e aliada às declividades elevadas, conferem na maior abrangência aos eventos de escorregamento. Tais fatores atuam como facilitadores de desastres ambientais nas encostas.

Para reduzir ou amenizar determinados problemas relacionados a áreas suscetíveis ou em situações de vulnerabilidade, deve ser realizada a gestão do risco, que tem como passo inicial a avaliação do mesmo (Brasil, 2017). Segundo Machado e Zacarias (2016), através da avaliação é possível verificar a probabilidade de ocorrência do evento natural e o quanto uma comunidade pode ser afetada por ele. Sendo assim, é possível definir estratégias de mitigação para o local, prevenindo consequências econômicas e sociais negativas caso o evento ocorra.

Neste contexto, diante da relevância da problemática exposta anteriormente, a pesquisa foi motivada em virtude dos inúmeros acontecimentos trágicos ocorridos recentemente após as grandes chuvas em encostas no Rio de Janeiro, dos impactos ambientais e socioeconômicos negativos gerados pelos eventos geológicos, devido à necessidade de compreender os riscos em potencial, assim como os recursos e a capacidade que sociedade tem de responder, caso estes riscos se concretizem.

Sendo assim, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo principal de realizar a avaliação de risco de movimento de massa em encostas íngremes densamente florestadas. A área de estudo foi o trecho da encosta que faz divisa com o *campus* da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio) e o Túnel Acústico Rafael Mascarenhas, pertencente a Autoestrada Lagoa-Barra.

Além disso, a presente pesquisa buscou observar indícios de processos desestabilizadores no terreno através da vistoria in loco em dois trechos da encosta: atrás do Rio Datacentro (RDC) e do edifício Metrô, ambos do *Campus* Universitário Gávea. Foi utilizada a metodologia proposta pelo Ministério das Cidades & IPT e do GIDES-CPRM para conhecer o cenário de risco geológico-geotécnico da área estudada.

Em encostas com declividade acentuada e na presença de mata com vegetação densa, torna-se difícil a execução dos métodos tradicionais para caracterização do perfil geotécnico e sondagens diretas. Isso se deve em função da complexidade para o acesso de equipamentos, da limpeza da área que permita o desenvolvimento de todas as operações sem obstáculos e aos entraves ambientais para realização de sondagens.

Para obter o perfil geotécnico foi utilizado o radar de penetração (GPR), método geofísico não invasivo, o qual possibilita o trabalho em locais de difícil acesso com rapidez e aquisição contínua de dados. O levantamento geotécnico foi associado ao levantamento topográfico, onde foi utilizada uma estação total. Com toda a informação organizada e coletada foi possível criar um modelo da encosta. Neste modelo foi feita análise de estabilidade determinística e probabilística no *software* GEO 05.

Por fim, a partir dos resultados obtidos foi possível quantificar o quão próximo da ruptura está o talude. Para isso, foi determinado o fator de segurança e a probabilidade de ruptura por meio da classificação do nível de desempenho do talude, sendo definida a vulnerabilidade da área e propondo novas medidas para a prevenção de desastres naturais associados a um possível escorregamento.

Além disso, o trabalho pressupõe buscar reduzir a exposição e fragilidade socioeconômica das áreas potencialmente vulneráveis, aumentar a capacidade adaptativa e de convívio das comunidades frente

aos desastres, valendo-se de técnicas e métodos coerentes e eficazes que prezem pelo equilíbrio na relação custo/benefício.

As principais etapas desta dissertação, revisão bibliográfica, estudo de caso, análise de estabilidade e por fim, a classificação do risco, são expostas no organograma conforme apresentado na Figura 3.

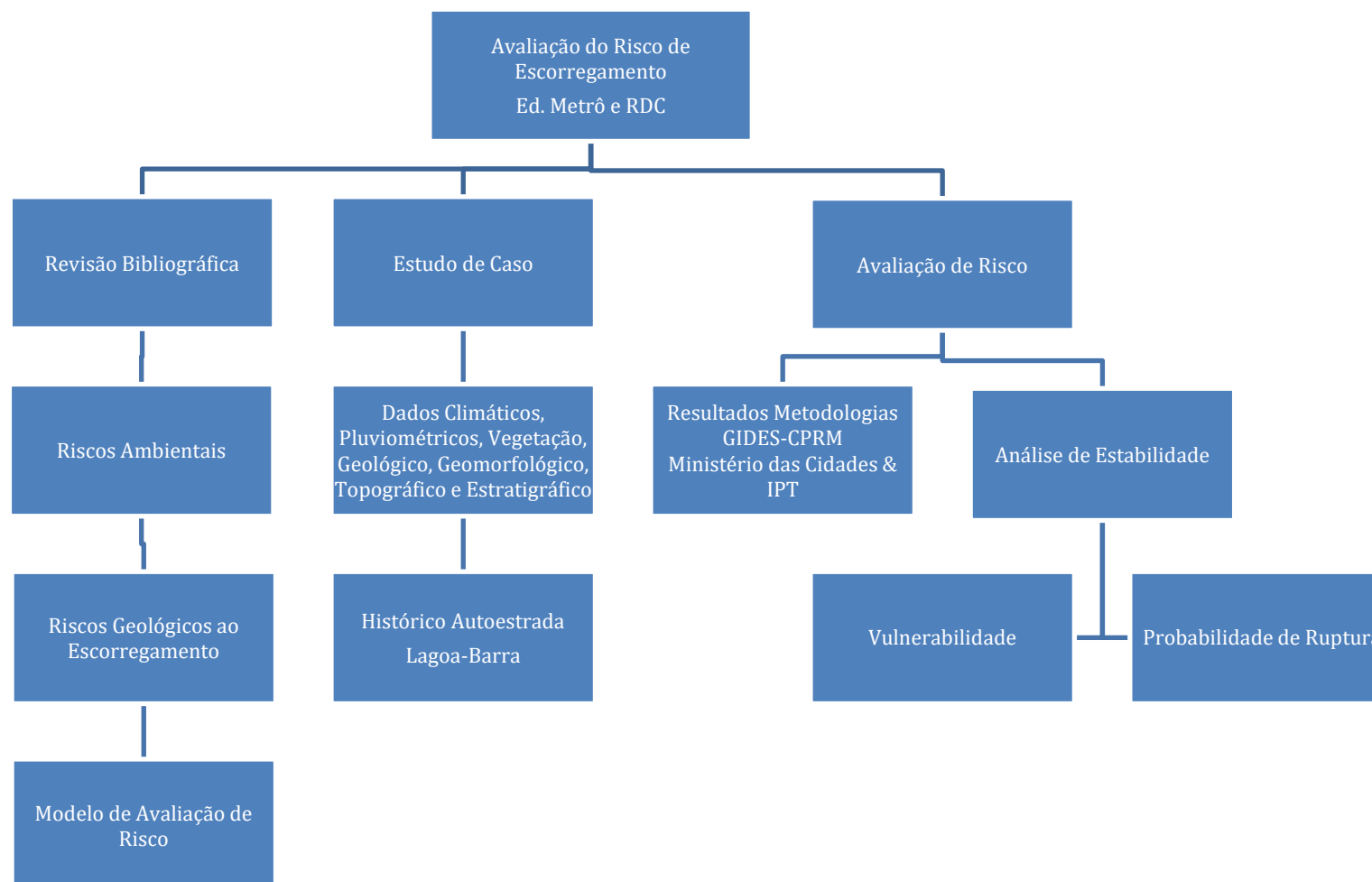


Figura 3-Organograma dos procedimentos metodológicos

O desenvolvimento da dissertação foi composto pela divisão do trabalho em 7 capítulos, referências bibliográficas e anexos, onde a relevância da pesquisa e seus principais objetivos são apresentados no capítulo 1.

No capítulo 2 é feita a revisão da literatura utilizando os conceitos e as definições dos aspectos relevantes para a geotecnia ambiental referente a análise de risco.

O capítulo 3 enfatiza os principais conceitos do risco geológico, dando destaque para os escorregamentos de solos, especificando os mecanismos que levam a instabilidade do talude, sendo abordado os impactos sociais, ambientais e econômicos em virtude da deflagração do movimento de massa. É apresentado também o nível de segurança necessário, a fim de minimizar prejuízos econômicos e ambientais.

Já o capítulo 4 apresenta o ciclo de gestão de risco de desastre, as ações integradas em Proteção e Defesa Civil implementadas pela Política Nacional de Defesa Civil. Além disso, por meio da abordagem qualitativa, foi estabelecido o modelo de avaliação do risco e pela abordagem quantitativa, as investigações de superfície e subsuperfície necessárias para estudo da estabilidade de taludes. Tudo isso a fim de classificar o nível de risco da área e utilizar esses resultados como ferramenta de tomada de decisão para responder às necessidades de prevenção dos desastres associados aos riscos.

No capítulo 5 tem-se a descrição e a caracterização da área de estudo quanto ao clima, pluviometria, vegetação, geologia, geomorfologia, topografia e estratigrafia. Além disso, são expostos os processos geológicos históricos e a intervenção humana ocorridos na encosta.

Já no capítulo 6 é feita a avaliação de risco da encosta in loco paralela ao edifício RDC e ao Departamento de Arquitetura e Urbanismo, a análise de estabilidade no *software* GEO 05 utilizando o método de Morgenstern e Price, além de ser definida a vulnerabilidade e a probabilidade de ruptura.

Por fim, o capítulo 7 é dedicado as conclusões da presente pesquisa e sugestões para o prosseguimento dela em trabalhos futuros.

2

Riscos Ambientais e seus Desdobramentos

Neste capítulo, são apresentados os conceitos e as definições dos aspectos relevantes para a geotecnia ambiental referente à análise de risco. Nas últimas décadas, esses conceitos foram ressignificados devido aos dinamismos da sociedade.

2.1

Conceitos e Definições

Desde o advento da humanidade estamos suscetíveis ao risco, sendo a suscetibilidade o quão provável um determinado fenômeno pode ocorrer, independente dos fatores sociais, mas tendo sempre a ação humana atuando como mecanismo de modificação da dinâmica natural, acelerando-a ou retardando-a (Girão *et al.*, 2018).

De maneira geral, poderíamos dizer que a gênese dos riscos, assim como o aumento da capacidade de gerar danos e de sua escala de abrangência, acompanham a história da sociedade. (Castro *et al.*, 2005)

2.1.1

Risco e Perigo

Segundo Augusto Filho (2001), risco é associado às noções de incerteza, vulnerabilidade, exposição e perdas, e considerado sinônimo de perigo. Os termos que possuem o mesmo valor semântico podem ser notados nos idiomas inglês e francês, respectivamente, “*risk*”, “*harzard*” e “*danger*”, assim como, “*risques*” e “*danger*”. De um modo geral, o risco é considerado como um elemento de imprevisibilidade relacionado à exposição ao dano (Girão *et al.*, 2018).

No entanto, diversos autores afirmam que risco e perigo não devem ser considerados semelhantes (Opolot, 2013; Lee & Jones, 2014; Castro *et al.*, 2005; Girão *et al.*, 2018).

Segundo Lee e Jones (2014), o perigo está associado as causas para que se tenha o dano ou perda, já o risco se correlaciona as consequências. Para Abdulwahid & Pradhan (2017), o risco é expresso de forma matemática como sendo produto de um perigo específico e a extensão provável causada pelo seu dano. No caso de Opolot (2013) os danos são aqueles que impactam vidas, bens e economia.

Baseado na mesma premissa, na abordagem desenvolvida por Girão *et al.* (2018), o perigo está ligado a um contexto social, o quanto a sociedade está suscetível ou pode gerar o evento de prejuízo (risco). Ou seja, o risco é a ocorrência do fenômeno indesejado, na qual é considerada a vulnerabilidade e a exposição da comunidade.

Corroborando com os autores acima, Castro *et al.* (2005) afirmam que para a análise de risco é necessário identificar o perigo e quantificar e/ou qualificar o seu efeito para a sociedade em relação aos possíveis danos materiais e imateriais. Os autores apresentam a diferenciação dos termos perigo e risco, na visão de Augusto Filho e Susan Cutter, correlacionando-os aos seus correspondentes em inglês, conforme apresentado na Tabela 1 (Castro *et al.*, 2005).

Tabela 1 - Conceitos e definições de risco e perigo

Termo	Tradução	Autor	Definição
Hazard	Perigo	Augusto Filho (2001)	A ameaça potencial as pessoas ou bens.
		Cutter (2001)	Ameaça às pessoas e as coisas que elas valorizam.
Risk	Risco	Augusto Filho (2001)	Expressa o perigo em termos de danos/por período de tempo, em geral unidade monetária/ano.
		Cutter (2001)	A probabilidade de ocorrência de um evento, de uma ameaça acontecer.

Adicionado aos termos risco e perigo, a vulnerabilidade é definida pela Sociedade Internacional de Mecânica dos Solos e Engenharia do Solo (ISSMGE) como 'o grau de perda de um determinado elemento ou conjunto de elementos dentro das áreas afetadas pelo perigo' (ISSMGE, 2004).

Nessa perspectiva, a vulnerabilidade é determinante para a análise de risco.

2.1.2

Vulnerabilidade e Fragilidade

A vulnerabilidade está posta quando existem condições ou características sociais específicas que potencializam a suscetibilidade ao risco (Girão *et al.*, 2018). Ainda segundo os autores Girão *et al.* (2018), este conceito se relaciona a fragilidade, na qual é compreendida pelas condições ou características naturais que expõem um meio físico-natural ao risco de ocorrência do evento indesejado, tornando-o suscetível.

Entendemos que a existência de riscos associados às fragilidades e vulnerabilidades considera a necessidade da existência de, pelo menos, um dos fatores:

- Condições de vida da população e sua capacidade de resposta ao risco (vulnerabilidade social);
- O uso e a ocupação irregular dos espaços e a fragilidade natural do ambiente (suscetibilidade ao risco);
- Condições físicas e fatores sociais interagindo de forma desordenada ou em desacordo com as normas de proteção ambiental e de seguridade sanitária (risco socioambiental). (Girão *et al.*, 2018, p.9)

De acordo com Lee & Jones (2014), as consequências adversas do evento de risco são o produto do evento de perigo e vulnerabilidade. Tal equação é descrita como:

$$C = H \cdot (E \cdot V) \quad (1)$$

Onde C são as consequências adversas; H é um perigo específico; E é o total de todos os itens ameaçados e V é a vulnerabilidade.

Os autores consideram que a vulnerabilidade além de ser um grau de perda experimentado por um determinado ativo ou atividade sujeita a um evento de risco de uma determinada intensidade, pode ser considerada como a proporção de tempo em que esse ativo ou pessoa é exposta ao perigo.

Se a pessoa está presente em uma área ameaçada, o potencial de perda é maior, porque o valor dos elementos em risco foi aumentado pela adição de um elemento altamente valorizado e vulnerável (ou seja, vulnerabilidade temporal). Esta variação é conhecida como exposição (Lee & Jones, 2014).

Sendo assim, ao considerar a exposição (E^*) como parte do sistema para o evento de risco, a Equação 1 pode ser modificada pela seguinte relação:

$$E_* = (E \cdot V) \quad (2)$$

$$C = H \cdot E_* \quad (3)$$

A Figura 4 apresenta a interseção entre os conceitos perigo, exposição e vulnerabilidade, demonstrando que o termo risco está posto em todo o contexto da construção deles.

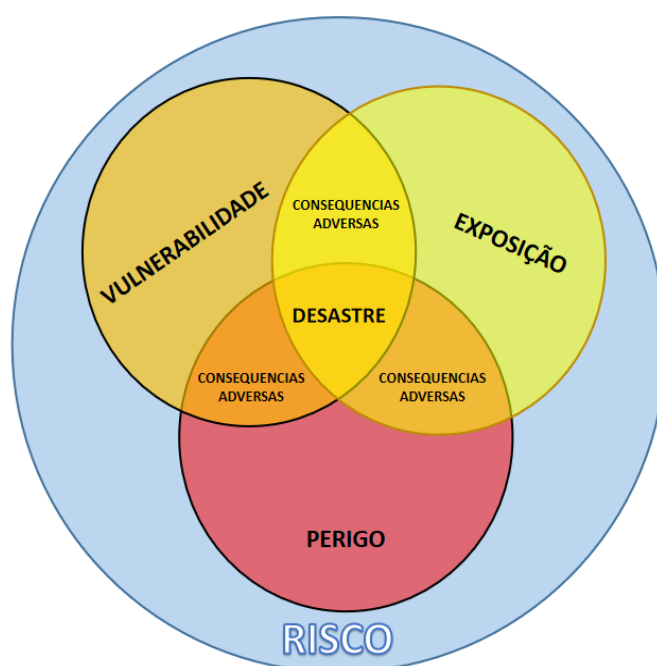


Figura 4-Diagrama de análise da relação entre Perigo, Exposição e Vulnerabilidade (Adaptado Girão et al., 2013)

Essa mesma ideia é corroborada por Amaro (2005):

O risco é, pois, função da natureza do perigo, acessibilidade ou via de contacto (potencial de exposição), características da população exposta (receptores), probabilidade de ocorrência e magnitude das consequências.

Segundo Giddens (1999 apud Lee & Jones, 2014), o risco reside no futuro, onde o foco está na exposição às ameaças e seu nível de dano potencial. Ou seja, preocupa-se com as consequências adversas causadas pela interseção de, pelo menos, um dos três fatores.

Além disso, segundo Almeida *et al.* (2016), para uma prevenção eficaz dos desastres é crucial compreender a interação entre perigo, exposição e vulnerabilidade. Quando existe exposição de uma sociedade vulnerável ao perigo, o desastre é o resultado desta convergência (Girão *et al.*, 2018).

Portanto, nesse trabalho, risco é definido como a situação em que pessoas e/ou meio ambiente está submetido à suscetibilidade de ocorrência de um evento prejudicial (perigo). Sendo assim, o desastre é a última consequência desta exposição em um contexto de maior risco, quando se têm uma maior condição de vulnerabilidade.

2.2

Risco e suas Classificações

O risco está relacionado com a probabilidade e escala de consequências adversas futuras, que são o produto da interação de perigo, vulnerabilidade e exposição. Assim, tanto as características de frequência de magnitude do perigo quanto as variações na vulnerabilidade e exposição no espaço e no tempo contribuem para o risco.

O mesmo pode ser subdividido de acordo com a sua origem, seu impacto tanto sobre a vida das pessoas quanto sobre o ambiente e, principalmente, pela sua capacidade de mensuração (Santos, 2006). Sendo categorizado pelo autor em três esferas:

- Risco Individual - a probabilidade de um indivíduo sofrer algum dano por um determinado evento potencialmente perigoso.
- Risco Social - está relacionado as consequências de grandes dimensões as quais exigem uma solução político-social por meio de políticas públicas e mecanismos de regulação.
- Risco Ambiental - está associado à alteração dos ecossistemas naturais, no que diz respeito a sua sustentabilidade na natureza.

No entanto, é importante ressaltar que, apesar das definições e categorias de risco, o risco ambiental abrange direta ou indiretamente o ser humano individualmente ou em sociedade.

[...]não há risco sem uma população [ser social] ou indivíduo [ser biológico] que o perceba e que poderia sofrer seus efeitos. Correm-se riscos, que são assumidos, recusados, estimulados, avaliados, calculados. (Dagnino & Carpi Junior, 2007)

Desta forma, a revisão pretende discutir as causas envolvidas na composição de risco ambiental, bem como suas consequências e formas de avaliação.

2.2.1 Riscos Ambientais

Segundo Egler (1996), o risco ambiental deve ser considerado como um parâmetro dinâmico das relações entre os sistemas naturais, a estrutura produtiva e as condições sociais. Tal princípio é ratificado pelos autores Dagnino & Carpi Junior (2007) ao afirmarem que, em um contexto de risco, o ambiente em seu sentido mais amplo é afetado, seja o ambiente natural, seja o construído pelo homem.

É importante considerar na avaliação do risco as suas diferentes escalas e períodos, uma vez que, para se obter a análise de risco, é necessário trabalhar nos limites da previsibilidade do comportamento destes conjuntos complexos. Posto isso, para compor o quadro de risco ambiental, Egler (1996) considera três categorias básicas como sua resultante:

- a) risco natural: associado ao comportamento dinâmico dos sistemas naturais, isto é, considerando o seu grau de estabilidade/instabilidade expresso na sua vulnerabilidade a eventos críticos de curta ou longa duração, tais como inundações, desabamentos e aceleração de processos erosivos;
- b) risco tecnológico: definido como o potencial de ocorrência de eventos danosos à vida a curto, médio e longo prazo, em consequência das decisões de investimento na estrutura produtiva. Envolve uma avaliação tanto da probabilidade de eventos críticos de curta duração com amplas consequências – explosões, vazamentos ou derramamentos de produtos tóxicos – como também a contaminação a longo prazo dos sistemas naturais por lançamento e deposição de resíduos do processo produtivo;

c) risco social: visto como resultante das carências sociais ao pleno desenvolvimento humano que contribuem para a degradação das condições de vida. Sua manifestação mais aparente está nas condições de habitabilidade, expressa no acesso aos serviços básicos, tais como água tratada, esgotamento de resíduos e coleta de lixo. No entanto, a longo prazo, pode atingir as condições de emprego, renda e capacitação técnica da população local, como elementos fundamentais ao pleno desenvolvimento humano sustentável.

Assim como Egler (1996), Cerri (1993) também divide o risco ambiental em riscos tecnológicos, sociais e naturais, sendo o último subdividido em físicos e biológicos de acordo com o processo deflagrador, como mostrado na Figura 5 (Cerri,1993).

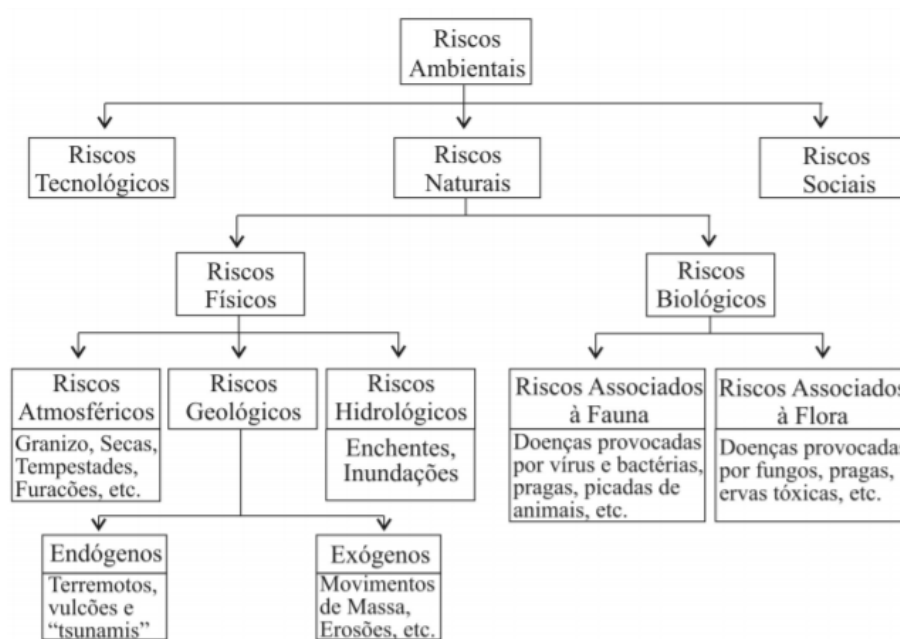


Figura 5-Risco Ambiental e suas causas (Cerri, 1993)

Nesse contexto, os riscos físicos são originados pelos agentes atuantes na atmosfera, astenosfera e hidrosfera, sendo chamados de riscos atmosféricos, geológicos e hidrológicos. O risco geológico ainda é dividido dependendo da dinâmica terrestre, seja ela interna (processos de orogênese e epirogênese) ou externa (processo de intemperismo e a ação humana), gerando os riscos endógenos e exógenos, respectivamente. Já os riscos biológicos são aqueles associados a fauna e a flora no qual o agente biológico é patogênico.

2.2.2

Risco Atual, Potencial e Efetivo

Pela concepção dos autores Reckziegel & Robaina (2005), para que uma determinada área esteja em risco, é necessário a associação entre os fatores do meio físico e do meio social. Ou seja, é preciso a ocorrência do processo de dinâmica superficial (natural) que afete alguém (social). Os autores ainda explicam que este processo ocorre independentemente da presença do homem — manifestações próprias da natureza. No entanto, podem ser alterados e acelerados pela sua intervenção, fomentando, assim, o risco local (Reckziegel & Robaina, 2005).

Tal premissa, evidencia os conceitos de risco atual, potencial e efetivo, os quais são definidos por Santos (2006) como:

- Risco Atual - Risco instalado em áreas já ocupadas;
- Risco Potencial - Representa a suscetibilidade à ocorrência em áreas ainda desocupadas, no qual permite trabalhar com a dimensão temporal do risco voltado para o futuro, pois considera a quantificação das consequências de um acidente, sem considerar a probabilidade de ocorrência.
- Risco Efetivo - Produto do risco potencial pela probabilidade de ocorrência do acidente.

É importante enfatizar que o acidente é considerado um desastre natural quando os processos de dinâmica superficial ocorrem em áreas de alta densidade demográfica, resultando em consequências econômicas e sociais significativas (Cerri, 1999).

Sendo assim, segundo Reckziegel & Robaina (2005), o estudo técnico e científico referente a temática desastre natural parte da necessidade de se conhecer os desencadeadores dele em virtude dos danos e prejuízos causados.

2.3

Processos Causadores de Risco

Os desastres naturais podem ocorrer em várias partes do globo terrestre, pois são decorrentes dos processos geodinâmicos. Tais fenômenos são intensificados devido aos episódios pluviais intensos e a vulnerabilidade do sistema social (Sampaio *et al.*, 2013).

No Brasil, segundo Defesa Civil – MG (Parizzi, 2014), os desastres naturais que mais ocorrem conforme as características regionais podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2 - Desastre Natural por Região Brasileira (Parizzi, 2014)

Região	Desastres Naturais
Norte	Incêndios Florestais e Inundações
Nordeste	Secas e Inundações
Centro-Oeste	Incêndios Florestais e Inundações
Sudeste	Deslizamentos e Inundações
Sul	Inundações, vendavais e Granizo

O panorama atual de crescentes locais em situações de risco é consequência do crescimento urbano não planejado nas últimas décadas e a pouca redução das desigualdades, a qual, além de proporcionar impactos ambientais negativos, aumentou o risco devastador para a população e a infraestrutura das áreas urbanas, resultando em uma série de problemas socioeconômicos, como por exemplo, a formação de favelas (Saleem *et al.*, 2019).

O exposto anteriormente é ratificado pelos autores Cerri (1999), Cristo & Herrmann (2004) ao afirmarem que as áreas de risco surgem como a interação do meio natural com o meio social, onde o primeiro impõe obstáculos para a ocupação de certas zonas e o segundo, ao ocupar estas áreas naturalmente susceptíveis, acabam desencadeando o risco.

[...] no Brasil, pois segundo estimativas, cerca de 80% da população vive em áreas urbanizadas, e o adensamento populacional, especialmente nas principais cidades brasileiras e suas áreas periféricas, vem propiciando o surgimento de áreas susceptíveis a riscos naturais destacando-se as cidades de Salvador, Belo Horizonte, São Paulo e Rio de Janeiro que sofrem constantemente com acidentes originados pelas enchentes e pelos movimentos de massa (Cristo & Herrmann, 2004).

Nesse contexto, as enchentes e os movimentos de massa constituem um dos processos hidrológicos e geológicos, respectivamente, que causam mais riscos urbanos. De acordo com o Grupo de Gestão de Risco de Desastres – GRID (2015), dados apontados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, evidenciam que 40,9% dos municípios brasileiros sofreram, pelo menos, um desastre natural entre 2008 a 2013, sendo relacionadas 2.276 cidades atingidas por inundações graduais, enxurradas bruscas e/ou escorregamentos de encostas.

Além disso, no estudo de População em Área de Risco no Brasil (Tabela 3) realizado em 2010 foi constatado que em 872 municípios no país mais de 8 milhões de pessoas viviam em áreas com risco potencial de enchentes e escorregamentos de terra (Saraiva, 2018).

Tabela 3 - Ranking de municípios com população em áreas de risco (AGÊNCIA DE NOTÍCIAS IBGE, 2018)

Municípios		Nº de pessoas em área de risco
1	Salvador(BA)	1.217.527
2	São Paulo (SP)	674.329
3	Rio de Janeiro(RJ)	444.893
4	Belo Horizonte(MG)	389.218
5	Recife (PE)	206.761
6	Jaboatão dos Guararapes (PE)	188.026
7	Ribeirão das Neves (MG)	179.314
8	Serra (ES)	132.433
9	Juiz de Fora (MG)	128.946
10	São Bernardo do Campo (SP)	127.648
11	Natal (RN)	104.433
12	Fortaleza (CE)	102.836
13	Santo André (SP)	96.062
14	Guarulhos (SP)	94.720
15	Vitória (ES)	87.084
16	São João de Meriti (RJ)	86.185
17	Blumenau (SC)	78.371
18	Petrópolis (RJ)	72.070
19	Maceió (AL)	70.343
20	Igarassu (PE)	69.801

Ainda conforme o estudo, os dois grupos mais vulneráveis durante desastres naturais são as crianças menores de 5 anos de idade e idosos com mais de 60 anos que vivem em áreas de risco, representando 9,2% e 8,5% respectivamente. Das regiões brasileiras (Tabela 4), a região sudeste

Tabela 4 - Ranking das regiões brasileira com população em áreas de risco (Saraiva, 2018; Vettorazzo, 2018)

Diante disso, a fim de evitar prováveis acidentes, tem sido estudado cada vez mais os riscos geológicos e hidrológicos. O Serviço Geológico do Brasil—CPRM (2020b) implementou a Prevenção de Desastres por meio de um mapa *online*, no qual apresenta a localização e algumas características de áreas propensas a serem afetadas por eventos adversos causados por escorregamentos, inundações, enxurradas, fluxo de detritos e quedas de blocos de rocha.

Figura 6-Gávea, Zona Sul (Mapa Online CPRM, 2021)

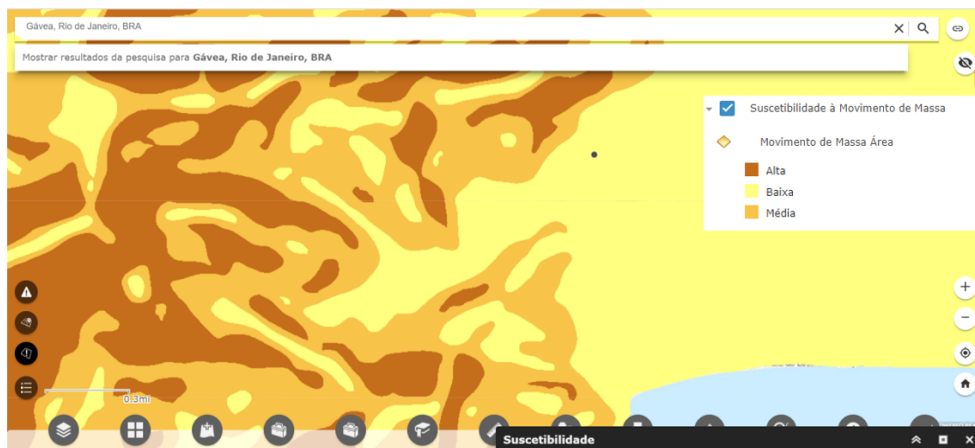


Figura 7- Suscetibilidade a Movimentos de Massa (Mapa Online CPRM, 2021)

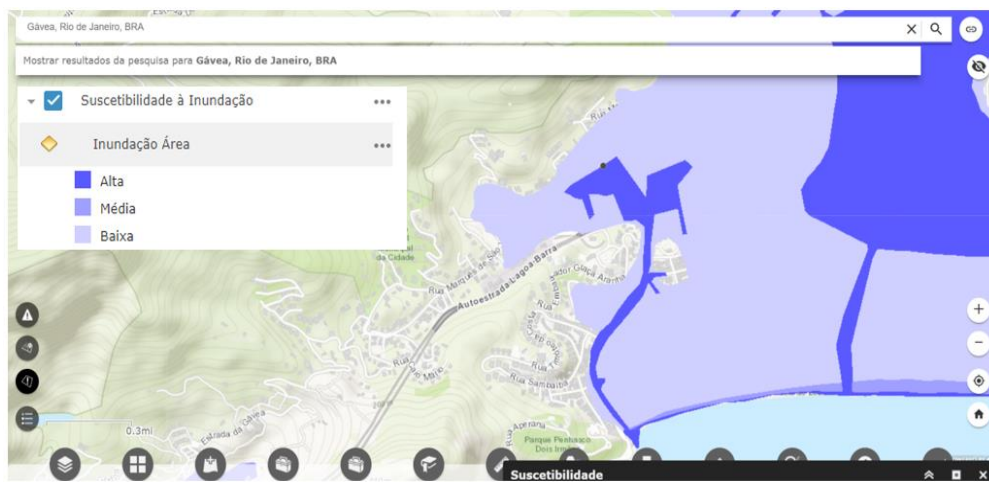


Figura 8- Suscetibilidade a Inundação (Mapa Online CPRM, 2021)

3

Risco Geológico ao Escorregamento

Dado o cenário geral ao risco geológico com foco em escorregamento, neste capítulo, objetiva-se apresentar de forma específica os mecanismos que levam a instabilidade do talude e, consequentemente, ao risco de escorregamentos associados aos desastres e o que deve ser levado em conta para que haja o nível de segurança necessário, a fim de minimizar prejuízos econômicos, ambientais e, principalmente, diminuir perdas de vidas em função da ocorrência dos escorregamentos.

3.1

Risco de Escorregamento

Os desastres naturais, especialmente os escorregamentos, afetaram entre 1998 e 2017 cerca de 4,8 milhões de pessoas, causaram 18.414 mortes em todo o mundo e, geraram 13% do total de perdas econômicas expostas em razão de desastres climáticos e geofísicos (Pereira *et al.*, 2020). Só no período de 2007 a 2019, foi registrado pela Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço (NASA, 2019) 11.033 eventos de escorregamentos de terras desencadeados por precipitação pluviométrica em todo o globo (Figura 9).



Figura 9-Eventos de risco de escorregamento de terra causado por chuvas (NASA, 2019)

Apesar do risco de escorregamento de terra ser influenciado por sistemas geofísicos dinâmicos e sistemas sociais, as chuvas torrenciais são os maiores causadores de escorregamentos de terra. O risco de escorregamento é um componente do risco ambiental, onde a ocorrência do escorregamento pode ser devido ao movimento de massa sobre uma superfície de ruptura em regiões de altas declividades, caracterizado pela fragilidade do ambiente físico-natural ou através do processo descrito anteriormente, sendo acelerado ou acentuado devido a ação antrópica.

Essas transformações resultantes da intervenção humana acarretam alterações funcionais e geomorfológicas, fomentando condições de maior ou menor vulnerabilidade social e suscetibilidade aos riscos geológicos. Sendo assim, quanto maior a vulnerabilidade social e do ambiente físico-natural afetado, mais limitada é a capacidade do homem de responder a circunstância de crise (Girão *et al.*, 2018; Lee & Jones, 2014).

Alguns autores, incluindo Corominas *et al.* (2014) e Promper *et al.* (2015), relacionam o risco de escorregamento e sua tendência de resultar em desastres a três distintas causas: perigo, exposição e vulnerabilidade. A *United Nations Office for Disaster Risk Reduction* (UNISDR) ainda adiciona ao pressuposto que o risco de escorregamento resulta da combinação entre a gravidade e a frequência do perigo, o número de pessoas, bens e infraestruturas expostos ao perigo e a sua vulnerabilidade a danos (UNISDR, 2015 apud Pereira *et al.*, 2020).

Assim como apresentado na Figura 10 e descrito por Lee & Jones (2014):

O risco está relacionado com a probabilidade e escala de consequências adversas futuras que são o produto da interação de perigo, vulnerabilidade e exposição. Assim, tanto as características de frequência de magnitude do perigo quanto as variações na vulnerabilidade e exposição no espaço e no tempo contribuem para o risco.

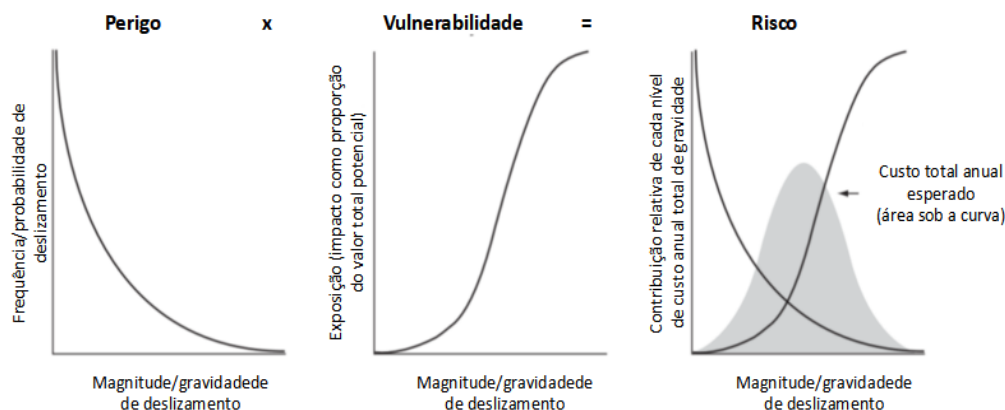


Figura 10- Risco produto do perigo e da vulnerabilidade (Lee & Jones, 2014)

Do mesmo modo que Lee & Jones (2014), Marandola Jr & Hogan (2006) enfatizam a importância da vulnerabilidade por ser um fator dinâmico ao ser fundamentado através dos contextos geográficos, demográficos, culturais, institucionais, de governança e ambientais, da produção social e dos eventos que causam danos.

Os autores Marandola Jr & Hogan (2006) destacam, principalmente, a vulnerabilidade apresentada em escala temporal. Ao afirmar que o dinamismo associado a duração dos processos (ritmo e intensidade) na definição ou investigação do risco, torna possível evidenciar a capacidade de resposta e absorção da sociedade ou lugar de confrontar o cenário que se encontra sob ameaça.

A escala temporal, então, é igualmente imprescindível, permitindo contextualizar os recursos disponíveis para responder aos perigos e a capacidade de resiliência daquela sociedade/lugar de absorver e recuperar-se do dano. A utilização de uma escala espaço-temporal descompassada pode mascarar possibilidades de reação ou superestimar a agilidade em dar resposta ao perigo. (Marandola Jr & Hogan, 2006, p.37)

Em virtude disso, os autores Lee & Jones (2014) multiplicam por um fator (E_x), o qual representa a proporção provável de cada categoria dos elementos de estarem presentes no momento do impacto pelo perigo. Logo, a equação de consequências adversas definida no capítulo anterior pode ser redefinida como:

$$C = H \cdot (E \cdot V) \cdot E_x \quad (4)$$

$$C = H \cdot E_* \cdot E_x \quad (5)$$

onde, C são as consequências adversas; H é um perigo específico; E é o total de todos os itens ameaçados, V é a vulnerabilidade, E* é a exposição dos elementos em perigo e Ex é a proporção de cada categoria de elementos em risco presentes no momento do evento.

Assim, a relação genérica torna-se:

$$C = H \cdot \sum (E_* \cdot E_x) \quad (6)$$

onde E* e Ex devem ser calculados para cada categoria relevante de elemento em risco.

Ainda segundo os autores Lee & Jones (2014), dispondo das probabilidades de magnitudes específicas de um evento, o risco específico dele pode ser estabelecido. Além disso, os componentes do E (o total de todos os itens ameaçados) devem ser desagregados e cada um considerado separadamente. E, deve ser reconhecido as duas componentes da exposição, os ativos fixos ou estáticos, (edifícios, que mudam em número, construção, tamanho e valor) e ativos móveis (humanos ou meios de transporte). Sendo assim, para risco por escorregamentos, a Equação 6 é restabelecida como:

$$R_s = P(H_{Eu}) \cdot \sum (E \cdot V \cdot E_x) \quad (7)$$

onde, Rs é o risco específico ou o grau de perda esperado devido a uma magnitude particular de escorregamento de terra (Heu) ocorrendo dentro de uma área específica durante um determinado período de tempo; P(HEu) a probabilidade de uma magnitude particular do escorregamento de terra (HEu) ocorrendo dentro da área e período de tempo especificado; E é o valor total dos elementos em risco ameaçados pelo perigo de escorregamento; V é a vulnerabilidade, onde a proporção de E provavelmente será afetada de forma prejudicial pela magnitude do escorregamento de terra HEu expresso como uma porcentagem de E ou em uma escala de 0 a 1; e Ex é a proporção do valor total provável de estar presente e, portanto, suscetível a ser adversamente afetada pelo escorregamento, expressa em uma escala de 0 a 1.

Por fim, é notório que o cálculo do risco total (R) representado por escorregamentos será dado pelo somatório dos riscos específicos para todo o conjunto de magnitudes potenciais de escorregamentos, conforme descrito na Equação 8.

$$R = \sum_{i=1}^n R_s, E_u \quad (8)$$

E, a sua decomposição sob condições específicas que desencadeiam o processo, seja por origem natural ou antrópica, é apresentada na Figura 11.

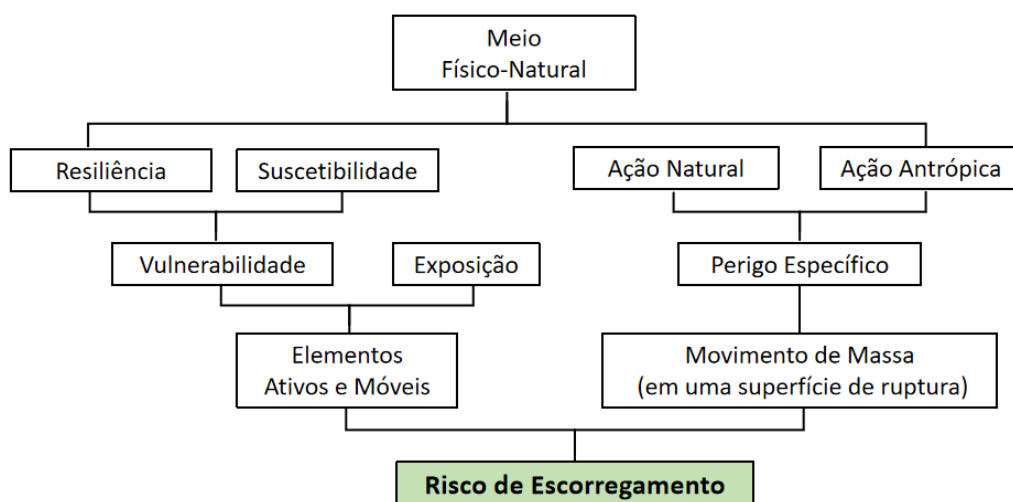


Figura 11-Componentes do Risco de Escorregamento

3.2

Forças Atuantes em um Talude

Para definir uma solução adequada de redução de risco é necessário ter um entendimento das causas para deflagrar o seu processo de instabilização. Segundo Bassaneli *et al.* (2016) um talude é submetido à duas categorias de forças: as instabilizadoras e as resistentes. Onde a primeira, são as forças que induzem o movimento de massa ao longo da superfície de ruptura por meio das tensões cisalhantes mobilizadas, sendo elas força peso, força devido ao escoamento de água. E, a segunda, a que se opõe a ação do movimento de massa, em função da resistência ao cisalhamento do material, ou seja, força devido à resistência ao cisalhamento.

Ainda segundo os autores Bassanelli *et al.* (2016), a estabilidade do talude está garantida quando essas três forças estão em equilíbrio, visto que as duas primeiras somam-se e tendem a mobilizar a massa do solo encosta abaixo e a terceira tende a conter esse movimento.

Já a instabilidade ocorre quando as tensões cisalhantes mobilizadas no interior do maciço atingem a tensão de cisalhamento resistente do mesmo ao longo de uma superfície contínua (Chaves, 2016), conforme mostrado na Figura 12.

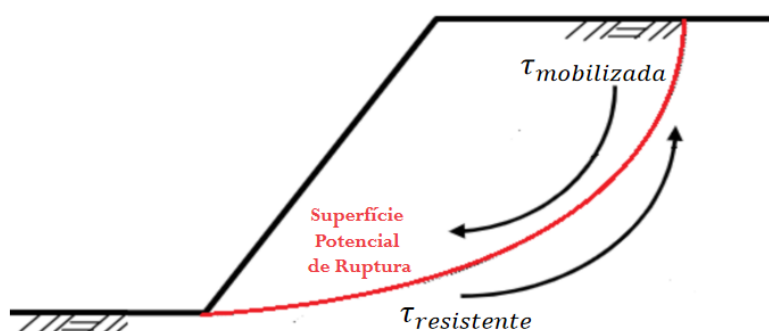


Figura 12-Forças Atuantes em um Talude

3.2.1

Fatores e Causas da Instabilização

De acordo com Ziegler (2013), os condicionantes da instabilidade do talude têm origem geológica, morfológica, física e antrópica. A compreensão destes principais fatores, descritos na Tabela 5, é de fundamental importância para avaliação das áreas sujeitas a novos escorregamentos.

Tabela 5-Fatores e respectivas Causas de Escorregamento (Ziegler, 2013)

Fatores	Causas
Geológicos	Materiais fracos
	Materiais sensíveis
	Materiais desgastados (Intemperizados)
	Materiais cisalhados
	Materiais articulados ou fissurados
	Massa descontínua orientada adversamente (estratificação, xistosidade, etc.)
	Estrutura descontínua orientada adversamente (falha, contato, sem conformidade, etc.)
	Contraste na permeabilidade
Morfológicos	Contraste na dureza (duro, material denso sobre material plástico)
	Subpressão tectônica ou vulcânica
	Reação glacial
	Erosão fluvial de pé de talude
	Erosão de onda de pé de talude
	Erosão glacial de pé de talude
	Erosão das margens laterais
	Erosão subterrânea (solução, "piping")
Físicos	Deposição de carga no talude ou na sua crista
	Remoção da vegetação (por fogo na floresta, seca)
	Chuvas intensas
	Derretimento rápido de neve
	Precipitação excepcional prolongada
	Rebaixamento rápido (de inundações e marés)
	Terremoto
	Erupção vulcânica
Antrópicos	Descongelamento
	Intemperismo/desgaste devido ao congelamento-e- descongelamento
	Intemperismo/desgaste devido à contração -e-inchamento
	Escavação de talude ou do seu pé
	Carregamento de talude ou de sua crista
	Rebaixamento (de reservatórios)
	Desmatamento
	Irrigação
	Mineração
	Vibração artificial
	Vazamentos de águas servidas

A partir dos agentes de deflagração responsáveis pela instabilidade do talude, uma classificação foi elaborada pela Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental—ABGE (Maragon, 2018) com as consequências obtidas pelos efeitos desses fatores.

- Escorregamento devido à inclinação - Ocorre quando a inclinação do talude ultrapassa aquela imposta pela resistência ao cisalhamento do maciço e há presença de água. Foram definidas as melhores e piores condições de estabilidade para o talude de corte e aterro, respectivamente, os quais são frequentemente usados na prática da Engenharia, gabaritos estabelecidos nos triângulos retângulos conforme apresentado na Figura 13.

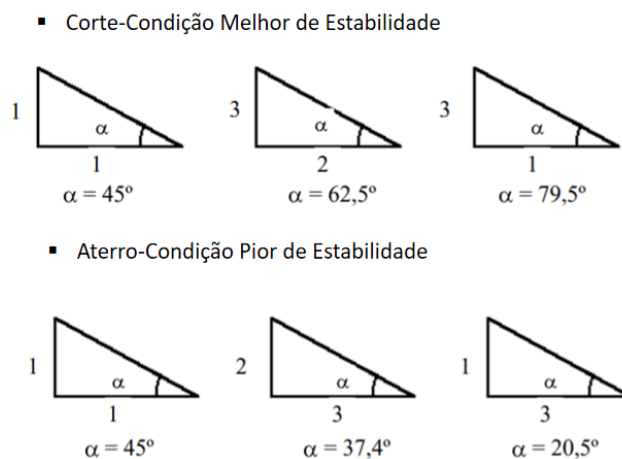


Figura 13- Padrão de Talude como referência (ABGE, 1998 apud Marangon, 2018)

- Escorregamento por Descontinuidades - Quando ocorre uma disparidade de resistência acentuada entre o contato solo-rocha, a zona de transição entre esses materiais, com inclinação elevada e com a presença de água, pode deflagrar a instabilidade do talude (Figura 14).

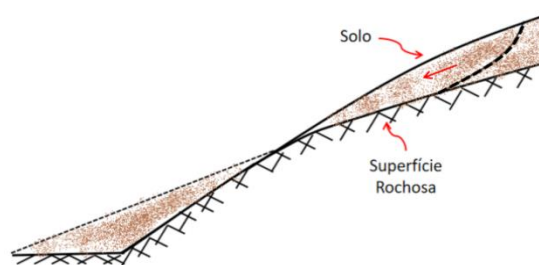


Figura 14 - Condicionante Geológica (Marangon, 2018)

Além disso, as descontinuidades nas quais a orientação dos planos de fraqueza do maciço rochoso estão em sentido à rodovia e estão abaixo de solos de alteração, também pode provocar instabilidade (Figura 15).

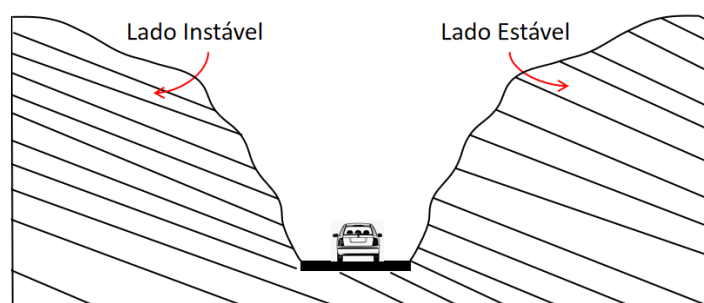


Figura 15 - Diferença de Estabilidade num mesmo vale (Marangon, 2018)

- Escorregamento por percolação de água – ocorre durante períodos de precipitação pluviométrica, quando há elevação do nível do lençol freático ou, por saturação das camadas superficiais de solo. A erosão interna pode contribuir para instabilização do talude.
- Escorregamento em aterro – ocorre principalmente em aterros construídos sobre solos moles (argila marinha ou argila orgânica), nos quais, devido a sua característica geológica, podem surgir ondulações nas pistas devido a recalques exagerados e provocar rompimentos ou deslizamentos de canaletas, bueiros e galerias, caso o projeto e a construção não obedeçam às técnicas adequadas (Maragon, 2018).
- Escorregamentos em massas coluviais – ocorrem durante períodos de precipitação pluviométrica ou quando o solo está saturado. Os solos coluviais são constituídos por materiais inconsolidados, permeáveis e o seu agente transportador é a gravidade que faz cair massas de solo e rochas ao longo dos taludes. Por isso, as massas coluviais constituem corpos em condições de estabilidade muito precárias (Figura 16). Assim também no caso dos depósitos de tálus, que são constituídos pelo mesmo processo (transporte de gravidade), diferenciando-se pela presença de solos e blocos ou apenas por blocos de rochas.

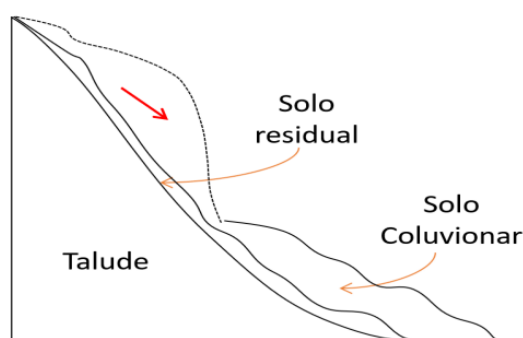


Figura 16 - Escorregamento em Massa Coluviais (Marangon, 2018)

3.3 Condição de Ruptura por Escorregamento

3.3.1 Fator de Segurança

Para quantificar o quão próximo da ruptura se encontra o talude, é feita a análise de estabilidade. As análises consistem em determinar se há resistência suficiente no talude para suportar as tensões de cisalhamentos que tendem a provocar o escorregamento. A condição de estabilidade é definida através do Fator de Segurança (FS).

O fator de segurança, segundo Fellenius (1922 apud Aguilera, 2009), é uma relação entre resistência ao cisalhamento disponível do solo para garantir o equilíbrio do maciço deslizante e a tensão de cisalhamento mobilizada, sob o efeito dos esforços atuantes que tentam provocar a falha ao longo de uma suposta superfície:

$$FS = \frac{\text{Resistência ao Cisalhamento Disponível}}{\text{Tensões de Cisalhamento Atuantes}} \quad (9)$$

A determinação do fator de segurança pode ser realizada através dos métodos de equilíbrio limite. Os métodos supõem que, no caso de falha, as forças atuantes e resistentes são iguais ao longo dessa superfície. Sendo assim, o talude está em estado de ruptura iminente quando (Chaves, 2016; Ecks, 2014):

$$FS = 1 \quad (10)$$

A classificação do talude de acordo com os valores do fator de segurança e as respectivas condições do talude é apresentado na Tabela 6 (Carvalho, 1991 apud Ecks, 2014).

Tabela 6 - Fator de Segurança e Condições do Talude (Carvalho, 1991 apud Ecks, 2014)

Fator de Segurança	Condição do Talude
$FS < 1$	Talude instável; Caso o talude venha a ser implantado (corte ou aterro) nestas condições deverá sofrer ruptura.
$FS = 1$	Condição Limite de estabilidade associada à iminência de ruptura; também condição adotada geralmente nos cálculos de retroanálise.
$FS > 1$	Condição estável; quanto mais próximo de 1 for o FS, mais precária e frágil será a condição de estabilidade do talude.
$FS \gg 1$	Condição estável; quanto maior for o FS, menores serão as possibilidades do talude vir a sofrer ruptura quando submetido a condições críticas (percolação d'água, etc.)

Segundo Santos (2017), para se obter o fator de segurança crítico que corresponde à ruptura da estrutura, são feitas aproximações que variam conforme o nível de refinamento da análise e a variabilidade dos parâmetros adotados de resistência do solo, estes últimos podem ser obtidos a partir de ensaios realizados em campo e/ou laboratório. Por causa das aproximações, não necessariamente um fator de segurança maior que a unidade indica um talude estável, bem como um fator de segurança menor que a unidade não indica necessariamente que um talude rompeu. Por isso, o fator de segurança considerado aceitável para projetos é da ordem de 1,5 (Santos, 2017).

No entanto, é evidente que os agentes que induzem ou aceleram os escorregamentos também provocam a variação das propriedades dos materiais ao longo do tempo, conseqüentemente, diminuindo o fator de segurança da encosta até que ela esteja em situação de iminente ruptura ($FS=1$), conforme apresentado na Figura 17 (Camarinha, 2016).

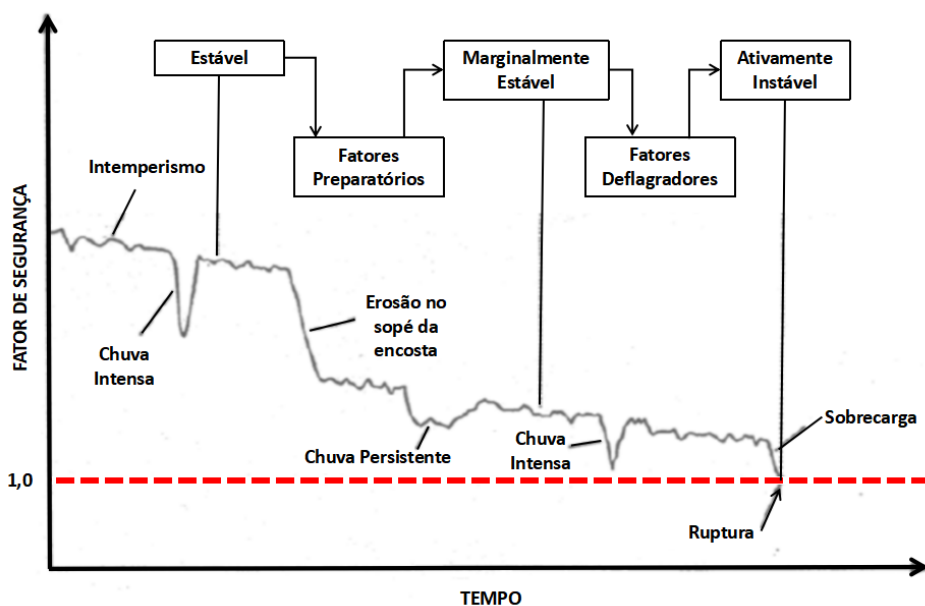


Figura 17 - Evolução do Fator de Segurança ao longo do Tempo (Camarinha, 2016)

3.3.2 Probabilidade de Ruptura

As análises de estabilidade por meio de métodos determinísticos estão associadas a obtenção do FS. De acordo com Jaber (2011), a aplicação do modelo, em algumas situações, faz com que o FS não seja representativo em termos de confiabilidade, já que este é um valor fixo e não leva em conta as variabilidades presentes nos parâmetros de entrada (topografia, geologia, resistência ao cisalhamento). Além disso, diante desta abordagem não é possível quantificar a probabilidade de falha do sistema ou o nível de risco associado.

A fim de quantificar as origens das incertezas envolvidas e para determinar um grau de confiabilidade para um talude, foram introduzidos teorias e métodos de análises probabilísticas aplicados à geotecnia.

A abordagem probabilística é uma técnica capaz de minimizar as incertezas das análises geotécnicas de estabilidade, e de complementar as análises determinísticas. Quando análises probabilísticas são aplicadas a estudos de estabilidade de taludes, o FS deixa de ser um valor médio e passa a ser entendido como uma função. Assim, passa-se a ter FS como uma variável aleatória dependente de outras variáveis chamadas independentes, as quais normalmente são os parâmetros variáveis ao longo do solo (Vecci, 2018).

A teoria da confiabilidade baseia-se em uma função de desempenho, como o FS de um talude, que varia como uma função das variáveis aleatórias de carregamentos e resistências.

Na abordagem proposta por Ang e Tang (1984), o método de confiabilidade de primeira ordem, FOSM (First-Order, Second Moment), é um método indireto de cálculo de probabilidade de ruptura, pois ele fornece média e desvio padrão do fator de segurança em função da média e desvio padrão dos parâmetros variáveis ao longo do solo envolvidos no cálculo (Griffiths, 2004 apud Vecchi, 2018).

Esta metodologia consiste na variação individual de cada parâmetro definido como variável aleatória, registrando o efeito desta alteração no valor de FS. É proposto por Dell'Avanzi (1995 apud Vecchi, 2018) uma variação máxima de 10% para cada parâmetro, independentemente de serem incrementais ou decrementais. Além disso, o método permite calcular a probabilidade de ruptura sem que seja necessário o conhecimento explícito da função densidade de probabilidade do FS (Vecchi, 2018).

Para n variáveis independentes é feita $n + 1$ análises determinísticas. Neste método, a variável dependente (Fator de Segurança) é derivado de forma a ser função das variáveis de entrada X_i . A determinação da variância do fator de segurança, é dada pela Equação 11:

$$V[FS] = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\delta FS_{ii}}{\delta X_i} \right)^2 \cdot V[X_i] \quad (11)$$

onde $V[FS]$ equivale à variância do FS. Ainda na Equação 11, δFS_{ii} corresponde à variância do FS quando as variáveis do estudo são variadas em δX_i e $V[X_i]$ significa a variância de cada uma das variáveis (X_i). A variância $V[X_i]$ de cada parâmetro X_i é obtida a partir da Equação 12, utilizando como valor médio de COV, o proposto por Sandroni e Sayão (1993). conforme apresentado na Tabela 7.

$$V[X_i] = (COV [X_i] \cdot E[X_i])^2 \quad (12)$$

Tabela 7-Relação Parâmetros e Coeficiente de Variação Sandroni e Sayão (1993)

Parâmetro	Coeficiente de Variação (%)
Peso Específico	3 (2 a 8)
Coesão Efetiva	40 (20 a 80)
Ângulo Efetivo de Resistência	10 (4 a 20)
Coesão Não Drenada	30 (20 a 50)

A análise de confiabilidade é realizada através do cálculo do índice de confiabilidade ou nível de confiança (β), uma função de desempenho capaz de expressar a segurança contra a ruptura ao invés da probabilidade de falha (Ang e Tang, 1984). O índice de confiabilidade β é definido por:

$$\beta = \frac{FS - 1}{\sigma_{FS}} \quad (13)$$

Sendo FS = Fator de segurança médio e σ_{FS} = Desvio padrão do fator de segurança.

Segundo os autores Wu *et al.* (1996) o fator de segurança médio menos 1 mede a diferença entre o fator de segurança médio e um fator de segurança FS de 1,0 – ou seja, indica a margem de estabilidade. Ao dividir este valor pelo desvio padrão de FS, a margem de estabilidade torna-se relativa à incerteza em FS.

A probabilidade de ruptura é definida por Flores (2008), como a probabilidade de um valor da função de performance ou desempenho (fator de segurança) ultrapassar o limite de estado (FS=1). A probabilidade (Pr) de ruptura pode ser obtida através da expressão:

$$Pr = 1 - \phi(\beta) \quad (14)$$

Onde $\phi(\beta)$ é obtido de funções de densidade de probabilidade normal N (0,1), com média nula, e uma de desvio padrão de 1,0, conforme a tabela proposta por Harr (1987) localizada no Apêndice H).

Segundo os autores Assis *et al* (2001), conhecendo a forma da distribuição do FS, o índice Pr também pode ser obtido através da Figura 18.

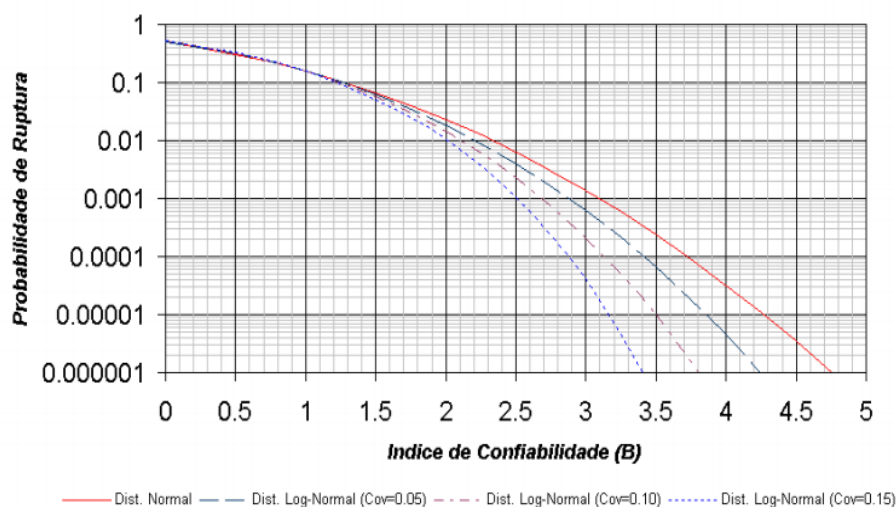


Figura 18-Relação entre Índice de Confiabilidade e Probabilidade de Ruptura para Distribuição Normal (Assis et al.,2001)

O Corpo de Engenheiros do Exército dos EUA (*U.S. Army Corps of Engineers*, 1997) classifica o nível de desempenho esperado em função da probabilidade de ruptura e do índice de confiabilidade conforme mostrado na Tabela 8.

Tabela 8 - Relação entre índice de confiabilidade e probabilidade de ruptura (U.S. Corps of Engineers,1997)

Nível	β	Pr
Alto	5,0	0,0000003
Bom	2,0	0,00003
Acima da Média	3,0	0,0013
Abaixo da Média	2,5	0,006
Pobre	2,0	0,023
Não Satisfatório	1,5	0,07
Perigoso	1,0	0,16

De acordo com Duncan (2000), ruptura não significa necessariamente um escorregamento catastrófico, mas pode ser descrito em outros contextos como movimento pré-ruptura e desenvolvimento de fissuras de

tração, sendo considerada a probabilidade de desempenho insatisfatório do talude.

Por esse motivo, o Corpo de Engenheiros do Exército dos EUA usa o termo de “Probabilidade de uma performance insatisfatória” no lugar de “Probabilidade de ruptura ou falha” (U.S. Army Corps of Engineers, 1997).

3.3.3 Nível de Segurança Desejado

Segundo a NBR11682/2009, o valor de FS varia em função da situação potencial de ruptura do talude, no que se refere ao perigo de perda de vidas humanas e à possibilidade de danos materiais e ao meio ambiente. Com o objetivo de resguardar a sociedade, foi estipulado critérios de nível de segurança para minimizar os possíveis danos, os quais são apresentados nas Tabelas 9 e 10.

Tabela 9 - Nível de Segurança Desejado Contra a Perda de Vidas Humanas (NBR11682/2009)

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.

Tabela 10 - Nível de Segurança Desejado Contra Danos Materiais e Ambientais (NBR11682/2009)

Nível de Segurança	Crítérios
Alto	Danos Materiais: Locais próximos a propriedade 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.

Nesses casos, ainda de acordo com a norma (NBR11682/2009), o fator de segurança mínimo a ser adotado deve ser estipulado conforme a Tabela 11. Os FS estão associados às análises de estabilidade interna – aquela que envolve superfícies potenciais de escorregamento localizadas a serem estabilizadas pela estrutura de contenção – e externa – aquela que envolve superfícies de escorregamento globais do talude.

Tabela 11 - Fator de Segurança Mínimos para Escorregamentos (NBR11682/2009)

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

3.3.4 Índice de Vulnerabilidade

O impacto físico do escorregamento de terra em um ativo em risco, ou seja, vulnerabilidade física, é uma componente importante na avaliação das consequências, pois fornece uma medida da propensão dos vários elementos em risco de sofrer danos quando ocorre um evento (Lee & Jones, 2014).

Segundo os autores Lee & Jones (2014), as estimativas de vulnerabilidade podem ser baseadas em uma escala de 0 a 1, na qual é

estimada a proporção relativa do valor total dos ativos que seriam perdidos em um evento por meio dos graus de danos (superficial, funcional e estrutural).

De acordo com Alexander (2002, apud Lee & Jones, 2014) os danos a estruturas e infraestruturas são classificados como sendo:

- Superficial – onde a funcionalidade dos edifícios e infraestrutura não são comprometidas e os danos possam ser reparados rapidamente e com baixo custo;
- Funcional ou operacional (grave) - onde a funcionalidade de estruturas ou infraestruturas são comprometidas e as reparações levam tempo e despesas significativas;
- Estrutural ou severa a total – onde edifícios ou vias de transporte são severamente danificados ou destruídos, necessitando de demolições e reconstruções extensas e extremamente caras.

O índice de vulnerabilidade apresentado na Tabela 12, proposto por Blöchl e Braun (2005 apud Lee & Jones, 2014), estabelece cinco níveis de vulnerabilidade associados a danos causados por escorregamentos de terra.

Tabela 12 - Vulnerabilidade de acordo com o tipo de dano por escorregamento de terra (Blöchl e Braun, 2005 apud Lee & Jones, 2014)

Intensidade do Dano	Vulnerabilidade
Leve dano não estrutural, estabilidade não afetada, móveis ou acessórios danificados	0,01-0,1
Rachaduras nas paredes, estabilidade não afetada, reparação não urgente	0,2-0,3
Deformação forte, buracos enormes nas paredes, rachaduras nas estruturas de suporte, estabilidade afetada, portas e janelas inutilizáveis, evacuação necessária	0,4-0,6
Quebras estruturais, parcialmente destruídas, evacuação necessária, reconstrução de partes destruídas	0,7-0,8
Parcial ou totalmente destruído, evacuação necessária, reconstrução completa	0,9-1

Nessa perspectiva, a determinação de um fator de segurança correto é crucial para a prevenção do risco, principalmente, em áreas urbanas de alta concentração populacional, onde os habitantes de baixa renda ocupam de forma inadequada as encostas suscetíveis ao escorregamento. Quando

deflagrada a instabilização do maciço nesses ambientes, tem sido geradas inúmeras fatalidades. Os desastres têm sido cada vez mais frequentes devido a esse aumento demográfico irregular e as tragédias ocorridas têm ganhado destaque na imprensa (Figura 19).



Figura 19 - Reportagens de Escorregamentos no Rio de Janeiro

3.4 Desastres

A Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil (SEDEC) e o Ministério da Integração Nacional (MI) definem desastre como sendo o “resultado de eventos adversos, naturais ou provocados pelo homem, sobre um ecossistema (vulnerável), causando danos humanos, materiais e/ou ambientais e consequentes prejuízos econômicos e sociais.” (Castro, 2012).

Além disso, de acordo com UNISDR (Tominaga *et al.*, 2009), o impacto proporcionado pelo desastre excede a capacidade dos indivíduos afetados de sustentar com seus próprios recursos tais danos, levando-se em conta que, para qualificar como desastre, segundo o Relatório Estatístico Anual do EM-DAT (*Emergency Disasters Data Base*), deve ser considerado pelo menos um dos seguintes critérios:

- 10 ou mais óbitos;
- 100 ou mais pessoas afetadas;

- Declaração de estado de emergência;
- Pedido de auxílio internacional.

Os desastres são quantificados em função dos prejuízos e perdas, as quais frequentemente estão relacionadas com o fator preponderante, que é o grau de vulnerabilidade do sistema receptor que define a intensidade (Castro 2012). E, como um todo, são qualificados em função do seu agente causador (Marcelino, 2008).

3.4.1

Impactos: Ambiental, Social e Econômico

Desastres naturais fomentam o desequilíbrio das relações constitutivas do ambiente. Estas, por conseguinte, produzem impacto ambiental significativo. Sendo o termo impacto ambiental definido pela Resolução Conama nº 01/86, em seu artigo 1º, como:

[...]qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam:

I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população;

II - as atividades sociais e econômicas;

III - a biota;

IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;

V - a qualidade dos recursos ambientais.

No que se refere ao escorregamento de terra, tem-se como consequência deste desequilíbrio ecológico na biota, o processo de assoreamento de rios, soterramento de nascentes e desvios de cursos de água devido ao acúmulo de substâncias minerais ou orgânicas oriundas do talude.

Já a alteração ambiental resultante da atividade antrópica obteve, a partir da década de 1950, níveis expressivos no Brasil devido ao processo de industrialização e urbanização (Reckziegel e Robaina, 2005). Associado ao crescimento urbano acelerado do país, houve também a incapacidade da administração pública em assistir a sociedade nas suas necessidades básicas. Estes fatores culminaram em um processo de ocupação

desordenada do solo, aumentou a segregação socioespacial nas cidades, assim como intensificou o impacto ambiental nas mesmas.

Os autores Uzielli *et al.* (2008 apud Abdulwahid & Pradhan, 2017), Mihir *et al.* (2014) e Machado & Zacarias (2016) enfatizam que os escorregamentos causam impactos socioeconômicos quando ocorridos em áreas habitadas, posto que o evento pode causar soterramento de casas, interdição da área no entorno, danos à propriedade pública e até mesmo mortes, devido ao desafio de evacuar os residentes de suas propriedades durante um escorregamento de terra. Dessa forma, torna-se necessário um investimento imediato para reparar os danos causados. Tal medida afeta o recurso econômico do local devido a reconstrução do meio físico e recuperação da área degradada (Ribeiro *et al.*, 2014).

Segundo Carvalho & Galvão (2006), o Brasil é considerado muito suscetível aos desastres naturais associados aos eventos de escorregamentos em função dos maciços rochosos e das condições climáticas de chuvas intensas e prolongadas, principalmente durante o verão. Mas também por causa das ações humanas (cortes em talude, aterros, depósitos de lixo, modificações na drenagem, desmatamentos) e a ocupações irregulares em taludes íngremes, condições essas que aumentam a vulnerabilidade da encosta (CEMADEN, 2016).

Os episódios catastróficos têm se tornado constantes e ganhado cada vez mais proporções trágicas nos centros urbanos. Os movimentos de massa envolvem o maior número de vítimas fatais e de perdas econômicas conforme apresentado na (Figura 20).

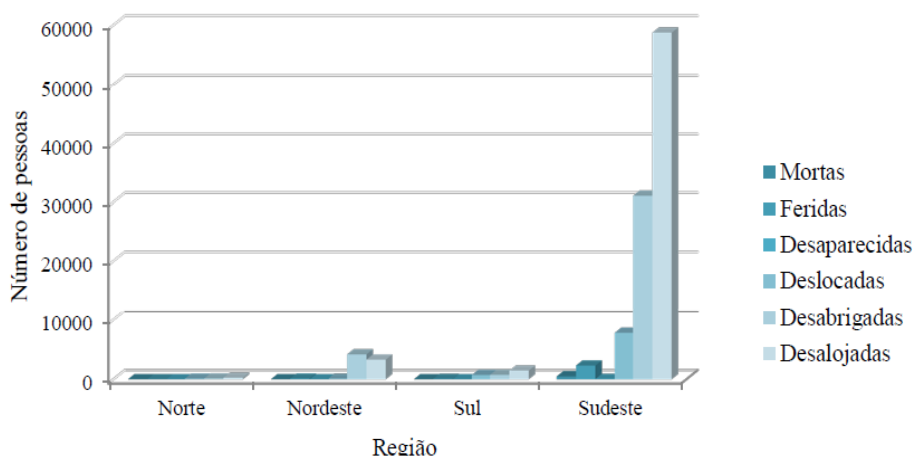


Figura 20-Movimentos de Massa por região no Brasil (CEPED/UFSC, 2012 apud Montandon, 2017)

Além dos fatores geológicos, segundo Alcántara-Ayala (2002), a ocorrência dos desastres está associada ao sistema econômico-social-político-cultural, onde os países em desenvolvimento sofrem muito mais desastres em relação aos países desenvolvidos.

Uma vez que as consequências adversas da exposição aos riscos naturais estão correlacionadas ao adensamento populacional da classe de baixa renda em áreas de risco e a falta de planejamento, dentro desse contexto de vulnerabilidade estrutural, torna-se complexo para o Estado responder com eficácia aos riscos associados a desastres naturais (Licco & Seo, 2013; Tominaga *et al.*, 2009; Vanacker *et al.*, 2003 apud Kobiyama, 2006).

Ainda de acordo com Tominaga *et al.* (2009) o grande desequilíbrio entre prevenção e resposta de urgência, é que as ações mitigadoras de riscos não oferecem a mesma visibilidade política em comparação aos programas de atendimentos emergenciais, os quais têm destaque na mídia.

Por causa dos frequentes números de desastres naturais envolvendo impactos ambientais e socioeconômicos negativos, associados a inexistência de infraestrutura necessária para que se tenha a qualidade de vida e segurança dos indivíduos, é indispensável implementar ações de avaliação de risco com objetivos de mitigação e recuperação ambiental e social (Chaves, 2016; Toniazzo *et al.*, 2018; Girão *et al.*, 2018).

3.4.2

Histórico de Desastres no Rio de Janeiro

De acordo com Silva Filho (2017), há registro dos escorregamentos no Rio de Janeiro desde o ano de 1711. Esses movimentos de massa, frequentemente, causam inúmeras tragédias e são responsáveis pelos danos humanos, materiais e/ou ambientais. Como dito anteriormente e é notório nas Tabela 13 e 14, existe lentidão na resposta do poder público quanto a recuperação e prevenção contra o risco de escorregamento.

Tabela 13- Principais eventos de escorregamentos no Rio de Janeiro (Adaptado Silva Filho, 2017)

Data	Evento
Setembro de 1711	Grandes inundações e deslizamentos de encostas a cidade do Rio de Janeiro
Abril de 1756	3 dias consecutivos de temporais com inundações e desabamentos de casas na cidade do Rio de Janeiro
Fevereiro de 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)
Abril de 1883	Tempestade chamada de "Manga D'água" com 233mm de chuva em apenas 4h na cidade do Rio de Janeiro
Março de 1905	Chuvas de 165mm/dia com inundações e deslizamentos no Rio de Janeiro
Abril de 1905	Temporais com inundações e deslizamentos no Rio
Abril de 1911	Temporais com inundações na cidade do Rio
Abril de 1924	Temporais com transbordamento do Canal do Mangue e desabamentos com vítimas no Morro de São Carlos
Março de 1926	Temporais com inundações na cidade do Rio
Março de 1928	Temporais com inundações na cidade do Rio
Janeiro de 1940	Chuva de 112mm causa inundações e mortes por desabamento no bairro de Santo Cristo, Rio.
Janeiro de 1942	Chuva de 132mm com inundações e desabamentos no Morro do Salgueiro com 5mortes
Janeiro de 1962	Chuva de 242mm com inundações, trasbordaemento do Canal do Mangue e Rio Maracanã e deslizamentos, 25 mortes
Janeiro de 1966	Enchentes e deslizamentos no Estado da Guanabara e Rio de Janeiro com a pior tempestade do século: chuva acumulada de 245mm/24horas com cerca de 400 mortos, 40.00 desabrigados
Janeiro de 1967	Enchentes e deslizamentos no Estado da Guanabara e Rio de Janeiro, 245mm/dia, 436 mortos e 23.000 desabrigados. Catastrofes por intensas debris flows na Serra das Araras, 275mm em 3horas, 1.700 mortes estimadas. Chuva de 119mm com ruptura de talude na General Glicério, Laranjeiras, 3 edifícios destruídos, 200 mortes, 300 feridos
Fevereiro de 1981	Trombas d'água na Serra dos Órgãos, entre Teresópolis e Guarimirim, estrada fecha por mais de 2 meses e muitas mortes
Março de 1981	Temporais com inundações, transbormaento do Rio Faria-Timbó e deslizamentos no Morro Pauda Bandeira, 6 mortes.
Março de 1983	Temporais de 189mm/dia com inundações e desabamento de casa em Sta Teresa, 5 mortes. Transbordamento de rios e canais em Jacarepaguá com mais de 150 desabrigados.
Outubro de 1983	Temporal com inundações e deslizamento no Morro do Pavãozinho, Rio, 13 mortes
Janeiro de 1985	Chuva de 100mm em 1h com o deslizamento de cerca de 2.500.000m ² em Piraquara, destruição de trecho da BR101.
Fevereiro de 1987	Temporais com inundações e deslizamentos de encostas em Petrópolis, Teresópolis e Rio de Janeiro, 292 mortes, 20.000 desabrigados, Estado de Calamidade Pública
Mai de 1987	Temporal com 217mm em 10h na cidade do Rio, provocando inundações e deslizamentos.

Tabela 14-Continuação Principais eventos de escorregamentos no Rio de Janeiro (Adaptado Silva Filho, 2017)

Data	Evento
Fevereiro de 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
Janeiro de 1991	Temporal e inundações na cidade do rio de Janeiro, 25 mortes e 8 feridos
Fevereiro de 1996	Temporal de 301mm/24h com debris flow nos Morros do Quitite e Papagaio. Deslizamentos na cidade do Rio e BR040. Interdição do Túnel Dois Irmãos
Janeiro de 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
Janeiro de 2000	Temporais com inundações e deslizamentos em Petrópolis, Teresópolis, Casimiro de Abreu e Barra Mansa, 22 mortes e 133 famílias desabrigadas
Janeiro de 2002	Temporal com deslizamentos na região de Angra dos Reis e na BR101
Fevereiro de 2003	Temporais com inundações e deslizamentos na Região Serrana, Sul e Norte Fluminense, 36 mortes, 1693 desabrigados
Novembro de 2005	Temporais em Sta Catarina com deslizamentos, 100 mortes, 140mil desabrigados
Janeiro de 2010	Catástrofe em Angra dos Reis, 143mm/dia, 53 mortes e deslizamentos em 61 bairros
Abril de 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)
Janeiro de 2011	Enchentes e deslizamentos na Região Serrana (Friburgo, Teresópolis e Petrópolis)
Abril de 2012	Temporais e deslizamentos em Teresópolis, 5 mortes e 1.000 desabrigados
Março de 2013	Temporal de mais de 300 mm em 24 horas e deslizamento em Petrópolis, 33 mortes
Março de 2014	Em Praia Brava choveu 122 m³ em 24 horas, 60 mm³ no Areal e 58 mm³ na Jacuecanga. Deslizamentos de terra e rocha, imóveis e pontos com alagamento e infiltração.
Novembro de 2016	9 deslizamentos de terra em Xerém, Caxias, 24 pessoas desalojadas. Imbariê, 10 famílias estão desalojadas, ocorrência de alagamentos, deslizamentos de terra e queda de árvores. Deslizamento em Petrópolis, 2 mortes, dezenas de pessoas desalojadas. Em Teresópolis, 40 pessoas desalojadas devido ao risco de desabamento.
Janeiro de 2017	Chuva provoca alagamentos e deslizamentos em Três Rios 100mm em 3h
Novembro de 2017	Cratera na BR 040 (Rio-Petrópolis), 129 pessoas desalojadas, 44 imóveis interditados
Novembro de 2018	Deslizamento de terra Morro da Boa Esperança em Niterói, causada por uma ruptura no maciço da encosta, 15 mortes.
Fevereiro de 2019	Chuva com elevado índice de precipitação, na cidade do Rio de Janeiro ocasionando deslizamento de terra, queda de parte da ciclovia Tim Maia e 2 mortas
Abril de 2019	Maior chuva em 22 anos no Rio causa 10 mortes (7 na Zona Sul e 3 na Zona Oeste), deixa bairros submersos e cidade em estágio de crise.
Maio de 2019	Desmoronamento de terra atinge túnel Rafael Mascarenhas. Teto do Túnel Acústico desaba, atingindo ônibus e interdita Lagoa-Barra
Agosto de 2020	Um grande deslizamento de terra no Morro da Mangueira, na Zona Norte do Rio, provocou a interdição de casas e deixou sete famílias desalojada
Janeiro de 2021	Temporal com enxurrada e inundações Rio de Janeiro
Abril de 2021	Deslizamento de terra deixa quatro casas interditadas no Pavão-Pavãozinho
Novembro 2021	Temporal no Rio causa bolsões d'água, deslizamentos e derruba árvores no Grande Rio
Dezembro 2021	Deslizamento de terra em Niterói deixa RJ em estado de alerta
Janeiro de 2022	Forte chuva provoca deslizamento de terra na cidade de Rio Bonito (RJ)
Fevereiro de 2022	As fortes chuvas em Petrópolis (RJ) causaram 775 pontos de deslizamentos de terra em toda a cidade e foram registrados 117 óbitos.
Abril de 2022	Deslizamento de terra em Angra provoca 11 óbitos.

Mediante o aumento dos desastres ambientais, principalmente nas áreas urbanizadas do município, torna-se necessário a realização de estudos que contribuam para melhoria da relação homem e meio físico, evitando-se, assim, o agravamento da situação provocada pelo uso indiscriminado do solo (Cristo & Herrmann, 2004).

A “expansão horizontal das áreas urbanas, com a consequente ocupação e intervenção em terrenos e ecossistemas de equilíbrio frágil” é apontada como causa da repetição dos escorregamentos dos morros. De acordo com o trabalho, as áreas de desastre estão associadas ao planejamento urbano, às condições de moradia, à existência ou não de planos de gestão de risco. Isso não quer dizer que apenas as regiões objeto de ocupação irregular sejam atingidas pelas tragédias. (Grid, 2015)

Segundo Saleem *et al.* (2019) para diminuir os danos causados por escorregamentos, devem ser identificadas as áreas que são mais suscetíveis a eventos futuros.

Abdulwahid & Pradhan (2017) enfatizam que para a definição dos projetos de mitigação de risco e as demais estratégias de gestão de escorregamento é vital uma vasta compreensão do fenômeno de risco de escorregamento e suas prováveis implicações na sociedade. Ainda de acordo com Marandola Jr. & Hogan (2006), para poder compreender os riscos em potencial, os recursos e a capacidade que sociedade tem de responder, caso estes riscos se concretizem, é necessária uma avaliação do risco na configuração socioespacial atual. Corroborando com UNISDR (Tominaga *et al.*, 2009), na qual enfatiza que a avaliação e a mitigação dos riscos e das vulnerabilidades são fatores fundamentais a serem considerados na redução dos impactos negativos dos perigos e desta forma são indispensáveis para se ter uma sociedade segura.

4

Modelos de Avaliação de Risco

Tendo em vista as causas e consequências de um desastre oriundo do escorregamento, é possível definir as medidas preventivas a serem adotadas com o objetivo de mitigar os riscos e desastres futuros. Sendo assim, neste capítulo, procura-se estabelecer o modelo de avaliação do risco, para responder às necessidades de prevenção dos desastres associados aos riscos geológicos, assim como evitar o aparecimento de situações de risco, principalmente, em áreas urbanas.

4.1

Gestão de Risco

Considerando o aumento das ocorrências de desastres em todo o mundo, desenvolveu-se a gestão de risco do mesmo com o objetivo de mitigar os riscos de desastres e evitar a instalação de novos através do planejamento, da coordenação e da execução de ações e medidas preventivas.

Para responder às necessidades de prevenção de desastres associados aos riscos físicos, segundo Brollo *et al.* (2009), são desenvolvidos pesquisas, estudos e atividades, onde são consideradas informações referentes a natureza geomorfológica, geológica, pedológica, hidrológica, climática, antrópica e registro de eventos, em três níveis de abordagem:

“[...] planejamento, com o objetivo de evitar o aparecimento de situações de risco; gerenciamento e administração, com o objetivo de permitir uma convivência, em termos aceitáveis, com as situações de risco já instaladas; intervenção e mitigação, com o objetivo de solucionar os problemas decorrentes das áreas de risco existentes.” (Brollo *et al.*, 2009)

No entanto, de acordo com Marcelino (2008), existem ainda hipóteses fundamentais para a gestão de risco:

- Conhecer os fenômenos desencadeantes visando a redução da intensidade e/ou frequência (quando possível);
- Buscar reduzir a exposição e fragilidade socioeconômica das áreas potencialmente vulneráveis;
- Valer-se de técnicas e métodos coerentes e eficazes que prezem pelo equilíbrio na relação custo/benefício;
- Aumentar a capacidade adaptativa e de convívio das comunidades frente aos desastres;
- Zelar pela difusão e distribuição de dados e informações visando à socialização do conhecimento;
- Permeiar na sociedade uma cultura de desastres “positiva” e não vitimista e sensacionalista;
- Alcançar e conscientizar a esfera política em todas as fases do processo.

4.1.1

Ciclo de Gestão de Proteção e Defesa Civil

No contexto internacional, na prática da gestão de risco (Figura 21) até a década de 1970, as instituições empenhavam-se em ações de resposta e de redução dos efeitos do desastre. No entanto, posteriormente percebeu-se que ao investir em ações de preparação poderiam reduzir os impactos dos desastres. Já na década de 80, do mesmo modo, foi notado que os impactos poderiam ser evitados, com ações de prevenção. Como já abordado no capítulo anterior, a década de 90 foi definida como a Década Internacional para a Redução dos Desastres Naturais (DIRDN) no período de 1990 a 1999, onde o foco no risco de desastre ganhou visibilidade mundial, e foram estabelecidas a redução do risco de desastre, respectivamente, através das ações de prevenção, preparação e resposta (Brasil, 2017).



Figura 21 - A evolução da Gestão de Risco foco nos desastres (Brasil, 2017)

Ainda de acordo com Brasil (2017), houve a mobilização dos governos nacionais na atuação da gestão de risco devido ao incentivo exercido pelas Nações Unidas. No Brasil, em 1995, foi publicado pela Política Nacional de Defesa Civil que o ciclo de administração de desastres baseava-se em quatro fases: prevenção de desastres, preparação para emergências e desastres, resposta aos desastres e reconstrução. No entanto, em 2012, com a publicação da nova Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC, aprovada pela Lei nº 12.608, foi estabelecido que a proteção e defesa civil em todo o território nacional abrange as ações integradas, definidas na Tabela 15 e apresentadas na Figura 22.

Tabela 15 - Conceitos das Ações de Proteção e Defesa Civil (Brasil, 2017)

PREVENÇÃO	Medidas e atividades prioritárias, anteriores à ocorrência do desastre, destinadas a evitar ou reduzir a instalação de novos riscos de desastre.
MITIGAÇÃO	Medidas e atividades imediatamente adotadas para reduzir ou evitar as consequências do risco de desastre.
PREPARAÇÃO	Medidas e atividades, anteriores à ocorrência do desastre, destinadas a otimizar as ações de resposta e minimizar os danos e as perdas decorrentes do desastre.
RESPOSTA	Medidas emergenciais, realizadas durante ou após o desastre, que visam ao socorro e à assistência da população atingida e ao retorno dos serviços essenciais.
RECUPERAÇÃO	Medidas desenvolvidas após o desastre para retornar à situação de normalidade, que abrangem a reconstrução de infraestrutura danificada ou destruída, e a reabilitação do meio ambiente e da economia, visando ao bem-estar social.



Figura 22 - Ações integradas em Proteção e Defesa Civil (Brasil, 2017)

Sendo enfatizado ainda por CEPED/UFSC (2014) que as fases de prevenção, mitigação e preparação correspondem a gestão de risco de desastre (GRD), e as fases de resposta e recuperação se referem a gerenciamento de desastres, conforme apresentado na Figura 23.

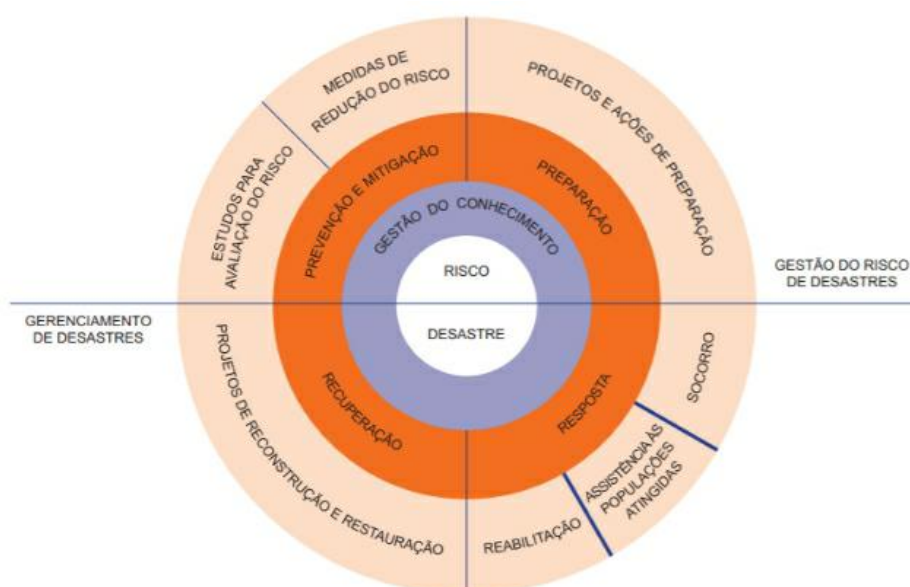


Figura 23 - Ciclo de Gestão de Proteção e Defesa Civil (CEPED/UFSC, 2014)

Considerado por diversos autores, incluindo Lavell *et al.* (2009 apud CEPED/UFSC, 2014), que Gestão de Riscos de Desastres “consiste em um processo social cujo objetivo é prever a redução e o controle permanente dos fatores de risco de desastre na sociedade, integrado ao

desenvolvimento humano, econômico ambiental e territorial sustentável”, as ações realizadas referentes a essa etapa são:

- identificar os riscos;
- avaliar e gerar conhecimento;
- prevenir e mitigar o risco futuro;
- criar uma cultura de prevenção; e
- preparar e melhorar o sistema de resposta das organizações e da sociedade.

Já o Gerenciamento de Desastre (GD), segundo CEPED/UFSC (2014), diz respeito ao “planejamento, a coordenação e a execução das ações de resposta e de recuperação. Essa gestão desenvolve ações que priorizam a capacidade de resposta individual e coletiva, diminuindo, assim, as possibilidades de perdas e danos ocasionadas pelo impacto dos eventos adversos.” As atividades realizadas nesse período são:

- Fortalecimento da capacidade normativa, técnica e institucional na gestão nacional, regional e local das emergências e/ou desastres.
- Intercambio de informação e a coordenação em todos os níveis.
- Fortalecimento de preparação com enfoques regionais coordenados.
- Formulação de normas e planos.
- Promoção e estabelecimento de fundos de emergência e/ ou desastre para apoiar as medidas de reabilitação e de recuperação.

4.1.2

Fases da Gestão do Desastre

Além disso, de acordo com o Plano de Emergência do Estado do Rio de Janeiro- PEM/RJ (SEDEC/RJ, 2020) e o autor Marcelino (2008), toda ocorrência de desastres envolve três fases distintas (Figura 24), as quais também são utilizadas para classificar as fases da gestão do desastre, sendo elas:

1. Pré-Impacto (Antes): corresponde ao momento que antecede o desastre, sendo constituído pelas etapas de prevenção e preparação, cujas ações visam diminuir o risco e preparar a sociedade para o impacto;
2. Impacto (Durante): corresponde ao desastre, sendo representado pelas ações emergenciais de resposta, que visam o salvamento, o auxílio de ajuda humanitária as populações e regiões atingidas pelos eventos adversos, bem como as que venham a sofrer seus efeitos secundários e a reabilitação do cenário do desastre a curto prazo;
3. Pós-Impacto (Depois): correspondem as ações de reconstrução necessárias para o restabelecimento das funções básicas da comunidade a médio e longo prazo, visando o restabelecimento da “normalidade” e da funcionalidade local, como a reconstrução dos serviços essenciais (água, luz, comunicação e transporte) e das estruturas danificadas ou destruídas, além de ser a fase na qual é feita a avaliação dos danos causados.

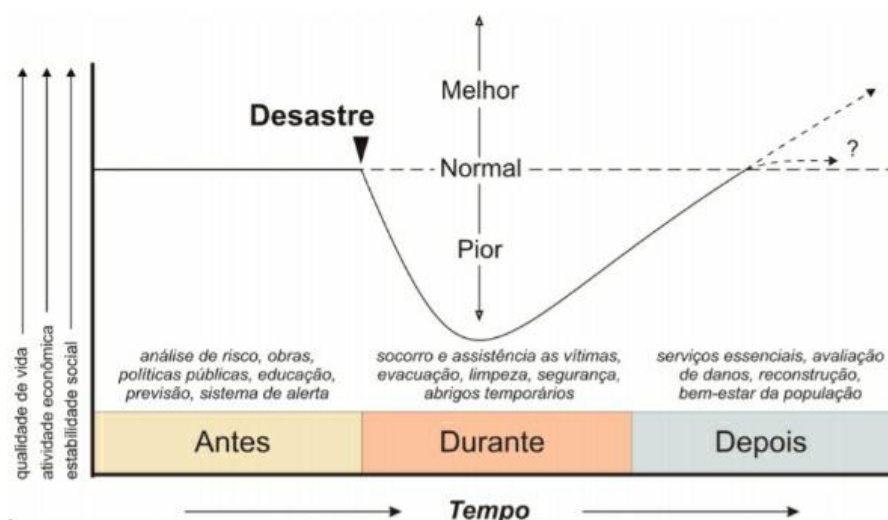


Figura 24 - Ciclo de um desastre (Marcelino, 2008)

O SEDEC/RJ (2020) ainda enfatiza que as fases da gestão do desastre, assim como a gestão dos riscos de desastres, níveis de alerta e alarme, estão associadas as alterações dos Estados Operacionais.

4.1.3 Estados Operacionais

No Estado do Rio de Janeiro foram definidos critérios operacionais baseados nos parâmetros de monitoramento definido como "gatilhos". A estratégia de monitoramento das ameaças e os critérios de classificação são preceitos para as ações de mobilização preventiva e de resposta à população vitimada por desastre.

De acordo com o SEDEC/RJ (2020), os gatilhos para níveis de alerta de risco geológico foram criados pelo Centro Estadual de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN-RJ) e pelo Departamento de Recursos Minerais (DRM). A metodologia é usada no Plano de Contingência anual do Núcleo de Análise e Diagnóstico de Escorregamentos (NADE), onde é determinado as condicionantes para os Estados Operacionais (EOp) com indicações de ações a serem desempenhadas, conforme apresentado na Tabela 16.

Ainda segundo a Secretaria de Estado de Defesa Civil do Rio de Janeiro (2020), a previsão ou antecipação aos desastres amplia a

capacidade de resiliência pelo cidadão. Atuar na fase do pré-impacto contribui para minimizar os danos e os prejuízos, a medida em que permite a mobilização preventiva de todo o sistema estadual e municipal de defesa civil. Apesar disso, Marcelino (2008) destaca que no Brasil, os maiores investimentos têm sido realizados na fase de resposta, principalmente, na capacitação e estruturação das defesas civis e corpos de bombeiros.

Sendo assim, este capítulo tem como foco a fase de pré-impacto, ou seja, a gestão de riscos de desastres na fase de prevenção e mitigação, no que diz respeito ao estudo para a identificação e avaliação de risco, visando estabelecer as medidas de redução.

Tabela 16 - Gatilhos para níveis de alerta ao risco Geológico (SEDEC/RJ,2020)

Estágio de Monitoramento	Risco Geológico	Efeitos Potenciais	Gatilhos-Precipitação/Duração							
			Costa Verde	Sul	Serrana	Baixada Fluminense	Metropolitana (+Arraial do Cabo)	Baixada Litorânea (Exceto Arraial do Cabo)	Norte Noroeste	Capital
Vigilância	Muito Baixo	Deslizamentos não deflagrados pela ação das chuvas, tendo como agente de maior relevância uma circunstância associada a efeitos naturais ou antrópicos (cisternas, rompimento de tubulações dilatações térmicas, vibrações, etc).	Chuva menor que 5mm em 1hora + Acumulado menor que 25mm em 24horas	Chuva menor que 5mm em 1hora + Acumulado menor que 25mm em 24horas	Chuva menor que 5mm em 1hora + Acumulado menor que 25mm em 24horas	Chuva menor que 5mm em 1hora + Acumulado menor que 25mm em 24horas	Chuva menor que 5mm em 1hora + Acumulado menor que 25mm em 24horas	Chuva menor que 5mm em 1hora + Acumulado menor que 25mm em 24horas	Chuva menor que 5mm em 1hora + Acumulado menor que 25mm em 24horas	Chuva menor que 5mm em 1hora + Acumulado menor que 25mm em 24horas
Observação	Baixo	Deslizamentos deflagrados pela ação das chuvas ou não, tendo como agente de maior relevância uma circunstância associada a efeitos naturais ou antrópicos (cisternas, rompimento de tubulações dilatações térmicas, vibrações, etc).	Entre 5 e 45mm/1hora+ Entre 25 e 90mm/24horas	Entre 5 e 40mm/1hora+ Entre 25 e 85mm/24horas	Entre 5 e 35mm/1hora+ Entre 25 e 90mm/24horas	Entre 5 e 50mm/1hora+ Entre 25 e 100mm/24horas	Entre 5 e 50mm/1hora+ Entre 25 e 100mm/24horas	Entre 5 e 45mm/1hora+ Entre 25 e 85mm/24horas	Entre 5 e 45mm/1hora+ Entre 25 e 85mm/24horas	Menor que 25mm/1hora + Menor que 85mm/24horas ou Menor que 25mm/24horas + 140mm/96horas
Atenção	Moderado	Deslizamentos pontuais, geralmente associados a rupturas de taludes de corte e taludes artificiais (aterro).	Maior que 45mm/1hora ou Maior que 90mm/24horas	Maior que 40mm/1hora ou Maior que 85mm/24horas	Maior que 35mm/1hora ou Maior que 90mm/24horas	Maior que 50mm/1hora ou Maior que 100mm/24horas	Maior que 50mm/1hora ou Maior que 100mm/24horas	Maior que 45mm/1hora ou Maior que 85mm/24horas	Maior que 45mm/1hora ou Maior que 85mm/24horas	De 25mm/h a 50mm/h ou 85mm/24h a 140mm/24h ou 25mm/24h a 50mm/24h + 140mm a 220mm/96h
Alerta	Alto	Deslizamentos nos setores mais críticos do município, geralmente afetando vários taludes de corte ou naturais, em solo e rocha.	Maior que 45mm/1hora ou Maior que 90mm/24horas + Maior que 115mm/96horas + Maior que 270mm/30 dias	Maior que 40mm/1hora ou Maior que 85mm/24horas + Maior que 100mm/96horas + Maior que 270mm/30 dias	Maior que 35mm/1hora ou Maior que 90mm/24horas + Maior que 115mm/96horas + Maior que 270mm/30 dias	Maior que 50mm/1hora ou Maior que 100mm/24horas + Maior que 120mm/96horas + Maior que 270mm/30 dias	Maior que 50mm/1hora ou Maior que 100mm/24horas + Maior que 120mm/96horas + Maior que 270mm/30 dias	Maior que 45mm/1hora ou Maior que 85mm/24horas + Maior que 100mm/96horas + Maior que 300mm/30 dias	Maior que 45mm/1hora ou Maior que 85mm/24horas + Maior que 100mm/96horas + Maior que 300mm/30 dias	50mm/h a 80mm/h ou 140mm/24h a 220/24h ou 50mm/24h a 100mm/24h + 220mm/96h a 300/96h
Alerta Máximo	Muito Alto	Deslizamentos generalizados deflagrados pelas chuvas em taludes/ encostas naturais e taludes de corte/artificiais. Esses deslizamentos estão relacionados a cidentes adjacentes e de largo alcance, distribuídos por todo o município.	Maior que 45mm/1hora + Maior que 90mm/24horas + Maior que 115mm/96 horas + Maior que 270mm/30dias	Maior que 40mm/1hora + Maior que 85mm/24horas + Maior que 100mm/96 horas + Maior que 270mm/30dias	Maior que 35mm/1hora + Maior que 90mm/24horas + Maior que 115mm/96 horas + Maior que 270mm/30dias	Maior que 50mm/1hora + Maior que 100mm/24horas + Maior que 120mm/96 horas + Maior que 270mm/30dias	Maior que 50mm/1hora + Maior que 100mm/24horas + Maior que 120mm/96 horas + Maior que 270mm/30dias	Maior que 45mm/1hora + Maior que 85mm/24horas + Maior que 100mm/96 horas + Maior que 300mm/30dias	Maior que 45mm/1hora + Maior que 85mm/24horas + Maior que 100mm/96 horas + Maior que 300mm/30dias	Maior que 80mm/1hora + Maior que 220mm/24horas ou Maior que 100mm/24 horas + Maior que 300mm/96h

4.1.4 Prevenção e Mitigação

As etapas de prevenção e mitigação são as fases que antecedem a ocorrência dos eventos de risco. Nelas são adotadas as intervenções necessárias para se reduzir as consequências dos futuros desastres.

O cenário da capital do Rio de Janeiro impõe a necessidade da implementação das ações mitigadoras, uma vez que apresenta uma população em grande vulnerabilidade social. E, quando ocorre, principalmente, precipitações pluviométricas elevadas há uma incidência maior de desastres relacionados aos escorregamentos. Apesar de ser o pólo econômico e centro político do Estado (Tabela 17), a capital ainda apresenta distorções sociais entre suas regiões administrativas com a população residente em comunidades vulneráveis próximo às encostas (SEDEC/RJ,2020).

Tabela 17 - Características da Capital (PEM/RJ,2020)

Município	População				Economia		
	Área (Km²)	População no Último Censo [2017]	Posição no Estado (Ranking)	Densidade Demográfica (Hab/Km²) [2017]	PIB Per Capita (R\$) [2018]	Posição no Estado (Ranking)	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) [2010]
Rio de Janeiro	1.200,18	6.520.266	1º	5432,74	54.426,08	16º	0,799

Sendo assim, é importante avaliar os riscos com o intuito de reduzir os índices desses cenários de desastres e, assim, proporcionar a melhoria na segurança e qualidade de vida dos habitantes.

4.2 Avaliação de Risco

O processo inicial da gestão de risco de desastres requer uma avaliação de risco. É necessário conhecer quais são os riscos que a comunidade está realmente exposta antes de escolher e implantar medidas preventivas.

Segundo Cui *et al.* (2009 apud Abdulwahid & Pradhan, 2017), a avaliação de risco de escorregamento tem como objetivo expor o nível de risco em termos de vidas e perdas econômicas de forma quantitativa ou qualitativa em uma determinada área.

De acordo com Kaplan & Garrick (1981 apud Lee, 2016), a avaliação de risco aborda três questões básicas:

- O que pode acontecer?
- Qual é a probabilidade de isso acontecer?
- Se isso acontecer, quais são as consequências?

No que se refere a identificação do risco, Balaji *et al.* (2005 apud Marcelino, 2008) relatam que é fundamental reconhecer as características do ambiente e o contexto socioeconômico em que podem ocorrer os desastres. Os principais parâmetros estabelecidos pelos autores são os dados sobre perigo (tipo, data, local de ocorrência, frequência, magnitude), e para cada tipo de ameaça, deve-se entender os fatores condicionantes, os agentes deflagradores e os elementos sob risco. Bem como, a identificação do ambiente (geologia, geomorfologia, hidrologia, climatologia, uso do solo) e a exposição local (infraestrutura urbana, edificações, população, dados socioeconômicos).

Além disso, CEPED/UFSC (2014) adiciona o registro histórico das áreas atingidas por desastres em anos anteriores, dados que são obtidos através das entrevistas com moradores antigos e atuais, assim como por reportagens. Após o levantamento das informações, deve-se fazer a relação entre as variáveis estudadas e a hierarquização dos riscos. Sendo tal premissa ratificada por Abdulwahid & Pradhan (2017) ao declararem que “o passado é a chave para o futuro” no que se refere aos estudos de escorregamentos, pois os fatores condicionantes registrados em escorregamentos anteriores podem ser considerados na previsão de escorregamentos.

Existem muitos modelos de avaliação de risco, pois eles são um reflexo dos diferentes contextos em que as formas de avaliação de risco são aplicadas. Lee & Jones (2014) propõe para uso geral o esquema sequencial, onde a avaliação de risco é a combinação das consequências

adversas de um evento e sua probabilidade de ocorrência, e o resultado dessa análise deve facilitar as decisões de quais estratégias devem ser utilizadas pela gestão de risco para uma real redução dos riscos identificados. As etapas do processo da avaliação do risco proposta por Lee & Jones (2014) são apresentadas na Figura 24.

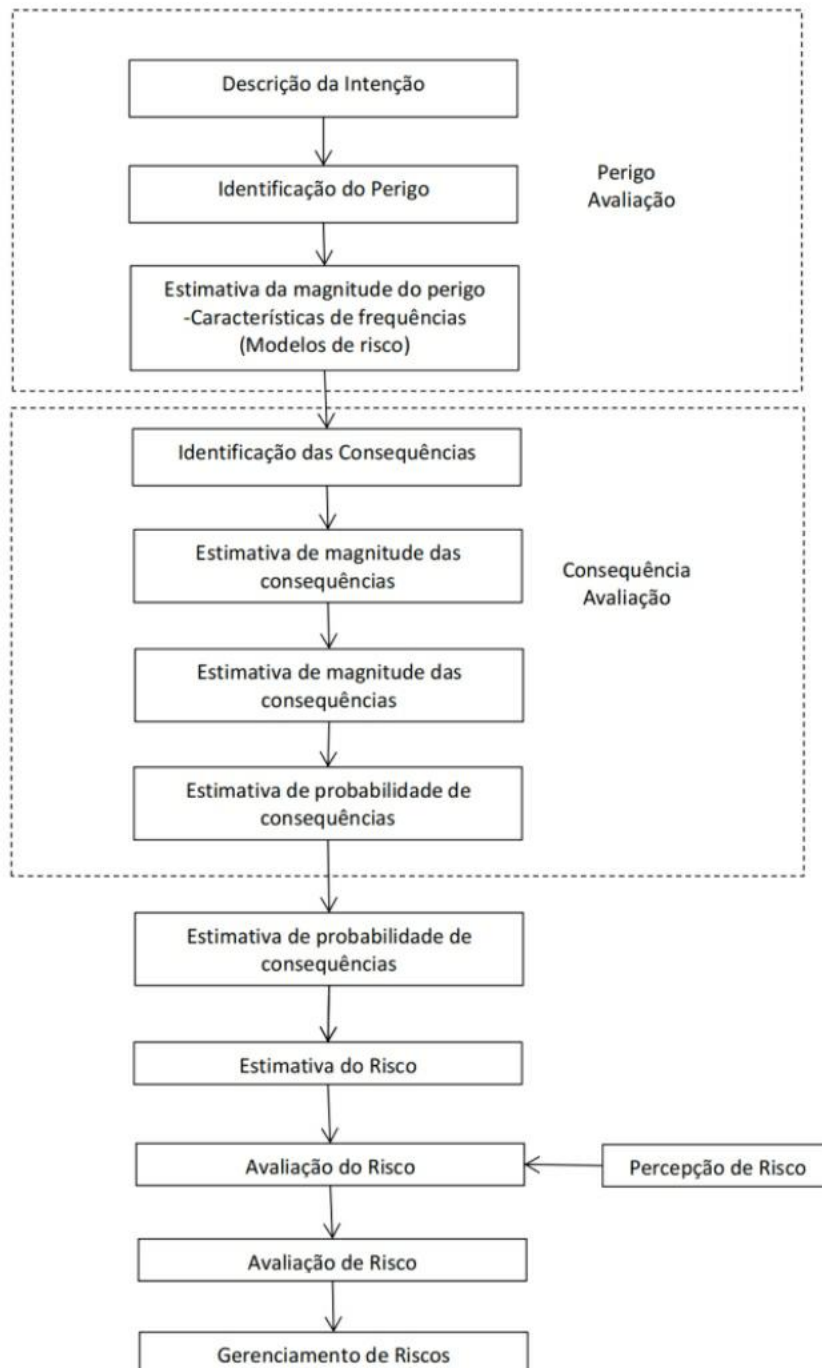


Figura 25 - Fluxograma das etapas do processo de avaliação de risco (Lee e Jones, 2014)

1. Descrição da intenção - Processo de triagem para saber se uma avaliação de risco é ou não necessária, e definição do escopo, foco da investigação, e os limites espaciais e temporais da avaliação do risco.

2. Avaliação do Perigo

2.1 Identificação de perigo;

2.2 Estimativa de magnitude e frequência ou probabilidade de perigos;

Para os autores, os riscos geográficos, especificamente, não ocorrem por si só. É necessária alguma perturbação para desencadear o evento.

Eventos geofísicos (riscos geográficos), incluindo deslizamentos de terra, simplesmente não ocorrem - deve haver uma atividade preparatória que leve ao acúmulo de energia, seguida por um desequilíbrio entre forças e restrições que leva à liberação de energia, que, em vez, é seguido por atividade dinâmica (ou seja, o evento de risco) (Lee e Jones, 2014, p.23-24).

O modelo de perigo considerado pelos autores é representado por quatro fases: **Incubação**→ **Desencadear**→ **Evento Inicial**→ **Eventos Primários**

O gatilho leva ao evento inicial, que por sua vez pode causar diretamente outros eventos. Estes eventos, denominados eventos primários, podem ser muito maiores, mais violentos e ter um potencial de impacto muito maior do que o evento inicial. Esta sequência representa a cascata de eventos de risco vista na Figura 26 que inclui perigos adicionais, consequências adversas e benefícios (Lee & Jones, 2014).

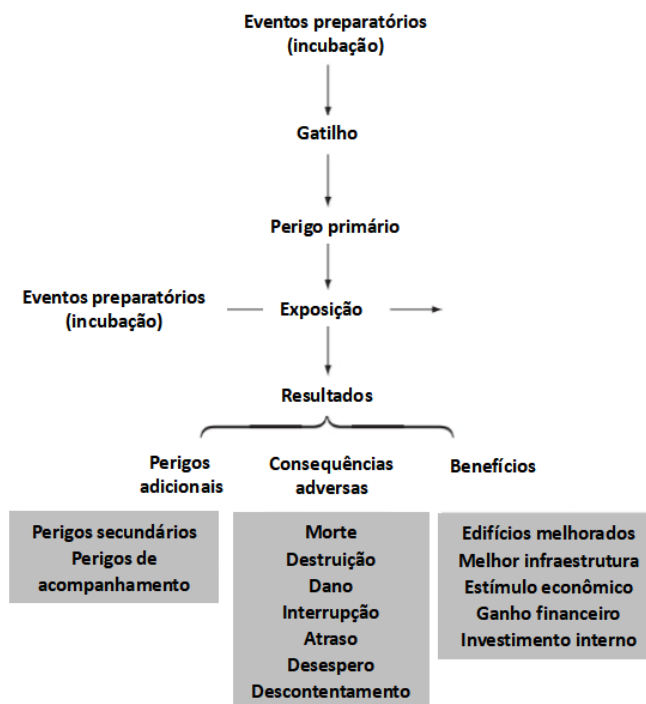


Figura 26 - Cascata de Eventos de Risco (Lee e Jones, 2014)

Após a identificação e análise dos perigos através do diagrama de incubação dos sistemas físicos e humanos, onde os mesmos interagem e produzem um evento de risco, temos a etapa da avaliação das consequências.

3. Avaliação da Consequência

3.1 Identificação da gama provável de consequências adversas que os perigos identificados irão gerar.

3.2 Estimativa da faixa de magnitude das consequências adversas.

3.3 Estimativa de frequência, probabilidade de magnitude diferente de consequências adversas.

Ainda segundo Lee & Jones (2014), ao considerar grandes eventos geológicos, as perdas são geralmente atribuídas aos processos primários, secundários e terciários. Ou seja, a cascata de perigos e consequências não são decorrentes apenas do evento inicial e sim, devido a sucessão de eventos. A exemplificação de sequência de acidentes é ilustrada na Figura 27 considerando escorregamento, onde no diagrama a sequência de

evento de risco (na horizontal) interage com a atividade humana para resultar em uma sequência de acidente (na vertical).

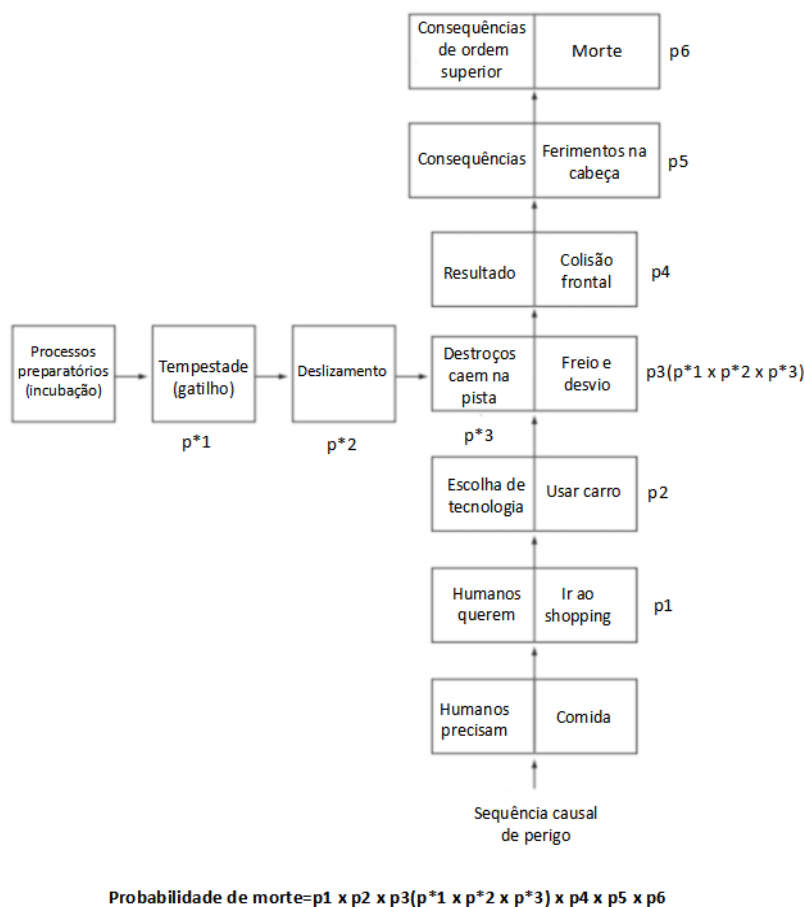


Figura 27 - Sequência de Evento de Risco (Lee & Jones, 2014)

Diante da sequência de acidentes instalada, para expressar quantitativamente em termos de números de mortes, feridos graves, pessoas deslocadas, associado aos custos em termos de edifícios, infraestrutura, atividade econômica, meio ambiente, ecologia, entre outros, é realizada a estimativa de risco (Lee & Jones, 2014).

4. Estimativa de risco - pode ser descrita como uma combinação dos resultados adversos prováveis, consequências adversas de um evento e a probabilidade de ocorrência.

5. Avaliação de risco - se preocupa em determinar a significância dos riscos estimados para os afetados. Ou seja, como as pessoas afetadas, ou potencialmente afetadas, se sentem sobre as ameaças potenciais a objetos

e ambientes dentro de uma área de estudo referida como percepção de risco.

6. Avaliação de risco final - consolidada a partir da convergência da estimativa de risco, avaliação e percepção de risco, na qual os resultados devem ser combinados com alguma forma de análise de custo-benefício para facilitar as decisões quanto a:

- (I) se deve ou não prosseguir com a estratégia ou projeto proposto;
- (II) se deve modificar a estratégia proposta ou projeto de forma a evitar altos níveis de risco;
- (III) aceitar, reduzir ou minimizar alguns ou todos os riscos remanescentes identificados pela implementação de estratégias de gestão.

7. Gerenciamento de riscos - envolve a implementação das estratégias de redução do risco identificado.

Por fim, é notório que as etapas para a avaliação de risco, apesar de serem apresentadas na Figura 25, dependerão das circunstâncias e contextos nos quais a avaliação de risco é realizada, assim como o modelo adotado.

4.2.1

Modelo de Avaliação de Risco de Escorregamento de Terra

Diferentes estudos têm propostos modelos de avaliação de risco de escorregamentos. Entre eles, citam-se as metodologias baseadas em mapas e inventários, na estatística, na geotecnia, na geomorfologia e no modelo heurístico, a metodologia INFORM, o Índice de Risco Mundial.

Apesar da utilização de diferentes abordagens metodológicas, o principal objetivo do perfil de risco de cada país é classificar os países de acordo com o índice de risco correspondente, a fim de contribuir para a gestão do risco e apoiar o processo de tomada de decisão sobre a prevenção, preparação e resposta a riscos naturais (Pereira *et al.*, 2020).

Segundo Ho *et al.* (2000 apud Dai *et al.*, 2002), a estrutura básica (Figura 28) para a avaliação e gestão do risco de escorregamento de terra requer a abordagem de algumas questões, tais como:

- a) probabilidade de escorregamento,
- b) comportamento de escorregamento de detritos de escorregamento,
- c) vulnerabilidade de propriedade e pessoas a escorregamentos,
- d) risco de escorregamento para propriedades e pessoas, e
- e) estratégias de gestão e tomada de decisão.

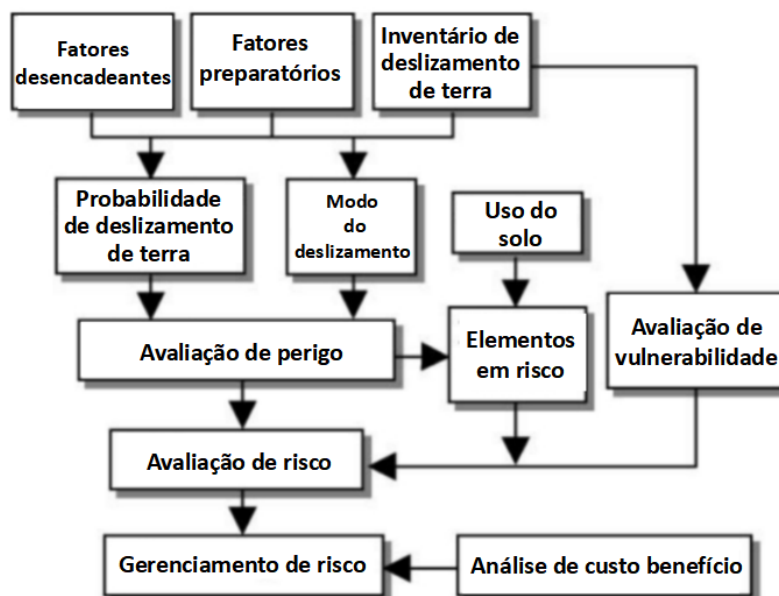


Figura 28 - Estrutura para avaliação e gestão de risco de escorregamento (Ho et al., 2000 apud Dai et al., 2002)

4.2.1.1

Abordagem Qualitativa: Modelo do Ministério das Cidades & IPT

O Ministério das Cidades, em parceria com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas, apresenta um modelo baseado na geotecnia para a avaliação do risco de escorregamentos (Figura 29). As áreas de risco são mapeadas em zonas, o que facilita a identificação do grau de risco e vulnerabilidade de cada setor, devido ao detalhamento de cada situação existente que é preenchido através do cadastro de risco, utilizado em vistorias em campo.

Segundo o Ministério das Cidades (2006), o formulário (Apêndice A) abrange seções sobre a caracterização do local sobre a presença de evidências de movimentação, presença de água e vegetação para

preenchimento. Ainda, para se obter melhor representação do local, são utilizadas plantas, mapas, fotografias aéreas, imagens de satélite e fotografias oblíquas de baixa altitude com o objetivo de identificar e delimitar corretamente a área mapeada.

MAPEAMENTO DE RISCO	
Ficha de Campo	X Encosta X Margem de Córrego
SUBPREFEITURA DO CAMPO LIMPO	ÁREA N°02 (JD.COMERCIAL I) SETOR 1
Equipe:	
Data:	
Diagnóstico do setor (condicionantes e indicadores do processo de instabilização):	
<p>Ocorrência de cicatriz de escorregamento Três casas foram afetadas e demolidas pela prefeitura. Talude da margem do córrego. Declividades acentuada 45° Altura de 8m.</p>	
Descrição do Processo de Instabilização: (escorregamento de solo/rocha/aterro; naturais/induzidos; materiais mobilizados; solapamento; ação direta da água, etc):	
<p>Escorregamento induzido no talude do córrego devido à presença de aterro sobre o solo e a drenagem superficial. Também houve a distribuição do processo de solapamento da margem do córrego.</p>	
Observações (incluindo descrição de fotos obtidas no local e coordenadas):	
<p>Área parcialmente consolidada, faltando a complementação da infra-estrutura. Devem ser realizados serviços de limpeza e recuperação da área com a retirada do entulho e lixo do talude na margem do córrego, e obras de drenagem superficial que conduza as águas superficiais do alto do talude até o córrego, e retaludamento e estabilização do canal do córrego. Fotos: FV-CL-2-01; FH-CL-2-01; FC-CL2-01.</p>	
Grau de Probabilidade: R3-ALTO	

Figura 29 - Exemplo de ficha de campo preenchida (Brasil, 2007)

A proposta do roteiro de cadastro emergencial de risco de escorregamentos tem por finalidade determinar o nível de risco da situação em análise e, conseqüentemente, permite determinar a potencialidade de ocorrência de acidentes, como a identificação das situações de risco (Ministérios das Cidades, 2006).

Para se determinar a probabilidade de ocorrência do processo foi estipulado o grau de risco a partir de padrões preestabelecidos, no qual propõe-se utilizar escala com 4 graus (níveis) de probabilidade de ocorrência dos processos com base nas informações geológico-

geotécnicas: muito alto (R4), alto (R3), médio (R2) e baixo ou sem risco (R1). Os critérios de ocorrência de escorregamentos são apresentados nas Tabelas 18 e 19.

Tabela 18 - Critério para grau de probabilidade de risco (Ziegler, 2013)

Grau de Probabilidade	Descrição
R1 Baixa a Inexistente	Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno, etc) e o nível de intervenção no setor são de baixa potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos.
	Não há indícios de desenvolvimento de processos de instabilização de encostas e de margens de drenagens.
	É a condição menos crítica.
	Mantidas as condições existentes, não se espera a ocorrência de eventos destrutivos no período de um ciclo chuvoso.
R2 Médio	Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno, etc) e o nível de intervenção no setor são de baixa potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos.
	Observa-se a presença de alguma (s) evidências(s) de instabilidade (encosta e margens de drenagens) porém incipiente(s).
	Mantidas as condições existentes, é reduzida a possibilidade de ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período de um ciclo chuvoso.

Tabela 19-Continuação Critério para grau de probabilidade de risco (Ziegler, 2013)

Grau de Probabilidade	Descrição
R3 Alto	Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno, etc) e o nível de intervenção no setor são de alta potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos.
	Observa-se a presença significativa(s) evidência(s) instabilidade (trincas no solo, degrau de abatimento em taludes, etc).
	Mantidas as condições existentes, é perfeitamente possível a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas no período de um ciclo chuvoso.
R4 Muito Alto	Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno, etc) e o nível de intervenção no setor são de alta potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos.
	As evidências de instabilidade (trincas no solo, degrau de abatimento em taludes, trincas em moradias ou em muros de contenção, árvores ou poste inclinados, cicatrizes de escorregamentos, feições erosivas proximidade da moradia em relação ao córrego, etc) são expressivas e estão presentes em grande número e/ ou magnitude.
	É a condição mais crítica.
	Mantidas as condições existentes, é muito provável a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas no período de um ciclo chuvoso.

Além disso, é necessário identificar o dano causado decorrente do escorregamento, o qual é enfatizado por Bressani (2010 apud Ziegler, 2013). A Tabela 20 apresenta a classificação, definição e exemplos desses danos.

Tabela 20 - Danos Causados pelos escorregamentos (Adaptado de Bressani, 2010 apud Ziegler, 2013)

Danos	Definição	Exemplos
Diretos	Causados diretamente pelo movimento de terra.	Fissuras e trincas em residências e estruturas por deslocamento do terreno;
		Destruição parcial ou total de estruturas do material rompido;
		Destruição de infraestrutura (águas, telefones);
		Danos ou destruição de rodovias e ruas.
Indiretos	Causados pelos efeitos do fluxo material fluidificado (que se deslocam com grande velocidade pelas drenagens).	Erosão de margens de arroios e rios induzindo novas rupturas;
		Erosão de aterros e de aproximação de pontes;
		Destruição de pontes e pontilhões por impacto direto do enxurro;
		Soterramento de drenagens, galgamento de aterros e erosão;
		Destruição de lavouras, mudança de curso de arroios, deposição de destroços.

Ademais, a quantificação do dano gerado por cada instabilidade potencial é ressaltada por Pereira *et al.* (2008 apud Ziegler, 2013) como necessária para a classificação dos setores de risco. Ou seja, é necessário definir os níveis das consequências potenciais de determinado evento destrutivo. Sendo assim, os autores classificam os danos em três níveis, conforme mostra a Tabela 21.

Tabela 21 - Níveis de consequências potenciais de determinado evento destrutivo (Adaptado Pereira et al., 2008 apud Ziegler, 2013)

Nível	Consequências
Alto	O processo destrutivo afeta mais de 15 habitações ou afeta severamente a infraestrutura urbana implantada.
Médio	O processo destrutivo afeta de 5 a 15 habitações ou afeta moderadamente a infraestrutura urbana implantada.
Baixo	O processo destrutivo afeta de 1 a 5 habitações ou afeta de forma pouco significativa a infraestrutura urbana implantada.

4.2.1.2

Abordagem Qualitativa: Modelo GIDES-CPRM

O modelo Gestão Integrada de Riscos em Desastres Naturais (GIDES) foi estabelecido após o acordo firmado em 2013 entre os governos do Brasil e do Japão. O objetivo do projeto é aplicar a grande experiência e o conhecimento japonês acerca da prevenção de desastres naturais ocasionados pelos movimentos de massa.

A metodologia apresenta três pilares como estrutura básica de estudo, sendo estes os processos geológicos condicionantes dos movimentos de massa, risco e perigo. Sendo a sequência metodológica composta também por três etapas (Figura 30):

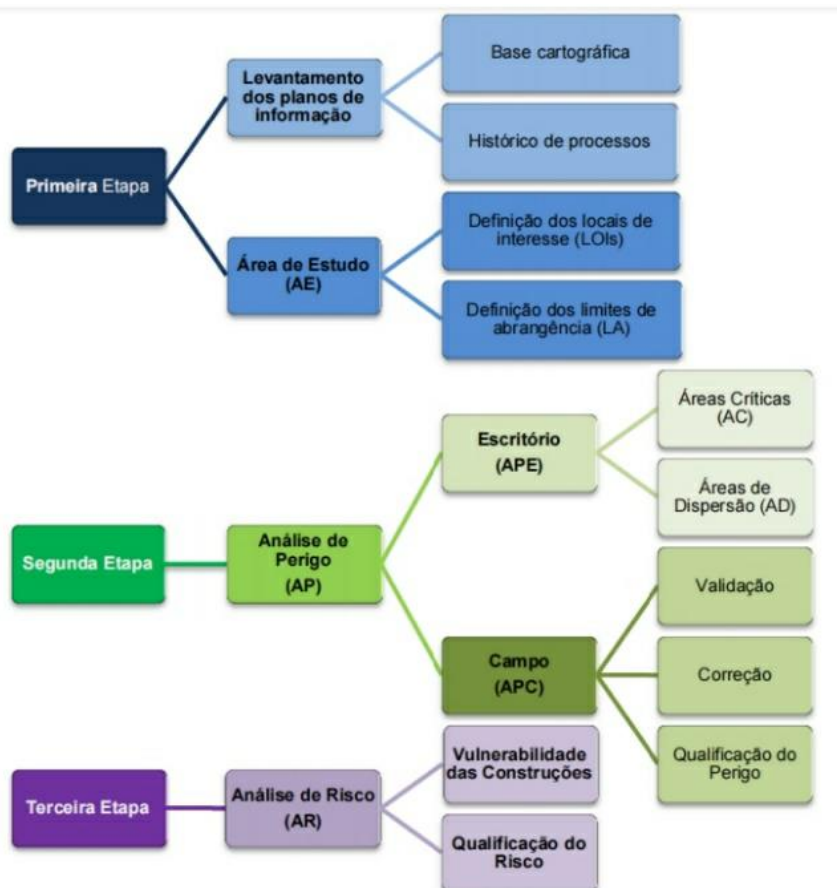


Figura 30 - Metodologia GIDES-CPRM (CPRM/SGB, 2018)

- Primeira Etapa: composta por levantamentos da base de dados, os quais são constituídos pelo conjunto de informações e arquivos relacionados à cartografia e ao histórico de movimentos gravitacionais de massa do município. E, definição da área de estudo (Figura 31), que é o resultado da definição dos locais de interesse (as partes do município que sofrem ou podem sofrer com o impacto de movimentos gravitacionais de massa, como exemplo: setores industriais e/ou residenciais, áreas hospitalares, locais com escolas, estações de tratamento de água e esgoto, regiões de expansão urbana) e da

demarcação do limite de abrangência (desde o local de interesse até a crista das encostas que o circundam).

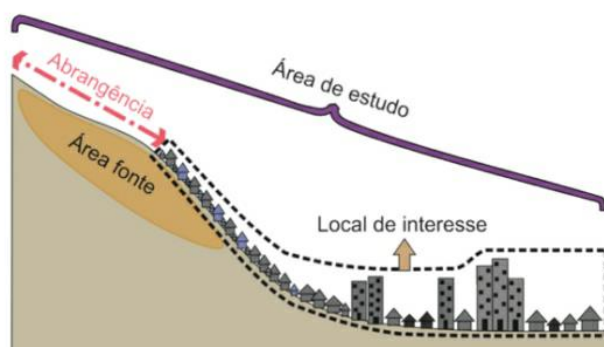


Figura 31 - Área de Estudo (CPRM/SGB, 2018)

- Segunda etapa: consiste em duas fases. A primeira, trabalho de escritório (APE), no qual são aplicados os critérios topográficos para identificação do perigo potencial (Tabela 22) e delimitação das áreas críticas e de dispersão (Tabela 23) em que podem ocorrer deflagração e/ou atingimento relativos a cada tipo de movimento gravitacional de massa.

Tabela 22 - Critérios topográficos para identificação das áreas de perigo (CPRM/SGB, 2018)

Deslizamento	Critérios Topográficos
Planar	Encostas com inclinações $\geq 25^\circ$
	Encostas com amplitude mínima 5 metros
Rotacional	Feições topográficas
	Registros de ocorrências

Tabela 23 - Caracterização de áreas crítica e de dispersão (CPRM/SGB, 2018)

Análise de Perigo de Escritório (APE)	Área Crítica (AC)	Área com maior probabilidade à deflagração de movimentos gravitacionais de massa (MLIT, 1988, Ministry of Construction, 1996, Ministry of Construction, 2009) e atingimento do material mobilizado (MLIT, <i>op.cit.</i> , Ministry of Construction, <i>op. cit.</i>). Considera-se que a energia potencial do movimento ocorra de forma concentrada na área afetada (Ministry of Construction, <i>op. cit.</i> , Hayashi <i>et. al.</i> , 2000).
	Área de Dispersão (AD)	Área sujeita a deposição do material mobilizado durante um movimento gravitacional de massa (MLIT, 1988, Ministry of Construction, 1996, Ministry of Construction, 2009). Considera-se que a energia potencial do movimento ocorra de forma dispersa na área afetada (Ministry of Construction, <i>op. cit.</i> , Hayashi <i>et. al.</i> , 2000).

E, por fim, a segunda fase que consiste no levantamento de campo (APC), vistoria para validar a área de perigo potencial através do uso do Formulário de Campo (Apêndice B) e a qualificação do perigo referente aos processos de movimento de massa presentes na área de estudo, sendo utilizada as classificações apresentadas na Tabela 24.

Tabela 24 - Classes de Perigo (CPRM/SGB, 2018)

PERIGO	APE	APC	Descrição
P1	AD	P1d	São atendidas as condições topográficas e/ou aos critérios de delimitação atingimento dos movimentos gravitacionais de massa. Entende-se que a energia potencial do movimento ocorra dispersa na área delimitada. O terreno não deve apresentar feições de instabilidades, entretanto casos raros podem ocorrer, de acordo com o tipo de movimento de massa. Não se espera registros de geração ou depósitos de movimentos gravitacionais pretéritos na área delimitada, entretanto casos raros podem ocorrer. Mantidas as condições existentes no terreno é baixa a possibilidade de deposição do material transportado e/ou ocorrência de movimentos gravitacionais de massa, no período compreendido por uma estação chuvosa normal.
P2	AC	P2c	Atende a todas as condições topográficas e/ou aos critérios de geração dos movimentos gravitacionais de massa. Entende-se que a energia potencial do movimento ocorra concentrada na área de atingimento. Não é comum o terreno apresentar feições de instabilidades, mas podem ocorrer casos isolados, de acordo com o tipo de movimento de massa. Não se espera registros de geração ou depósitos de movimentos gravitacionais pretéritos na área delimitada, mas podem ocorrer casos isolados. Mantidas as condições existentes no terreno é moderada a possibilidade de ocorrência de movimentos gravitacionais de massa e/ou deposição do material transportado, no período compreendido por uma estação chuvosa normal.
P2	AD	P2d	São atendidas as condições topográficas e/ou aos critérios de delimitação atingimento dos movimentos gravitacionais de massa. Entende-se que a energia potencial do movimento ocorra dispersa na área delimitada. Não é comum o terreno apresentar feições de instabilidades, mas podem ocorrer casos isolados, de acordo com o tipo de movimento de massa. Não se espera registros de geração ou depósitos de movimentos gravitacionais pretéritos na área delimitada, mas podem ocorrer casos isolados. Mantidas as condições existentes no terreno é moderada a possibilidade de deposição do material transportado e/ou ocorrência de movimentos gravitacionais de massa, no período compreendido por uma estação chuvosa normal.
P3	AC	P3c	Atende a todas as condições topográficas e/ou aos critérios de geração dos movimentos gravitacionais de massa. Entende-se que a energia potencial do movimento ocorra concentrada na área de atingimento. O terreno pode apresentar feições de instabilidades evidentes de acordo com o tipo de movimento de massa. Podem ocorrer registros de geração ou depósitos de movimentos gravitacionais pretéritos na área delimitada. Mantidas as condições existentes no terreno é alta a possibilidade de ocorrência de movimentos gravitacionais de massa e/ou deposição do material transportado, no período compreendido por uma estação chuvosa normal.
P3	AD	P3d	São atendidas as condições topográficas e/ou aos critérios de delimitação atingimento dos movimentos gravitacionais de massa. Entende-se que a energia potencial do movimento ocorra dispersa na área delimitada. O terreno pode apresentar feições de instabilidades evidentes de acordo com o tipo de movimento de massa. Podem ocorrer registros de geração ou depósitos de movimentos gravitacionais pretéritos na área delimitada. Mantidas as condições existentes no terreno é alta a possibilidade de deposição do material transportado e/ou ocorrência de movimentos gravitacionais de massa, no período compreendido por uma estação chuvosa normal.
P4	AC	P4c	Atende a todas as condições topográficas e/ou aos critérios de geração dos movimentos gravitacionais de massa. Entende-se que a energia potencial do movimento ocorra concentrada na área de atingimento. O terreno pode apresentar feições de instabilidades marcantes de acordo com o tipo de movimento de massa. É comum registros de geração ou depósitos de movimentos gravitacionais pretéritos na área delimitada. Mantidas as condições existentes no terreno é muito alta a possibilidade de ocorrência de movimentos gravitacionais de massa e/ou deposição do material transportado, no período compreendido por uma estação chuvosa normal.

Vale ressaltar que a qualificação do perigo (Figura 32) deve ser feita apenas na área crítica, pois são consideradas as áreas de deflagração dos movimentos de massa, sendo possível observar as condições de instabilidade pré-existent. Dessa forma, segundo a CPRM/SGB (2018), as áreas críticas receberão grau mínimo P2c – perigo moderado. Já a área de dispersão receberá necessariamente um grau inferior àquele dado a área crítica, pois essa área pode não apresentar evidências de instabilidade.

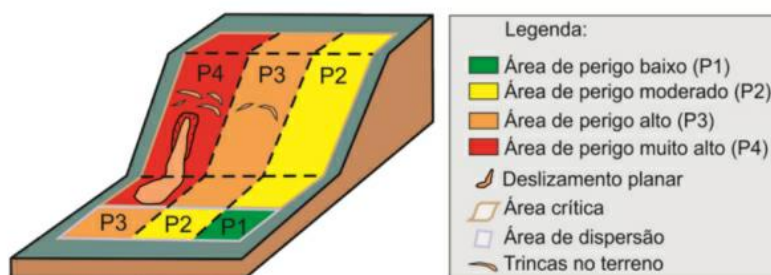







Figura 32 - Qualificação de perigo à área crítica (CPRM/SGB, 2018)

Os indícios de instabilidade no terreno característicos para o escorregamento planar são: presença de trincas ou fissuras no solo, grau de saturação ou surgência na encosta, degrau de abatimento, árvores inclinadas em direção à base da encosta e cicatrizes de escorregamento. A qualificação do grau de perigo é apresentada na Tabela 25.

Tabela 25 - Qualificação do grau de perigo: escorregamento planar (CPRM/SGB, 2018)

Indício de instabilidade	Ausente	Presente	Marcante	Fotografia	
Trincas no Terreno	P2	P3	P4		
Árvores Inclinadas					
Grau de Saturação/Surgência		P4			
Degrau/Subsidência					
Cicatriz de Deslizamento					

Já para o escorregamento rotacional, a identificação de indícios de instabilidade é também através da presença de trincas ou fissuras no solo,

grau de saturação ou surgência na encosta e degrau de abatimento, assim como no escorregamento planar. Além disso, pode ser caracterizado pela intumescência basal, deformações nas estruturas e estreitamento da margem dos rios. A qualificação do grau de perigo é apresentada na Tabela 26.

Tabela 26 - Qualificação do grau de perigo: escorregamento rotacional (CPRM/SGB, 2018)

Indício de instabilidade	Presente	Marcante	Fotografia
Trincas	P3	P4	
Degrau/Subsidência			
Deformações nas Estruturas de Rodovias e Ferrovias (sopé da encosta)			
Estreitamento da Margem de Rios (sopé da encosta)			
Intumescência Basal			
Grau de Saturação/Surgência			

- Terceira etapa: É constituída por análise do risco, na qual avaliam-se as condições das construções frente aos processos com potencial de ocorrência, avaliando o parâmetro de vulnerabilidade, a partir da observação do material empregado nas construções e da presença de danos estruturais. Sendo a vulnerabilidade classificada em quatro classes, conforme ilustrado na Tabela 27, e a classificação da vulnerabilidade das

construções relacionado aos danos estruturais apresentadas na Tabela 28.

Tabela 27 - Classes de Vulnerabilidade (CPRM/SGB, 2018)

	Baixa Vulnerabilidade (V1) Construções de alvenaria bem construídas, sem danos estruturais, e que apresentam laudo técnico específico de engenharia comprovando sua resistência frente ao movimento gravitacional de massa identificado.
	Média Vulnerabilidade (V2) Construções de alvenaria visualmente bem construídas, sem danos estruturais (provocados por movimentações no terreno). Não necessitam de laudo técnico especializado.
	Alta Vulnerabilidade (V3) Construções de alvenaria com danos estruturais presentes (provocados por movimentações no terreno), ou construções mistas (alvenaria e madeira) ou totalmente de madeira, visualmente bem construídas.
	Muito Alta Vulnerabilidade (V4) Construções de alvenaria com danos estruturais marcantes, ou construções mistas danificadas (com trincas e danos estruturais), casa de madeira, casas de pau a pique ou de taipa em condições construtivas precárias.

Tabela 28 - Classificação da vulnerabilidade das construções (CPRM/SGB, 2018)

Tipo	Danos Estruturais		
	Sem Danos	Danos Presentes	Danos Marcantes
Alvenaria (com laudo técnico)	V1	V3	V4
Alvenaria (sem laudo técnico)	V2	V4	V4
Madeira	V3	V4	V4
Mista	V3	V4	V4

Por fim, a qualificação do grau de risco está baseada no (i) histórico de ocorrências, (ii) identificação dos tipos de movimento gravitacional de massa, (iii) delimitação da estimativa de alcance dos eventos, (iv) reconhecimento de feições de instabilidade no terreno e (v) resistência das construções. A classificação do risco é apresentada na Tabela 29, e a qualificação do grau de risco, por meio de uma matriz de correlação entre a vulnerabilidade das construções (V) e o grau de perigo do terreno (P), é exposta na Tabela 30.

Tabela 29 - Classes de risco (CPRM/SGB, 2018)

Risco	Descrição
Baixo (R1)	Ausência de indícios de instabilidade no terreno; alto nível de resistência das construções. Mantidas as condições médias de chuvas para o local, é baixa a possibilidade de destruição das construções por movimento gravitacional de massa.
Moderado (R2)	Há indícios pouco claros de instabilidade no terreno; alto a moderado nível de resistência das construções. Mantidas as condições médias de chuvas para o local, é moderada a possibilidade de destruição das construções por movimento gravitacional de massa.
Alto (R3)	Indícios claros de instabilidade no terreno; baixo a moderado nível de resistência das construções. Mantidas as condições médias de chuvas para o local, é alta a possibilidade de destruição das construções por movimento gravitacional de massa.
Muito Alto (R4)	Presença marcante de indícios de instabilidade no terreno; baixo nível de resistência das construções. Mantidas as condições médias de chuvas para o local, é muito alta a possibilidade de destruição das construções por movimento gravitacional de massa.

Tabela 30 - Matriz de correlação do grau de risco. (CPRM/SGB, 2018)

Análise de Risco			Vulnerabilidade			
			V1	V2	V3	V4
Análise de Perigo APE [AC/AD] + APC [P1-P4]	P4	P4c	R4	R4	R4	R4
	P3	P3c	R3	R4	R4	R4
		P3d	R3	R4	R4	R4
	P2	P2c	R2	R3	R4	R4
		P2d	R2	R3	R4	R4
	P1	P1d	R1	R2	R3	R4

4.2.2

Abordagem Quantitativa: Perfil Topográfico e Geotécnico

Para a avaliação do risco e estudo da estabilidade de taludes, as investigações de superfície e subsuperfície – como o levantamento topográfico e o perfil geotécnico do maciço, respectivamente – são de extrema importância, pois fornecem informações geológicas e geotécnicas para análise do local de estudo em relação ao contexto regional da área e assim, também é possível determinar os fatores condicionantes para o processo de instabilização.

4.2.2.1 Levantamento Topográfico

A NBR 13133 de 1994, denominada Execução de levantamento topográfico, define “levantamento topográfico” como:

Conjunto de métodos e processos que, através de medições de ângulos horizontais e verticais, de distâncias horizontais, verticais e inclinadas, com instrumental adequado à exatidão pretendida, primordialmente, implanta e materializa pontos de apoio no terreno, determinando suas coordenadas topográficas. A estes pontos se relacionam os pontos de detalhes visando a sua exata representação planimétrica numa escala predeterminada e a sua representação altimétrica por intermédio de curvas de nível, com equidistância também predeterminada e/ ou pontos cotados. (NBR 13133, 1994)

Com o objetivo de mapear a superfície do terreno é feito o levantamento topográfico e, posteriormente, é elaborado plantas e perfis, representações gráficas das características do local. Existem três diferentes modelos de levantamentos topográficos para cada necessidade de mapeamento, por exemplo, para levantar as medidas horizontais de um terreno, as alturas do seu relevo ou até mesmo ambas as características, sendo elas:

- Levantamento Planimétrico: também chamado de planimetria é definido por Coelho Júnior *et al.* (2014) como o estudo do terreno levando em consideração os dados necessários à representação em plano horizontal, somente dimensões e coordenadas planimétricas, estudando-se apenas suas distâncias e ângulos horizontais, localização geográfica e posição (orientação).
- Levantamento Altimétrico: ou altimetria, fornece dados necessários à representação das projeções verticais, levando em consideração somente dimensões e coordenadas altimétricas (Coelho Júnior *et al.*, 2014). Ou seja, consiste na definição das alturas de um terreno e registra também o seu grau de declividade.
- Levantamento Planialtimétrico: ou planimetria, consiste na união entre os levantamentos planimétrico e altimétrico. Determinando projeções horizontais e verticais, ou seja,

considerando as distâncias horizontais e verticais, ângulos horizontais e verticais, localização geográfica e posição (orientação) do relevo do terreno em questão (Coelho Júnior *et al.*, 2014).

As opções de métodos para a realização de um levantamento topográfico podem ser abordados pelas metodologias e ferramentas usadas atualmente na topografia. De acordo com Coelho Júnior *et al.* (2014), estes dividem-se em instrumentos (equipamentos usados nas medições) e acessórios (equipamentos que auxiliam na medição). Como exemplos de instrumentos têm-se: estação total, nível de luneta, teodolito, trena, distanciômetro eletrônico, mira-falante (quando usado como trena), já consagrados ao longo dos anos para o trabalho de campo. Referente as ferramentas de gerações mais recentes podem-se incluir: receptor GNSS (instrumento da Geodésia), equipamentos laser escâner de longo alcance e drones para levantamentos ópticos e laser embarcado.

Já como exemplos de acessórios, o autor destaca o uso de mira-falante (quando usada para auxiliar o nível de luneta e teodolito utilizando seus fios), nível de cantoneira, baliza, piquete, estaca, estaca testemunha, bastão com prisma, tripé, entre outros (Coelho Júnior *et al.*, 2014).

4.2.2.2 Determinação do Perfil Geotécnico

Para determinar o perfil geotécnico do maciço, a geologia divide a investigação geológica em dois tipos: direto e indireto. Estes métodos, apresentados na Tabela 31, consistem em procedimentos que tem o objetivo de caracterizar o solo e, também, fornecer suas propriedades geomecânicas.

- Métodos Diretos: processos de investigação das camadas de solo por meio da medição direta de propriedades *in situ*, através de amostras coletadas ao longo de uma perfuração.

- Métodos Indiretos: as propriedades das camadas do subsolo são estimadas indiretamente, sem o acesso da amostra do material investigado.

Tabela 31 - Métodos de investigação de subsuperfície (Adaptado Augusto Filho e Virgili, 1998 apud Gomes, 2018)

Investigações	Tipo	Aplicações/Parâmetros	Limitações
Diretas	Poços, tricheiras, e cachimbos	Acesso direto aos diferentes horizontes em maciços terrosos, amostras indeformadas (ensaio de cisalhamento, triaxiais, etc.), ensaios de permeabilidade e perda d'água.	Presença de nível freático; horizontes resistentes e dificuldade de aeração (no caso de poços com profundidade superiores a 10m)
	Sondagem a trado (manual e mecânica)	Nível d'água, horizontes em maciços terrosos, amostras deformadas (granulometria), ensaios de permeabilidade e pesquisa de jazidas para aterros.	Avanço através de camadas de cascalho, lateritas, argilas rija, blocos rochosos. Rendimento baixo para profundidades maiores que 10m (manual) e 30m (mecânico).
	Sondagem a percussão	Nível d'água, horizontes em maciços terrosos e transição solo/rocha, amostras pouco deformadas.	Avanço através de blocos rochosos métricos e do topo rochoso. Difícil execução em profundidades superiores a 40m.
	Sondagem rotativa	Parâmetros anteriores em maciços terrosos e rochosos, (amostras pouco deformadas para ensaios em laboratório), ensaios in situ (permeabilidade, perda d'água, etc.), execução de injeções e colocação de tirantes. Possibilidade de realização de furos inclinados.	Custo relativamente elevado.
Indiretas	Geofísicos	Levantamento extensivos, extrapolações a partir de algumas investigações de subsuperfície. Métodos elétricos e sísmicos são os mais utilizados. Identificação do topo rochoso e da posição do nível freático.	Necessidade de algumas investigações de subsuperfície para calibração. Topografias acentuadas e horizontes inclinados podem impor dificuldades no tratamento e interpretação dos dados.

Devido a extensão do assunto, o presente trabalho se delimitará na descrição da metodologia do método indireto para a caracterização das camadas do maciço, a qual será apresentada no próximo tópico.

4.2.2.2.1 Método Geofísico com GPR

Os métodos geofísicos fornecem informações das propriedades físicas da subsuperfície de forma não invasiva, contínua e rápida. Os métodos são subdivididos em passivos que medem o campo magnético,

elétrico e gravitacional. E ativos, que medem a resposta do subsolo à energia eletromagnética, elétrica e sísmica (Souza, 2005).

Ainda de acordo com Souza (2005), o método pode ser classificado com relação ao posicionamento e instalações dos instrumentos na coleta de dados, sendo eles classificados em métodos de superfície e de poços. No primeiro, os instrumentos se localizam na superfície do terreno, enquanto no segundo, se requer furos de sondagem para que os equipamentos sejam instalados no interior do poço.

O método *Ground Penetrating Radar* (GPR) ou radar de penetração no solo é um método de investigação geofísica de superfície ativo que está fundamentado no fenômeno de propagação de ondas eletromagnéticas, regidas segundo as equações de Maxwell (Jol, 2009). Segundo Souza (2005), a técnica utiliza ondas eletromagnéticas de alta frequência entre 10 e 2500 MHz para mapear diferenças de litologia subsuperficiais, cavidades, estruturas enterradas e outros materiais/objetos que estão em subsuperfície.

A metodologia utiliza um sistema de controle composto por um par de transdutores (uma antena transmissora e uma antena receptora), por um sistema de armazenamento de dados e de visualização para monitorar os dados em tempo real, como um notebook, além de um dispositivo de medição de distância, normalmente uma roda de odômetro (ou codificador), podendo ser usado também GPS ou estação total (Utsi, 2017).

Para realizar o mapeamento (Figura 33) são emitidos pequenos pulsos elétricos de alta frequência que garantem grande resolução através da antena transmissora. Esse sinal é transmitido para o solo que, de acordo com as diferentes estruturas, reflete parte da onda eletromagnética (Souza, 2005). A base na qual as partes do sinal são retornadas é a diferença nas propriedades eletromagnéticas entre um material e o próximo. O sinal refletido é captado por uma antena receptora e as informações são transmitidas para a unidade de armazenamento (Utsi, 2017).

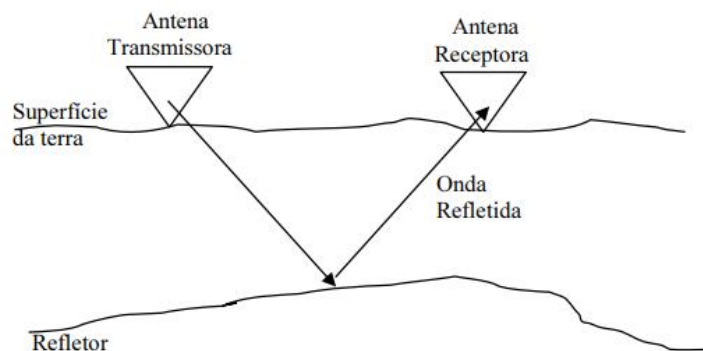


Figura 33 - Funcionamento GPR (Souza, 2005)

Segundo Utsi (2017), o GPR é movido para o levantamento da área e, conforme sua movimentação, a sequência de sinais constrói uma imagem bidimensional da subsuperfície em um gráfico, onde o x, eixo representa a distância percorrida pelo radar, e o y, eixo representa a profundidade sondada a partir da qual cada sinal foi retornado.

Ainda de acordo com a autora, conforme o radar se aproxima do alvo, a profundidade aparente (ou distância até o alvo) diminui até atingir seu mínimo diretamente acima da posição do alvo. A profundidade aparente aumentará novamente conforme o radar abandona o alvo. A profundidade do alvo em relação à distância percorrida pelo GPR forma uma curva hiperbólica quando o mesmo encontra um objeto, por exemplo, um bloco, um tubo ou tanque, a qual é ilustrada pela Figura 34 (Utsi ,2017).

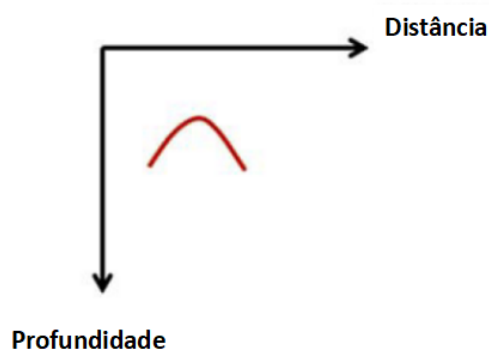


Figura 34 - O gráfico de distância x profundidade (Utsi, 2017)

Durante todo o percurso até que o receptor fique diretamente acima do alvo, a distância entre o receptor e o objeto será maior do que a profundidade real do objeto. Conforme o radar se aproxima do ponto

diretamente acima do objeto, essa distância diminui. Conforme o radar passa sobre o objeto e continua além dele, a profundidade aparente aumentará novamente. O contorno de uma camada no solo é formado precisamente da mesma maneira que o caso descrito acima.

Através do perfil de reflexão, temos também a descrição da curva que determina as variações das propriedades elétricas de subsuperfície, onde no eixo horizontal está a distância percorrida pelo deslocamento das antenas, e no eixo vertical, o tempo de ida e volta do sinal (tempo duplo) do percurso do sinal refletido, mostrada na Figura 35 (Souza, 2005).

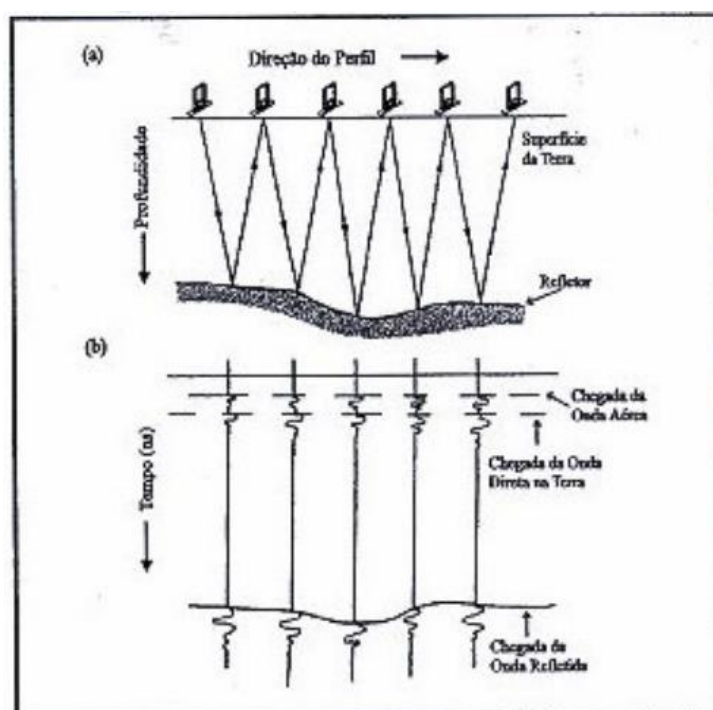


Figura 35 - Resultado de dados pelo perfil de reflexão (Porsani, 1999 apud Souza, 2005)

Segundo Souza e Gandolfo (2012), a qualidade da imagem gerada pode variar em virtude dos pulsos refletidos, refratados e difratados, que são dependentes das propriedades elétricas do material investigado e da interação deste com o meio onde está sendo aplicado. As ondas eletromagnéticas são fortemente atenuadas em locais eletricamente condutivos, como solos silto-argilosos úmidos/saturados. Por outro lado, em terrenos eletricamente resistivos (por exemplo, solos arenosos secos), maiores profundidades podem ser alcançadas.

A partir da definição do perfil que melhor representa a encosta, através da análise de estabilidade por meio de modelagem computacional, é possível avaliar a possibilidade de ocorrência do escorregamento.

Em suma, para a avaliação de riscos de escorregamentos é imprescindível um roteiro, o qual deve levar em consideração a caracterização geológica-geotécnica, assim como o histórico de eventos já ocorridos, para se classificar o nível de risco de uma área e, desta forma, utilizar da avaliação como ferramenta de tomada de decisão.

4.2.3

Ferramenta de Tomada de Decisão

As técnicas de avaliação de risco podem ser aplicadas em todas as escalas espaciais do processo de tomada de decisão, do planejamento estratégico à avaliação do local (Lee, 2016). Utilizando como referência a Figura 36, onde os níveis de risco avaliados em vários locais foram plotados, pode-se estabelecer de modo mais assertivo o processo decisório dentre as ações a serem tomadas sabendo-se qual é o intervalo de níveis de risco que um local ou área se enquadra (Lee & Jones, 2014).

- O local A se enquadra no nível de risco 1, sugerindo que a estratégia de gerenciamento mais apropriada pode ser não fazer nada, já que o risco é baixo ou inexistente.
- O local B tem um risco estimado mais alto, indicando que uma estratégia apropriada seria encomendar um estudo de viabilidade e opções para determinar as melhores maneiras de reduzir o risco.
- A decisão de gerenciamento no local C pode ser mais problemática, uma vez que o risco estimado parece estar próximo ao limite entre dois níveis de risco.

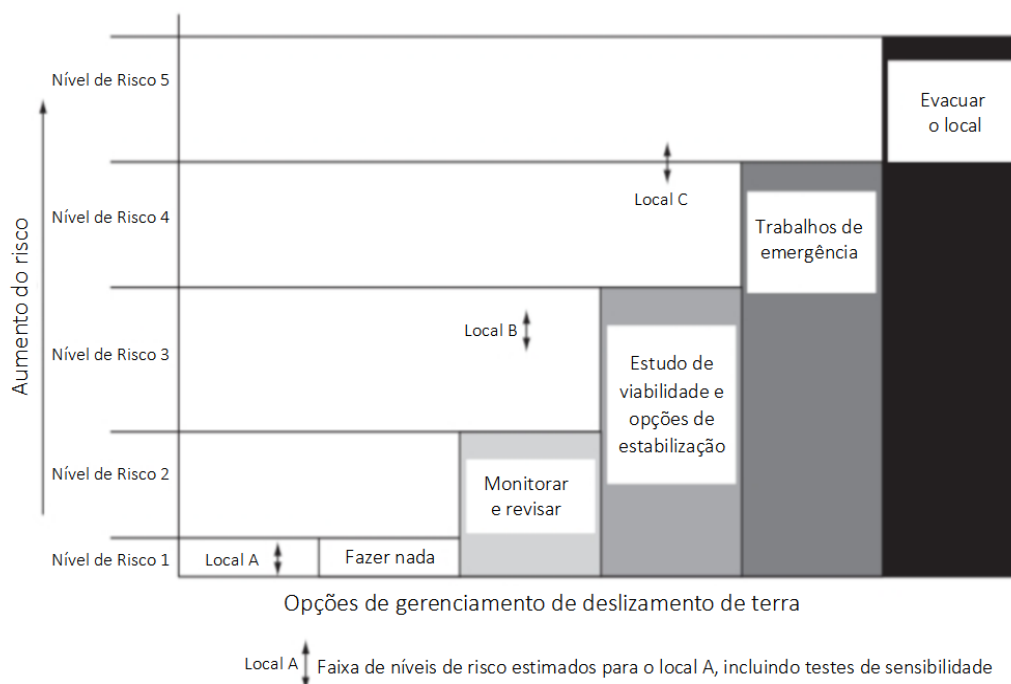


Figura 36 - Níveis de risco e a tomada de decisão (Lee e Jones, 2014)

A avaliação de risco, de acordo com os autores Barbosa e Moura (2019) e Lee & Jones (2014), permite reconhecer o grau de risco efetivo em cada área, assim como se esse risco causa prejuízos para o meio ambiente e convívio social. E, conseqüentemente, a partir da avaliação é possível buscar alternativas e ferramentas que possibilitem minimizar os impactos a médio e longo prazo, mas sobretudo, definir medidas mais adequadas de prevenção de acidentes.

Pereira *et al.* (2020) adicionam ao exposto que as estratégias de mitigação não sejam apenas focadas nos processos perigosos e obras de proteção estrutural, mas também na redução da exposição e vulnerabilidade de pessoas e ativos a longo prazo.

Sendo assim, a avaliação de risco para se estabelecer as estratégias de mitigação e adaptação para redução de desastres a serem implementadas, trata-se de um importante instrumento de planejamento urbano, o qual contribui para o menor impacto ambiental e maior qualidade de vida da população.

5 Estudo de Caso

A definição da área de estudo que será apresentada neste capítulo inicia-se com uma descrição de sua localização e, posteriormente, a sua caracterização no que se refere ao clima, índice pluviométrico, vegetação, características geológicas e geomorfológicas e, também, topografia e estratigrafia. Além disso, é exposto o histórico de processos geológicos e das intervenções antrópicas ocorridas na encosta, assim como suas consequências de forma cronológica.

5.1 Localização

A área de estudo (Figura 37) analisada para esta pesquisa localiza-se no trecho da encosta que fica entre o Túnel Rafael Mascarenhas, que faz parte da Autoestrada Lagoa-Barra, e a Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio). Dando ênfase nas secções localizadas nos fundos dos Edifícios RDC e DAU (antigo campo de futebol), Rio Datacentro e Departamento de Arquitetura e Urbanismo, respectivamente, que são mostrados no mapa do *Campus Gávea* na Figura 38.



Figura 37 - Identificação e Localização da área de estudo

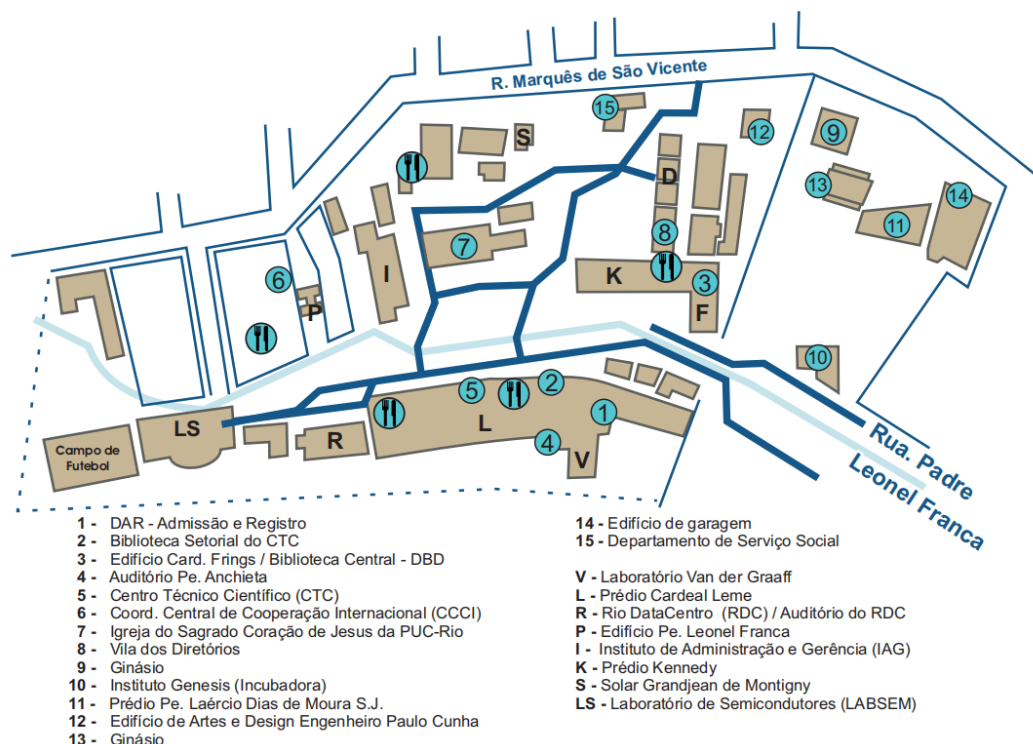


Figura 38 - Mapa do Campus Gávea

5.2 Caracterização da Área

5.2.1 Clima e Pluviometria

Segundo Weather Spark (2020a), o clima do Rio de Janeiro é caracterizado por um verão curto (2,7 meses), quente com um elevado índice de precipitação. A temperatura máxima média diária é acima de 30 °C e a mínima média é de 24 °C. Por outro lado, o inverno pode ser considerado longo (4,7 meses) e ameno, tendo como temperatura mínima média 18 °C e máxima de 25 °C.

O Gráfico 1 apresenta as temperaturas máximas e mínimas médias. E o Gráfico 2 apresenta as temperaturas médias horárias com a indicação do crepúsculo e a noite pelas áreas sombreadas, sendo que ambos os gráficos se referem as temperaturas médias ao longo do ano.

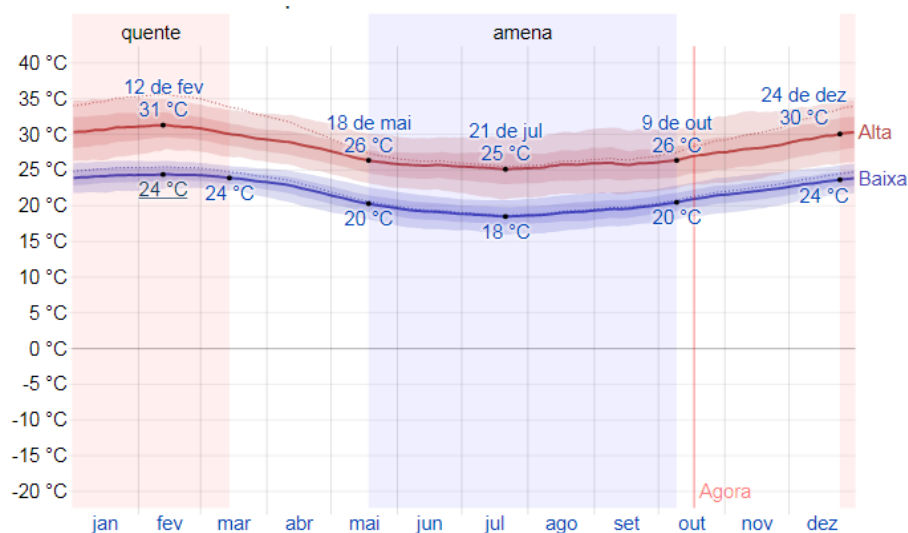


Gráfico 1 - Temperaturas máximas e mínimas médias (Weather Spark, 2020)

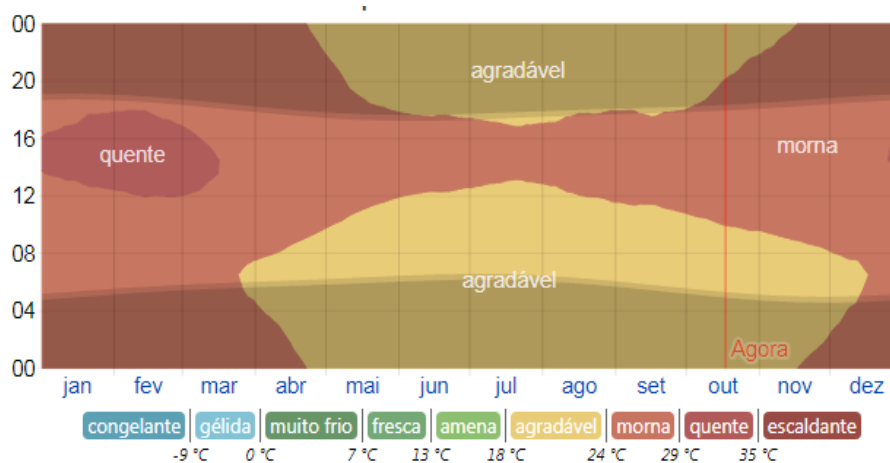


Gráfico 2 - Temperatura Horária Média (Weather Spark, 2020)

Ainda de acordo com Weather Spark (2020a), para determinar a intensidade da chuva diária é necessário que a precipitação seja maior ou igual a 1mm, ou seja, abaixo desse valor pode-se considerar um dia seco.

O Gráfico 3 apresenta a probabilidade diária de precipitação, sendo a probabilidade máxima ocorrida no mês de dezembro com 64% e a mínima no mês de junho com 16%. Além disso, o período que um determinado dia tenha precipitação acima dos 40% acontece de 28 de outubro a 1 de abril.

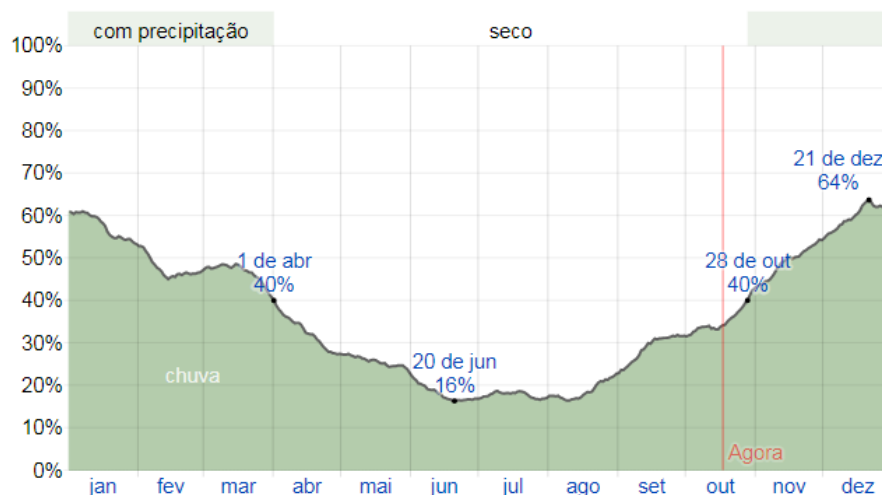


Gráfico 3 - Probabilidade Diária de Precipitação (Weather Spark, 2020)

A precipitação de chuva acumulada ao longo do ano no Rio de Janeiro é mostrada no Gráfico 4. Sendo evidenciado que a chuva máxima ocorre em dezembro com acúmulo total de 186mm e a mínima de 32mm no mês de agosto (Weather Spark, 2020b).

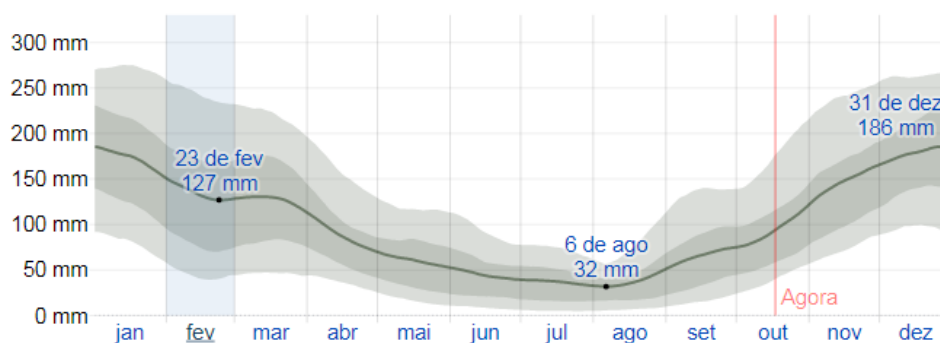


Gráfico 4 - Chuva Mensal Média (Weather Spark, 2020b)

Segundo Silva e Silva (2017), no Rio de Janeiro têm-se elevados índices de umidade do ar e de temperatura por causa da sua posição geográfica próxima ao litoral e pela intensa radiação solar recebida na região, principalmente nos meses de verão.

5.2.2 Vegetação

O *Campus* Gávea PUC-Rio (Figura 39) está situado no vale da Gávea, envolto pelo relevo da Serra da Carioca, uma das montanhas que compõe o Maciço da Tijuca. Os cinco terrenos da universidade somam 140 km², onde a vegetação predominante é da Mata Atlântica (Coelho, 2008).



Figura 39 - Mapa do Campus Gávea PUC-Rio (Núcleo de Memória PUC-Rio e Jornal da PUC)

Segundo Siqueira (2006), no *campus* existem espécies nativas—tachi, bico-de-pato, carrapeteira, pitanga de são cristóvão, erva-de-rato-branca. Esses espécimes se propagam mais através da síndrome de dispersão anemocórica e ornitocórica, as quais os conceitos são definidos como a dispersão das sementes de uma planta pelo vento e por aves, respectivamente. Além disso, existem as exóticas invasoras que o autor se refere as espécies frutíferas, ornamentais, madeireiras e condimentares, provenientes de outros continentes, que foram introduzidas em ambientes distintos pelo homem.

Segundo o estudo de Menezes (2019), a encosta situada entre a Autoestrada Lagoa-Barra e o *campus* universitário é revestida pela Floresta Pluvial Tropical Atlântica. Onde, segundo o autor, as espécies de maior ocorrência são jaqueira, maria-sem-vergonha ou beijo, jibóia, trapoeraba ou lambari, curculigo ou capim-palmeira, comigo-ninguém-pode, jamelão ou jambolão, ficos ou figueira-lacerdinha, capim-colonião ou capim-guiné, amendoeira ou chapéu-de-praia.

A encosta é caracterizada pela presença de árvores de médio e grande porte que tornam a floresta da encosta densa e fechada, formando um microclima na mata, produzindo sombra e umidade.

De acordo com Monguilhott *et al.* (2010), a cobertura vegetal é uma importante variável para a determinação de áreas vulneráveis a movimento de massa. Sua distribuição tem grande relevância nas áreas planas e de média encosta; já nas áreas com declividade alta, a vegetação de grande porte pode potencializar os movimentos de massa, devido à ocorrência de eventos meteorológicos extremos associados ao solo residual de pouca profundidade, o que sobrecarrega a camada superficial do substrato rochoso, intensificando os escorregamentos em áreas mais íngremes.

5.2.3 Geomorfologia e Geologia

O município do Rio de Janeiro é marcado pela presença de maciços costeiros, soerguidos a partir de processos endógenos (tectônicos) pretéritos que formaram o relevo e, também pelos processos exógenos (climáticos) que os moldaram ao longo do tempo geológico.

A encosta da PUC-Rio está situada no Maciço da Tijuca. A formação geológica do maciço remonta o choque de paleo-continentes, ocorrido desde o Neoproterozoico ao Cambriano, há aproximadamente 600 milhões de anos, onde a colisão no encontro de placas tectônicas foi responsável pelo metamorfismo das rochas e deformações estruturais vinculadas ao ciclo orogênico brasileiro (Gomes, 2020). Segundo Dantas (2000), a partir da classificação da CPRM (Tabela 32), o Maciço da Tijuca é um maciço costeiro e isolado.

Tabela 32 - Divisão Geomorfológica Adaptado (Dantas, 2000)

UNIDADES MORFOESTRUTURAIS	
Cinturão Orogrênico do Atlântico	
UNIDADES MORFOESCULTURAIS	
Maciços Costeiros e Interiores	
UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS	
Maciço da Tijuca	
Sistemas de Relevo Principais	Sistemas de Relevo Subordinados
Maciços Costeiros	Alinhamentos Serranos Isolados

Segundo Silva e Silva (2017), o Rio de Janeiro apresenta inúmeras elevações altimétricas ao longo de sua costa (serra do Mar e maciços

costeiros). Esse fator contribui para que eventos pluviométricos de elevada magnitude ocorram.

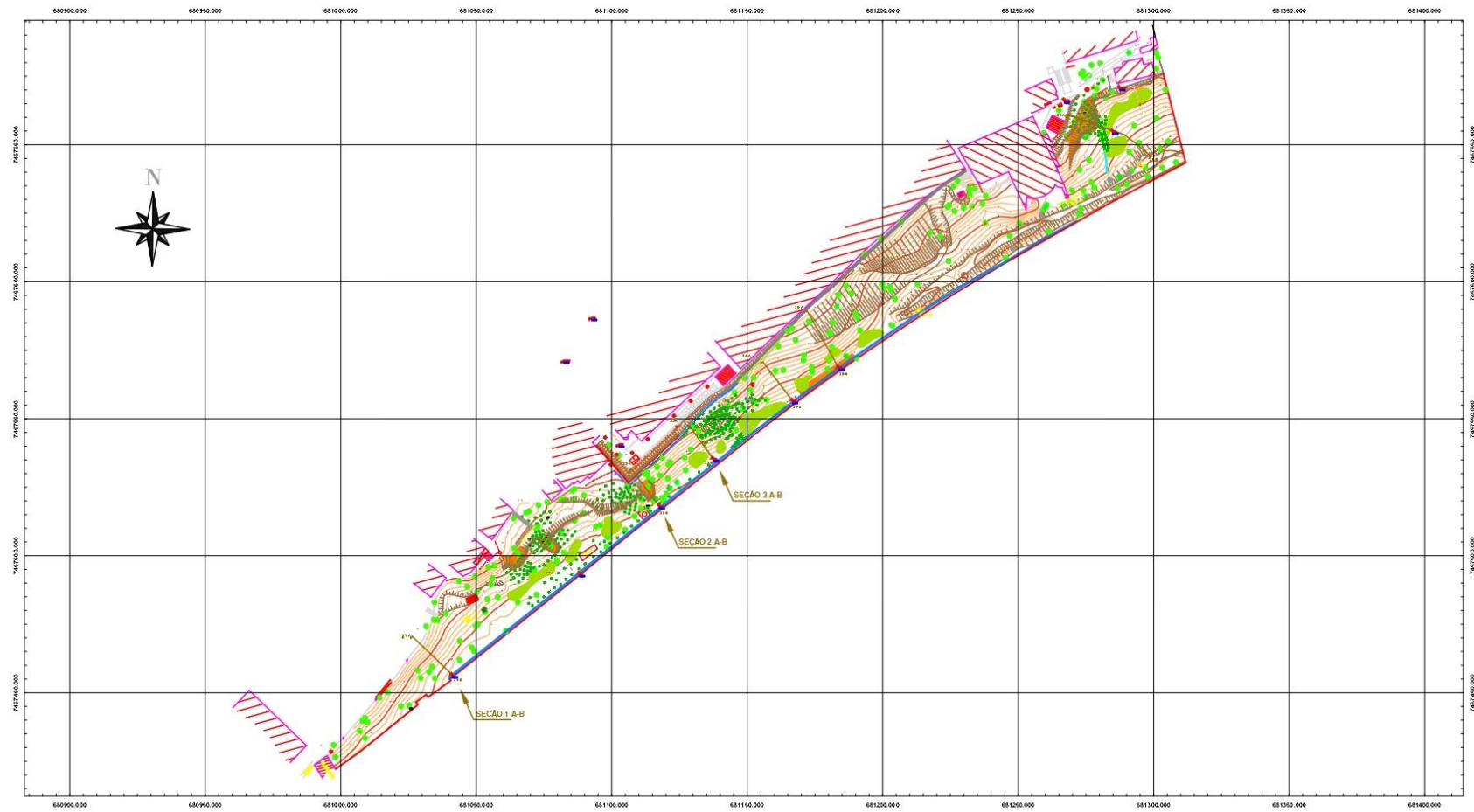
No que se refere à litologia, Silva e Silva (2017), afirmam que o território fluminense apresenta áreas de sedimentos terciários e quaternários, além de áreas de rochas ígneas e metamórficas pré-cambrianas. A encosta da PUC-Rio, de acordo com Brito (1981), é composta por biotita plagioclásio-gnaiss, microclínio-gnaiss, leptinito/granito e granodiorito. O embasamento da área de estudo, apesar de não ser identificado afloramento rochoso, foi definida por Sertã (1986) como sendo constituída por granada-biotitaplagioclásio-gnaiss com textura granulolepidobásica e, sendo o solo residual oriundo da intemperização de um gnaiss cataclástico composto por quartzo, feldspato e biotita, dispondo como minerais acessórios a muscovita e a granada.

5.2.4

Topografia e Perfil Geotécnico

A topografia permite o levantamento de importantes informações morfométricas do relevo. A descrição detalhada da área feita através do levantamento topográfico permite obter todos os seus acidentes geográficos, seus aspectos ambientais e as suas delimitações divisórias.

O levantamento planialtimétrico realizado na área de estudo, segundo Menezes (2019), fornece curvas de nível com resolução de 1 metro e cadastro com delimitação dos processos erosivos, cicatrizes de escorregamento já ocorridos, estruturas de drenagem, muros de contenção, parede do túnel, caixas d'água, vegetação entre outros elementos utilizados para caracterizar o local. Os detalhes planialtimétricos de toda encosta da PUC-Rio podem ser observados na Figura 40.



PLANTA DE LOCALIZAÇÃO DAS SEÇÕES TRANSVERSAIS DO TERRENO NATURAL - ESCALA 1/1000

Figura 40 - Planta topográfica

Na Planta Topográfica da Figura 40 as seções 1A-B, 2A-B e 3A-B, representam as seções de estudo definidas para este trabalho, os fundos do edifício do Departamento de Arquitetura e Urbanismo e os fundos do Rio Datacentro, o qual é dividido em duas seções, sendo elas respectivamente localizadas acima do Grupo de Geradores e do Sistema de Refrigeradores.

Os dados do levantamento topográfico das seções transversais na encosta da PUC-Rio foram coletados e obtidos os perfis topográficos em 2018 pelo Engenheiro Civil e Professor da disciplina de topografia da graduação, Jorge Lucas Ferreira, que utilizou como equipamento uma estação total da marca Leica modelo S06 e acessórios.

As coordenadas dos pontos topográficos são apresentadas nas Tabelas 33 e 34 e o perfil topográfico dessas seções estão representadas na Figura 41.

Tabela 33 - Dados das coordenadas topográficas

Seção	Ponto	ESTE (m)	NORTE (m)	Altitude (m)
1 A-B	S1	681.040,190	7.457.456,204	36,706
	S101	681.039,627	7.457.456,774	36,633
	S102	681.038,927	7.457.457,483	36,105
	S103	681.038,569	7.457.457,847	35,777
	S104	681.037,657	7.457.458,443	34,764
	S105	681.036,267	7.457.459,740	34,123
	S106	681.035,335	7.457.460,951	32,673
	S107	681.034,117	7.457.462,277	31,367
	S108	681.032,464	7.457.463,767	29,643
	S109	681.030,111	7.457.466,105	27,668
	S110	681.028,671	7.457.466,980	25,015
	S111	681.027,573	7.457.468,185	23,912
	S112	681.026,270	7.457.469,242	23,800
	S113	681.025,790	7.457.469,900	23,752
2 A-B	S201	681.106,601	7.457.530,960	34,878
	S202	681.108,492	7.457.528,795	34,922
	S203	681.108,915	7.457.528,478	35,681
	S204	681.109,321	7.457.527,960	35,195
	S205	681.110,329	7.457.526,357	34,950
	S206	681.112,058	7.457.524,062	34,657
	S207	681.113,521	7.457.521,927	30,903
	S208	681.114,237	7.457.521,018	30,328
	S209	681.115,233	7.457.519,999	28,200
	S210	681.115,982	7.457.519,145	26,483
	S211	681.116,599	7.457.517,899	24,533
	S212	681.117,145	7.457.517,144	24,513
	S213	681.117,338	7.457.516,920	24,485
	S214	681.117,697	7.457.516,419	18,458

Tabela 34-Continuação Dados das coordenadas topográficas das seções de 1, 2 e 3

Seção	Ponto	ESTE (m)	NORTE (m)	Altitude (m)
3 A-B	S301	681.136,524	7.457.535,123	34,599
	S302	681.135,432	7.457.536,770	34,367
	S303	681.134,925	7.457.537,562	32,886
	S304	681.134,435	7.457.538,796	31,823
	S305	681.134,027	7.457.539,778	30,814
	S306	681.134,001	7.457.540,464	29,659
	S307	681.133,453	7.457.541,204	29,594
	S308	681.131,376	7.457.543,754	26,237
	S309	681.129,807	7.457.545,292	23,670
	S310	681.128,303	7.457.546,386	23,261
	S311	681.127,940	7.457.546,883	23,237

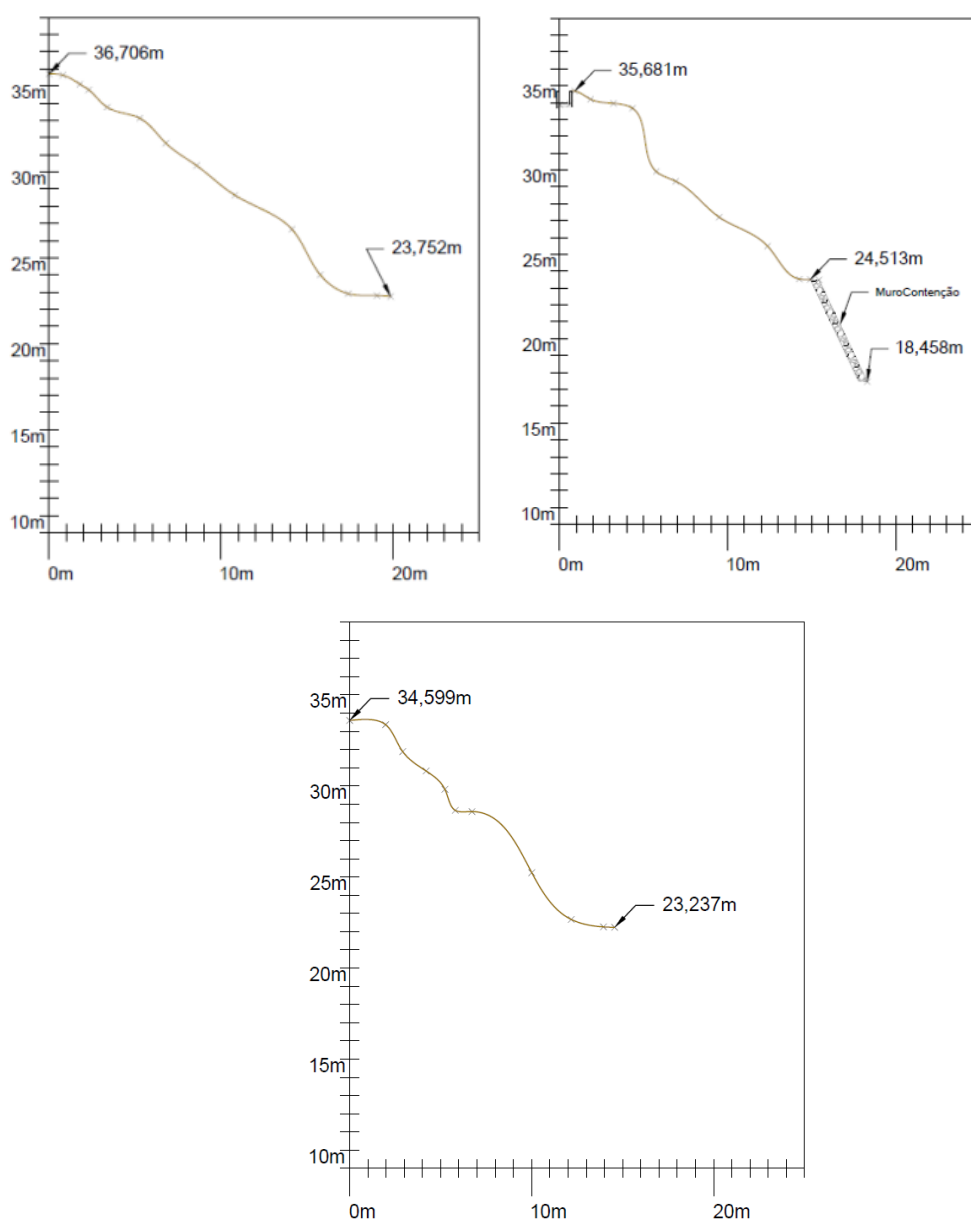


Figura 41 - Perfil Topográfico fundos DAU e RDC, 1, 2 e 3

Associado ao perfil planialtimétrico da seção, através do uso do radar de penetração (GPR), foi obtida a caracterização do perfil geotécnico da encosta estudada. Com o objetivo de percorrer as seções de forma contínua e efetuar a coleta das informações para processamento do perfil, além de garantir a segurança durante o levantamento, foi necessária a instalação de chapeletas (acessório de alpinismo) em rocha, em árvore de grande porte e na estrutura de concreto do túnel acústico presente do topo da encosta para ancoragem do içamento do operador. O movimento descendente do operador (Figura 42 a 44) foi possível devido ele estar equipado com uma cadeirinha presa às cordas ancoradas e também pelo uso do freio tipo *GriGri* que permite a descida ao longo da superfície íngreme.

Utilizou-se para o levantamento geofísico o GPR da marca *MalaGeoscience* e uma antena não blindada de baixa frequência, 100 MHz, a qual produz com eficiência dados de radar de penetração no solo de alta resolução. A antena possui espaçamento e orientação fixa entre as antenas transmissoras e as receptoras, e ao longo de todo o levantamento elas se movem em conjunto. Para registrar a distância percorrida durante o deslocamento das antenas em intervalos de espaço regulares foi usado o odômetro. A aquisição de dados GPR foi realizada utilizando-se o programa *GroundVision*® empregando prospecções por deslocamento comum (*common-offset*).

Os dados obtidos no levantamento em 2018 pelo Professor José Araruna Júnior foram processados pela engenheira Paola Manhães, através do programa *RadExplorer*®, que permite ajustar a superfície do terreno a partir dos dados do levantamento planialtimétrico. No processamento, a fim de minimizar o efeito dos ruídos das ondas diretas e determinar o tempo inicial que a onda transmitida atingia a superfície do terreno, aplicou-se respectivamente, o filtro *Background Removal e Time-Zero Adjustment*. Por fim, foi empregado o filtro *Bandpass Filtering* para rejeitar as frequências fora da faixa da frequência central da antena. Também foi utilizado o filtro *Amplitude Correction* para dar um ajuste de ganho às ondas refletidas em maiores profundidades. É apresentada na

Tabela 35 os dados do processamento e na Figura 45, os respectivos radargramas processados das seções estudadas.



Figura 42 - Levantamento GPR na seção 1 (DAU)

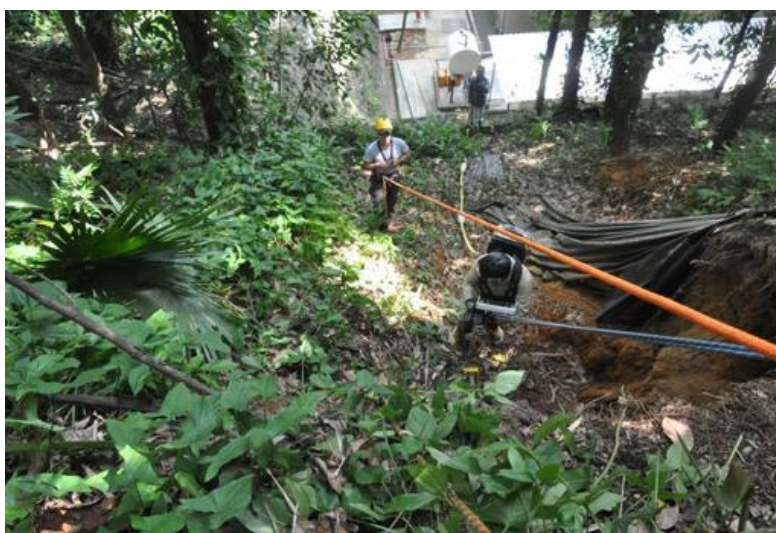


Figura 43 - Levantamento GPR na seção 2 (RDC)



Figura 44 - Levantamento GPR na seção 3 (RDC)

Tabela 35 - Dados do processamento

Seção	Distância percorrida (m)	ESTE (m)	NORTE (m)	Superfície do terreno (m)	base do colúvio (m)	base do residual (m)
1	0	681026,3	7457469	23,8	18,7	9,2
	2,5	681027,6	7457468	23,9	20	10,8
	4,1	681028,7	7457467	25	19,5	15,3
	5,7	681032,5	7457464	27,7	21,2	15,5
	9,1	681032,5	7457464	29,6	27,8	18,8
	13,1	681035,3	7457461	32,7	30,9	21,9
	16,5	681037,7	7457458	34,8	32,4	25
	18,1	681039,6	7457457	36,6	33,1	24,3
2	0	681106,6007	7457530,96	18,5	16,4	11,9
	4	681108,9147	7457528,478	24,5	21,8	17,4
	5,9	681110,3287	7457526,357	26,5	24,2	24,9
	8,8	681112,0582	7457524,062	28,2	24,9	25,9
	11,4	681113,5208	7457521,927	30,3	26,5	26
	12,5	681114,2367	7457521,018	30,9	28,2	18,9
3	1	681128,3034	7457546,386	23,3	21,5	16,4
	2	681129,8066	7457545,292	23,7	21,6	14,3
	5	681131,3761	7457543,754	26,2	20,6	13,1
	8	681133,4534	7457541,204	29,6	21	14,7
	10	681134,4346	7457538,796	31,8	21,2	17,2
Definições: Distância percorrida: é a distância percorrida durante o levantamento geofísico ESTE e NORTE: são as coordenadas de cada ponto interpretado no SISTEMA DE Superfície do terreno: refere-se ao topo da camada de colúvio Base do colúvio: refere-se ao topo da camada de solo residual Base do residual: refere-se ao topo da camada de rocha						

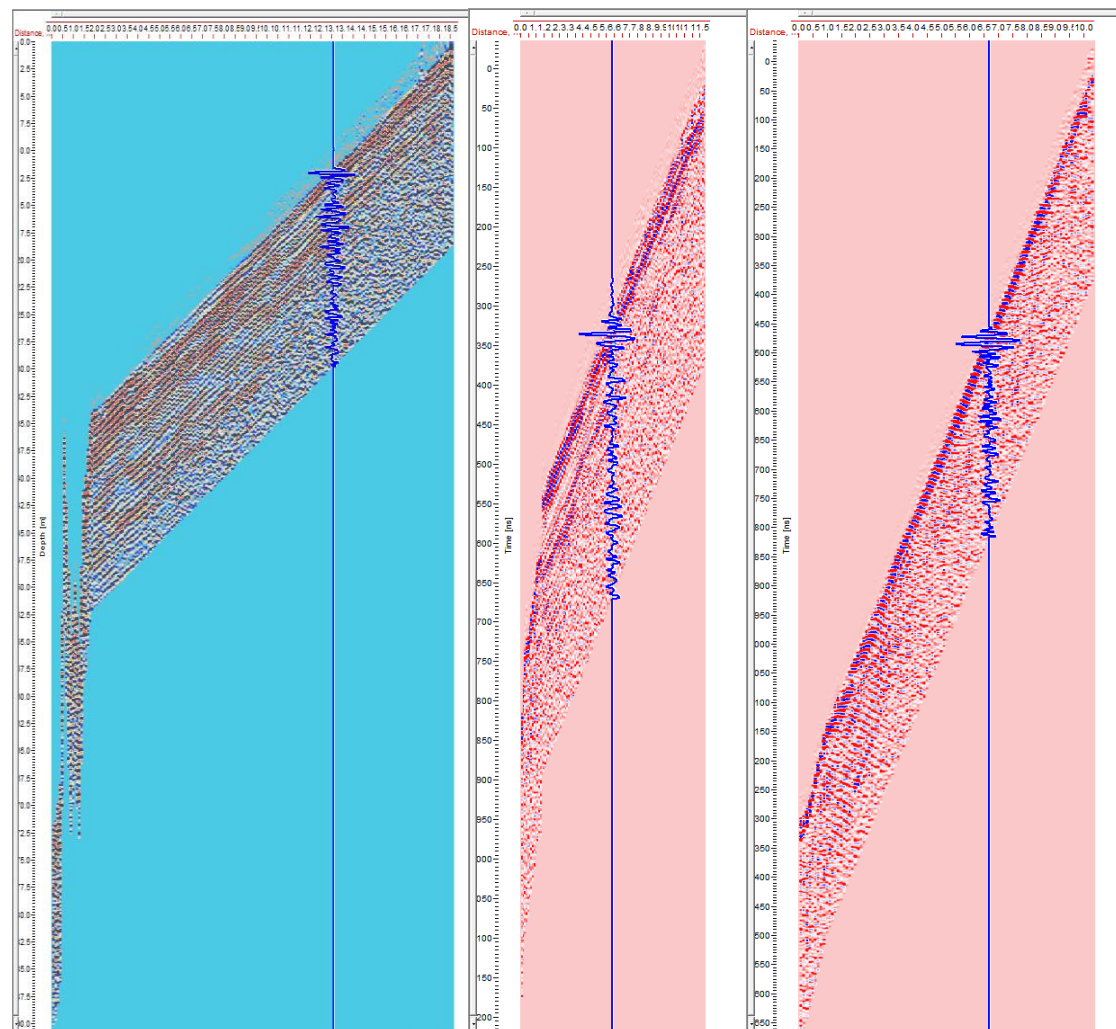


Figura 45 - Radargrama das seções de 1, 2 e 3

Os perfis geotécnicos das seções levantadas foram estabelecidos a partir da delimitação das diferentes camadas com a profundidade, por meio do mapeamento das subsuperfícies reflexivas. Nesse caso, a variação na amplitude do coeficiente de reflexão (resultante da constante dielétrica dos materiais) e o tempo de atraso indicam a existência de um material distinto em subsuperfície (Annan & Cosway, 1992).

Na análise e interpretação dos resultados do levantamento geofísico foram localizados os contatos onde havia um contraste considerável entre os diferentes materiais que constitui o perfil geológico. Segundo os autores Annan e Cosway (1992), os levantamentos com o GPR geralmente inferem que as ondas eletromagnéticas se propagam com uma incidência normal às interfaces entre os distintos materiais.

Desta forma, foram identificadas três diferentes camadas nas seções: solo coluvionar, solo residual e o estrato rochoso. A variação da amplitude, na qual foi obtida a delimitação da posição da interface entre o solo coluvionar e o solo residual, se deu devido à presença de óxido de ferro assim como a maior presença de argilo-minerais na composição do colúvio que reflete na magnitude do valor de sua constante dielétrica (Soares, 2005). Já a delimitação do solo residual e estrato rochoso foi causada pela presença de biotita e muscovita na composição do solo residual, que conferem um maior valor na sua constante dielétrica em comparação a rocha gnáissica constituída principalmente por quartzo e feldspatos (Sertã, 1986).

No perfil geológico nos fundos do DAU, o resultado identificou três camadas distintas compostas por rocha, solo residual jovem e solo coluvionar, com respectivamente 14, 8 e 6 metros de profundidade.

Nos fundos do RDC, na seção 2, localizada acima do Grupo de Geradores, apresenta-se um solo coluvionar com 6 metros de profundidade, solo residual jovem com 8 metros de espessura e um topo rochoso com a máxima de 15 metros em relação ao topo do talude.

Já a seção 3, também localizada nos fundos do RDC, só que acima do sistema de refrigeradores é composta por rocha, solo residual jovem e solo coluvionar, com respectivamente 5, 9 e 12 metros de profundidade. Os

perfis geotécnicos desenhados pela engenheira Maria Beatriz dos Santos são apresentados nas Figura 46 a 48.

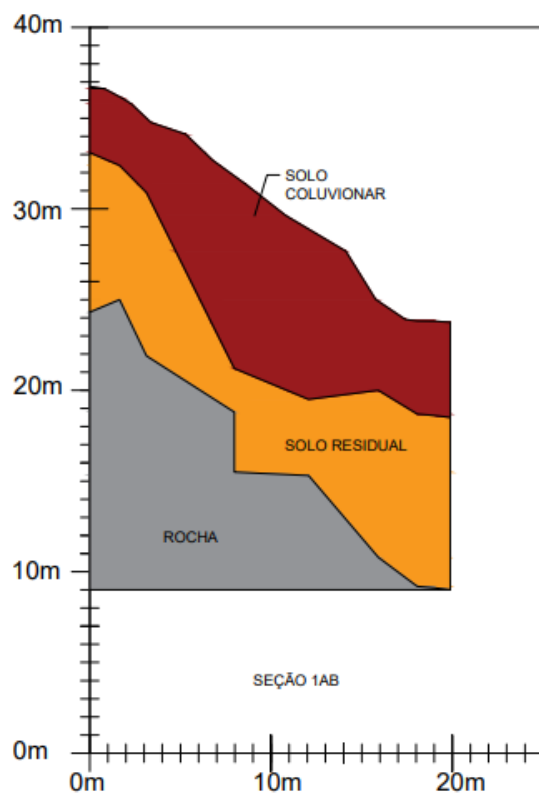


Figura 46 - Perfil Geotécnico seção 1 (DAU)

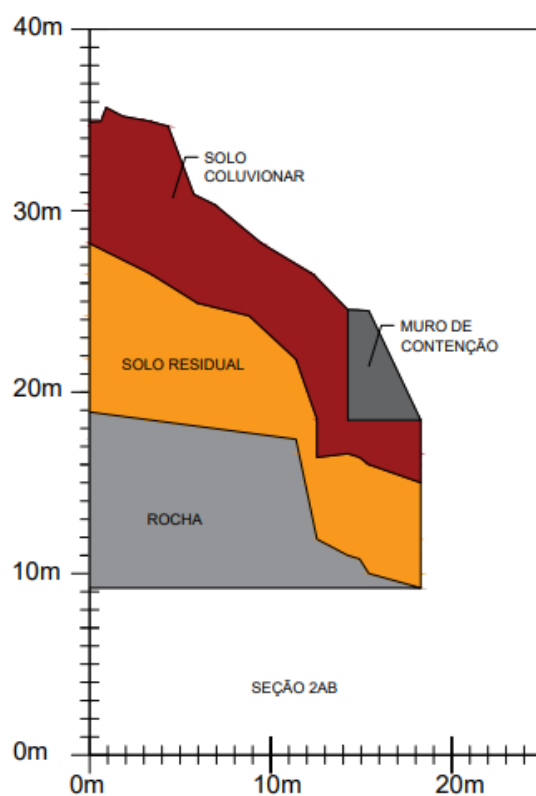


Figura 47 - Perfil Geotécnico seção 2 (RDC)

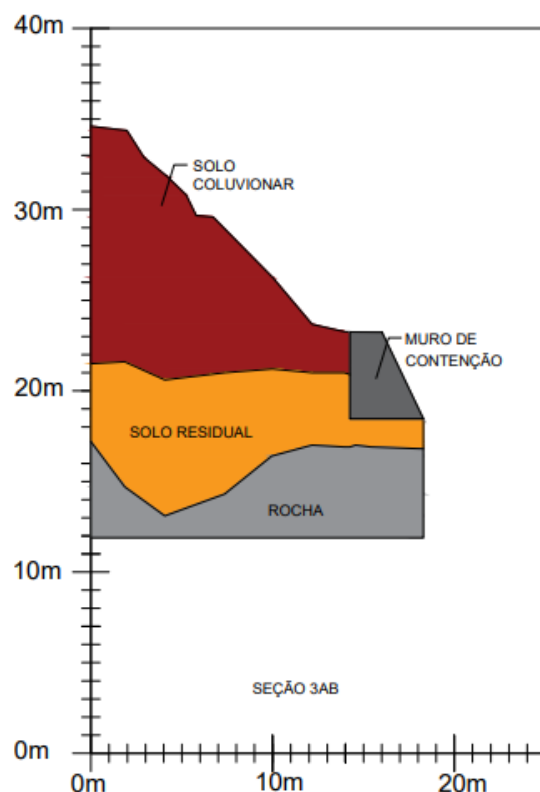


Figura 48 - Perfil Geotécnico seção 3 (RDC)

Considerando o resultado do trabalho do Daylac (1994) temos na descrição morfológica da encosta (Figura 49), a partir do método de inspeção de um poço aberto, identificadas três camadas de solo. Sendo a primeira, uma camada de colúvio, composta por um solo argilo arenoso e presença de raízes, associada a escorregamentos e processos pretéritos, sendo classificado como um latossolo. A segunda, um solo residual com origem gnáissica (facoidal e kinzigito). E a terceira, também um solo residual jovem, a qual se distingue da camada superior a ele por possuir características semelhantes à da rocha de origem. E vale ressaltar que não foi identificado a presença de nível de água na encosta.

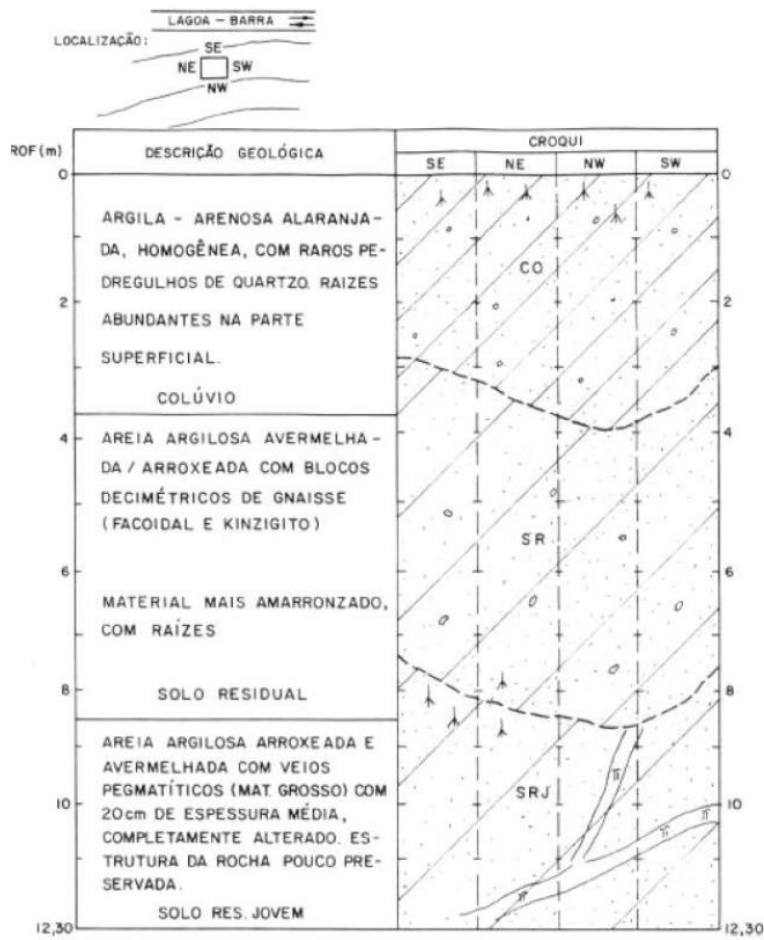


Figura 49 - Perfil Morfológico encosta (Daylac, 1994)

5.3

Histórico: Autoestrada Lagoa-Barra, Túnel Acústico e Zuzu Angel

Para a avaliação de risco é necessário considerar a caracterização geológica-geotécnica, assim como o histórico de eventos já ocorridos na área. Por esse motivo, foi feita uma revisão bibliográfica a respeito da construção da autoestrada que está no topo da encosta, e dos acidentes ocorridos na região próxima ao campus.

A autoestrada Lagoa-Barra, oficialmente denominada Autoestrada Engenheiro Fernando Mac Dowell, é uma estrada de pista dupla que liga o bairro da Gávea (Zona Sul) e Barra da Tijuca (Zona Oeste). Seu fluxo diário somando ambos os sentidos são de 80.000 veículos (G1 Rio, 2018).

Segundo Carvalho (2004), a construção da autoestrada Lagoa-Barra tem sua origem baseada no Plano Rodoviário do antigo Estado da

Guanabara, elaborado pelo Departamento de Estradas de Rodagem (DER-GB), que objetivava propiciar a ampliação dos domínios do estado com o deslocamento do eixo do complexo industrial e residencial para as Baixadas de Jacarepaguá, Campo Grande e Santa Cruz, a época, ainda pouco habitadas e de grande potencialidade em recursos econômicos.

De acordo com Cordeiro (2010), o andamento da construção foi cercado por uma série de discussões, uma vez que no projeto inicial a passagem da autoestrada era pelo meio do *campus* da PUC-Rio, como mostrado na Figura 50.



Figura 50 - Maquete da autoestrada passando pela PUC (Núcleo de Memória PUC-Rio)

O autor ainda afirma que esse conflito se devia não só por causa das dificuldades de circulação de alunos, professores e funcionários pelo campus como também por causa das possíveis interferências do trânsito pesado da autoestrada sobre os instrumentos sensíveis dos laboratórios de pesquisa e pela necessidade de desapropriação de parte da área situada nos fundos da universidade (Cordeiro, 2010). O *campus* íntegro era uma condição necessária para as atividades de ensino e de pesquisa.

Desta forma, após todo o processo de discussão de projetos, deliberação sobre a obra e sua implementação, a estrada foi executada atravessando uma seção do conjunto habitacional construído por Affonso Eduardo Reidy, conhecido como Minhocão e na encosta da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (Cordeiro, 2010).

Para passagem das pistas, um módulo com 21 apartamentos do Conjunto Habitacional foi demolido (Figura 51), e os moradores daquela ala foram transferidos para três novos blocos de apartamentos, construídos nos fundos do Conjunto São Vicente (Saudades Rio, 2019).

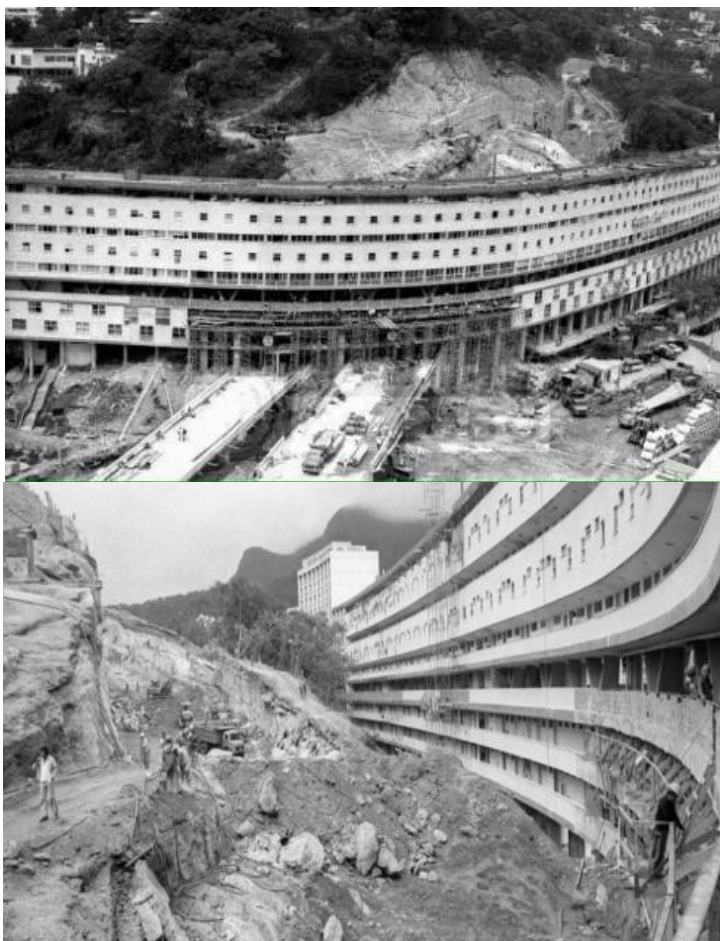


Figura 51 - a) Frente e (b) Fundos Conjunto Habitacional 'Minhocão' (Acervo O Globo)

Além disso, para a construção, o então Governo do Estado do Rio de Janeiro fez uma permuta com a universidade onde 41 mil metros quadrados de encosta não edificantes foram trocados por uma área plana de 21 mil metros quadrados, junto da Marquês de São Vicente (Saudades Rio, 2019). A área atualmente pertence ao canteiro de obras para a construção da estação do metrô da Gávea.

Ademais, a fim de prevenir os ruídos sonoros que o tráfego transmitiria para a universidade, principalmente, próximo ao edifício Cardeal Leme, o Túnel Acústico (Figura 52a) foi executado. Ele possui quatrocentos metros de extensão, liga a Avenida Padre Leonel Franca, na Gávea, ao Túnel Zuzu

Angel. Este último, antigamente denominado Túnel Dois Irmãos (Figura 52b), é uma via subterrânea inaugurado em junho de 1971 com 1.590 metros de extensão (Carvalho, 2004).

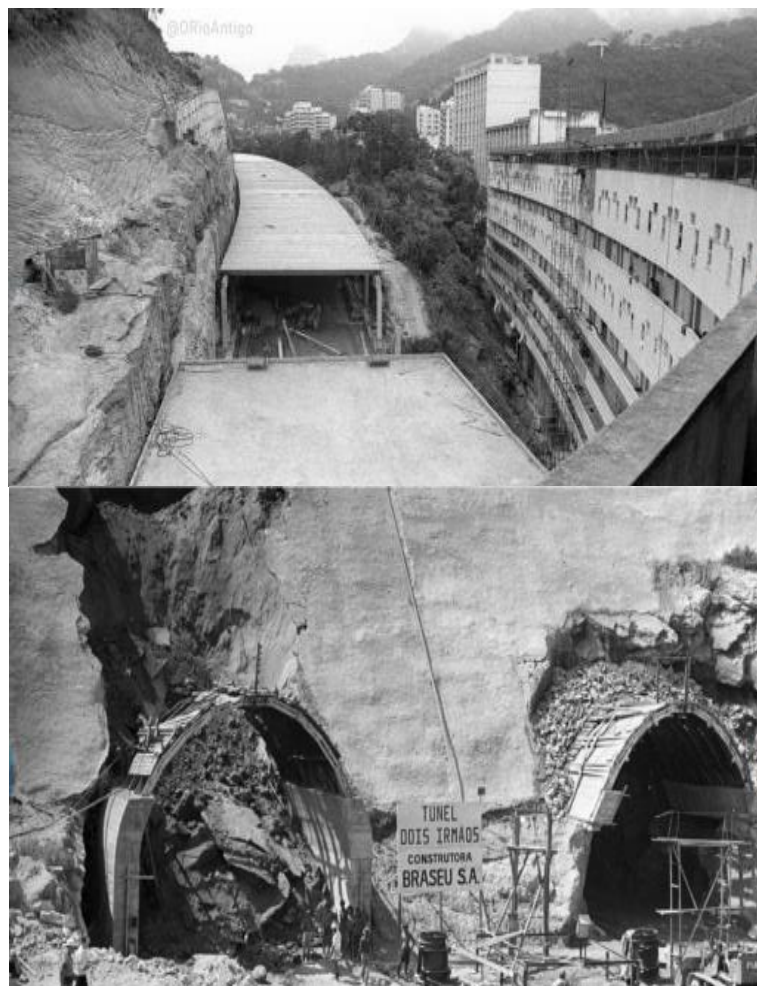


Figura 52 - (a) Construção do Túnel Acústico (b) Túnel Dois Irmãos (Acervo O Globo)

Segundo Carvalho (2004), o túnel é denominado acústico uma vez que possui a sua estrutura de concreto para abafamento sonoro, na qual é feito o fechamento das partes superior e lateral das pistas no trecho de 400 metros que fica na encosta, junto à PUC-Rio. O Túnel Acústico foi inaugurado em 1982, junto com a inauguração oficial da autoestrada Lagoa-Barra, conforme apresentado na Figura 53.



Figura 53 - Autoestrada Lagoa-Barra (Saudades do Rio, 2019)

No ano de 2019, episódios catastróficos decorrentes de escorregamento ocorreram próximo a encosta e resultaram impactos econômicos e ambientais, conforme mostrado na Figura 54. Sendo eles ocorridos em:

5 de fevereiro de 2019: Um escorregamento soterrou carros no estacionamento do Conjunto Residencial Marquês de São Vicente, o Minhocão, que fica sobre a entrada da galeria.

17 de maio de 2019: A cidade entrou em estágio de crise após o alto volume de chuva que saturou o solo, resultando em um escorregamento de terra que provocou o desabamento da estrutura do Túnel Acústico Rafael Mascarenhas (Molica & Campos, 2019). Uma das placas de concreto atingiu um ônibus da linha 104, que faz o itinerário São Conrado-Rodoviária. Felizmente, o motorista e passageiros não ficaram feridos (Eller, 2019).

De acordo com a Prefeitura do Rio de Janeiro (2019b), foi mobilizado mais de 150 toneladas de material entre concreto e terra que desceu da encosta. Na reparação estrutural do túnel, a fim de formar uma barreira de impacto, foi feita a instalação de colunas metálicas na área onde ocorreu o escorregamento. Apenas no dia 19 de maio, o município retornou ao estágio de atenção, após a liberação do sentido São Conrado do Túnel Acústico Rafael Mascarenhas.

Já no dia 9 de julho, a Prefeitura do Rio de Janeiro (2019a), por meio da Secretaria Municipal de Meio Ambiente, multou o proprietário da mansão

no Alto Leblon no valor de R\$ 2.643.303,00, pois foi constatado o descarte irregular de lixo na encosta, sendo encontrados, entre outros objetos, pneus, eletrodomésticos e móveis.



Figura 54-Episódios de Escorregamentos próximos da Autoestrada

A encosta da área de estudo a ser avaliada o risco de escorregamento, sofreu grande intervenção humana. Essas modificações em conjunto com a declividade elevada do maciço e com a alta precipitação na cidade do Rio de Janeiro, conferem na maior abrangência aos eventos de escorregamento conforme foi evidenciado no histórico.

6 Resultados da Avaliação do Risco

Este capítulo tem o objetivo de avaliar o risco e analisar a estabilidade das seções da área de estudo, definindo também a vulnerabilidade e a probabilidade de ruptura. A avaliação foi realizada de forma qualitativa através dos resultados das metodologias do Ministério da Cidade & IPT e do GIDES-CPRM, devido às metodologias terem um menor grau de complexidade para a determinação e hierarquização das áreas de riscos através das vistorias em campo. Estas permitem determinar a potencialidade de ocorrência de acidentes, com a identificação das situações de risco. Já a avaliação de forma quantitativa é obtida através da modelagem computacional no GEO 05 “Estabilidade de Taludes” da *Fine Software* e da análise probabilística.

6.1 Vistoria *in loco*

Mediante a vistoria *in loco*, realizada no dia 25 de abril de 2022, foi feita a avaliação de risco ao escorregamento na área de estudo, utilizando a percepção, parâmetros básicos como declividade, inclinação, tipologia dos processos pretéritos, posição da ocupação em relação à encosta, qualidade da ocupação em relação a sua vulnerabilidade e através de fotos obtidas no local, para assim, determinar o grau de probabilidade de ocorrência do processo ou do risco.

Os resultados da vistoria de campo utilizada para avaliar o risco das seções de estudo a escorregamento são apresentados nos próximos subitens e as fichas de campo para as metodologias, Ministério da Cidade & IPT e do GIDES-CPRM estão nos Apêndices C ao E.

6.1.1

Seção 1: Edifício Metrô

A seção vistoriada no dia 25 de abril de 2022, corresponde ao talude com base situado nos fundos do edifício Metrô (Figura 55), pertencente ao Departamento de Arquitetura e Urbanismo. Sua altura é de aproximadamente 13 m e a inclinação da encosta é naturalmente acentuada, sendo equivalente a 33°. O edifício possui distância inferior a 2 m do talude e pode ser alcançado por materiais deslizados da encosta (Figura 56). Foram observados indícios de processos desestabilizadores do terreno como as trincas no muro e poste (Figura 57), além de presença de feição erosiva e entulho na base do maciço (Figura 58).



Figura 55 - Edifício Metrô 25/04/2022



Figura 56 - Fundos Edifício Metrô 25/04/2022



Figura 57 - Trinca parede e poste 25/04/2022



Figura 58 - Entulho e Feição erosiva 25/04/2022

Na crista do talude, paralelamente ao longo do Túnel Acústico, existe uma canaleta de drenagem, a qual apresenta deformação (Figura 59), e na vegetação há a presença de árvores inclinadas (Figura 60) que sugere o deslocamento do terreno.



Figura 59 - Deslocamento Canaleta 25/04/2022



Figura 60 - Inclinação de Árvores 25/04/2022

Por todo o exposto, conclui-se que a seção 1 de acordo com as classificações propostas:

- **Ministério das Cidades e pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas:** tem o grau de risco R3 (Risco Alto) a escorregamento;
- **GIDES-CPRM:** tem também o grau de risco R3.

Devido a isso, é necessário manter o local em observação, pois o processo de instabilização está em pleno desenvolvimento, sendo possível monitorar a sua evolução.

6.1.2

Seção 2: RDC - Grupo de Geradores

Na seção 2, a vistoria foi realizada no dia 25 de abril de 2022, no talude aos fundos do Rio Datacentro (Figura 61) próximo aos geradores (Figura 62), na qual o talude está situado acima do muro de contenção, possuindo 35° de inclinação e tendo aproximadamente 10,5 m de altura, ficando distante do gerador e prédio, respectivamente, 1,57 m e 5,32 m.



Figura 61 - Rio Datacenter 25/04/2022



Figura 62 - RDC (Grupos de Geradores) 25/04/2022

O processo de instabilização da área está em estágio avançado, visto a expressiva cicatriz do movimento de massa (Figura 63 e 64) que há na encosta, a alta feição erosiva que coloca em evidência as raízes das árvores acima da cicatriz e a danificação das paliçadas (técnica de bioengenharia).



Figura 63 - Cicatriz de Escorregamento vista da base 25/04/2022



Figura 64 - Cicatriz de Escorregamento vista do topo 25/04/2022

Na área, também é evidenciado o deslocamento da canaleta de drenagem (Figura 65) e a inclinação de árvores (Figura 66).



Figura 65 - Deslocamento Canaleta 25/04/2022



Figura 66 - Inclinação de Árvores 25/04/2022

Conclui-se que a seção 2, de acordo com as classificações propostas:

- **Ministério das Cidades e pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas:** tem o grau de risco R4 (Risco Muito Alto a escorregamento);

-**GIDES-CPRM:** tem também o grau de risco R4.

Os condicionantes geológicos geotécnicos predisponentes e o nível de intervenção no setor são de muito alta potencialidade para o desenvolvimento de processo de escorregamentos, visto que há cicatriz de escorregamentos pretéritos na área.

6.1.3

Seção 3: RDC - Sistema de Refrigeração

A vistoria da seção 3 foi realizada também no dia 25 de abril de 2022, no talude aos fundos do Rio Datacentro, mas próximo aos equipamentos de refrigeração, com altura de aproximadamente 11,362m e com a inclinação equivalente a 45° (Figura 67), a qual está a uma distância de 3,33m do refrigerador e 5,32m de prédio.



Figura 67-RDC (Sistema de Refrigeração) 25/04/2022

Na área, é notada uma cicatriz de movimento de massa pretérito (Figura 68) a qual foi coberta pela serrapilheira, principalmente dos bambus que tem na crista da encosta, também são observados degraus de

abatimento (Figura 69), assim como, a movimentação da canaleta de drenagem (Figura 70).

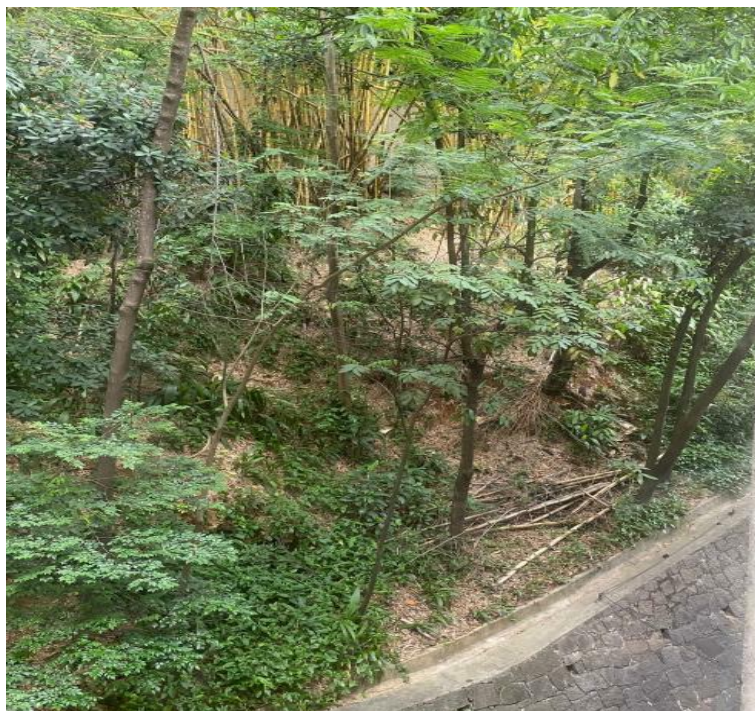


Figura 68-Cicatriz de Movimento de Massa 25/04/2022



Figura 69-Degrau de Abatimento 25/04/2022



Figura 70-Deslocamento Canaleta 25/04/2022

Sendo assim, a seção 3 é avaliada referente ao risco de acordo com as classificações propostas:

- **Ministério das Cidades e pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas:** tem o grau de risco R3 (Risco Alto a escorregamento);
- **GIDES-CPRM:** tem também o grau de risco R3.

Em todas as seções é observada a presença significativa de evidências de instabilidade no solo. Também pode ser adicionado como fator de instabilização: as vibrações produzidas pelo tráfego pesado no Túnel Acústico, presenças de caixas d'água e o vazamento das mesmas (Figura 71) na crista do talude, o qual gera uma sobrecarga, além do lançamento de entulho (Figuras 72 e 73), o qual foi observado no deslocamento de uma seção para outra na encosta.



Figura 71-Caixa D'Água na crista do Talude 25/04/2022



Figura 72- Entulho na encosta (tubulação) 25/04/2022



Figura 73-Entulho na encosta (cobertura metálica) 25/04/2022

6.1.4 Resultados das Metodologias

O compilado com a classificação do risco das seções por meio das duas metodologias utilizadas é apresentada na Tabela 36.

Tabela 36 - Classificação do Risco de Escorregamento

Classificação do Risco		
Metodologia	Ministério da Cidade & IPT	GIDES-CPRM
Seção 1	Alto	Alto
Seção 2	Muito Alto	Muito Alto
Seção 3	Alto	Alto

6.2 Análise de Estabilidade

A análise de estabilidade de taludes envolve um conjunto de métodos que tem por objetivo determinar o fator de segurança, o qual quantifica o quão próximo da ruptura está um talude.

6.2.1

Método de Cálculo e Parâmetros Geomecânicos

Para o cálculo da estabilidade em cada seção foi utilizado o método de equilíbrio limite através da modelagem computacional no *software* GEO 05 “Estabilidade de Taludes”. As simulações foram baseadas no método Morgenstern-Price, a fim de se obter os respectivos fatores de segurança e prováveis superfícies de escorregamento.

Os dados de entrada (Tabela 37) com as características de cada material foram baseados nos resultados dos ensaios realizados na encosta por diversos autores: Escalaya (2016), Soares (2005), Esposito (2011), Espinoza (2010), Marinho (1986), Daylac (1994), Duarte (2004) e Abrantes (2019). Utilizou-se os valores médios no que se refere ao peso específico, e para os parâmetros de resistência, foram utilizados os menores valores considerados como mais críticos para a estabilidade da encosta (Menezes, 2019).

Tabela 37 - Dados de Entrada

Dados de Entrada	Solo Coluvionar	Solo Residual	Rocha	Muro de Peso
γ_{sat} (kN/m ³)	18,59	18,79	-	-
γ_d (kN/m ³)	13,79	14,15	26,00	21,00
c' (kPa)	10,25	16,30	Topo Rochoso	100,00
ϕ' (°)	24,50	28,05	-	38,00

Foi realizada a análise de estabilidade saturada, visto que no trabalho realizado por Menezes (2019), nas seções, conforme apresentado na Tabela 38, a diferença é menor que 0,1 entre os fatores de segurança mínimos encontrados para a análise não saturada e a saturada, sugerindo que no momento da situação crítica, a encosta se encontra próxima da saturação.

Tabela 38 - Fator de Segurança Análise Saturada e Não Saturada

Seções	Fator de Segurança		Diferença
	Não Saturado	Saturado	
1	1,46	1,38	0,08
2	1,21	1,13	0,08
3	1,14	1,08	0,06

6.2.2

Resultado Análise da Estabilidade

Foram analisadas as estabilidades das três seções transversais da encosta do *campus* da PUC Rio, baseando o fator de segurança limite na NBR 11.682/2009 – Estabilidade de taludes.

O grau de segurança esperado para área foi estabelecido conforme apresentado na Tabela 9, sendo considerado como alto no que se refere ao perigo de perda de vidas humanas, e à possibilidade de danos materiais e ao meio ambiente. Para tal cenário, a norma determina o fator de segurança mínimo de 1,50 de acordo com o definido nas Tabelas 10 e 11.

Os resultados das simulações (Figura 74 a 76) com seus fatores de segurança (FS) mínimos e suas respectivas superfícies de ruptura críticas são apresentados por seção nos próximos subitens.

6.2.2.1

Seção 1: Edifício Metrô

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1921178/CA

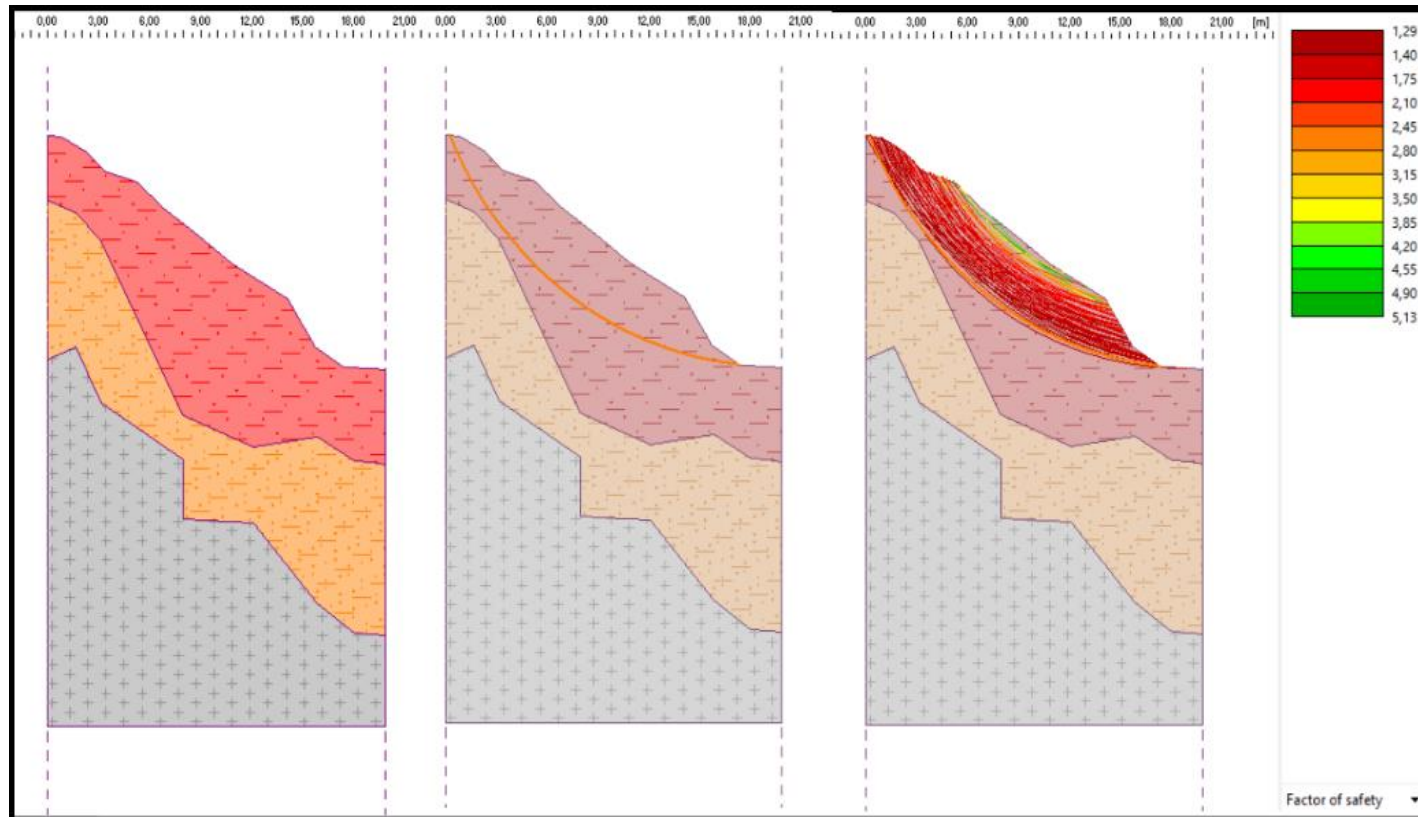


Figura 74-Análise de Estabilidade Seção 1A-B

6.2.2.2

Seção 2: RDC - Grupo de Geradores

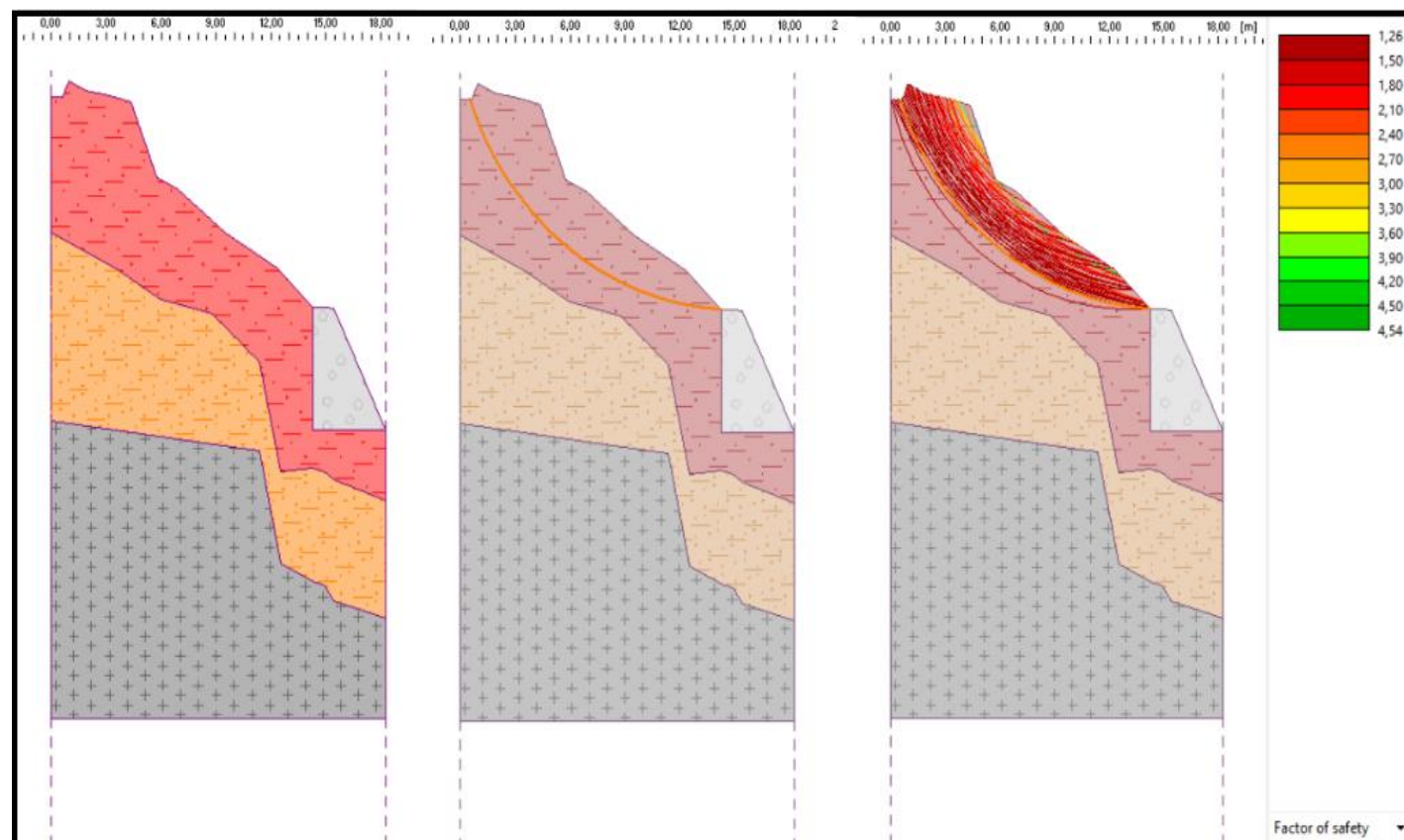


Figura 75-Análise de Estabilidade Seção 2A-B

6.2.2.3

Seção 3: RDC - Sistema de Refrigeração

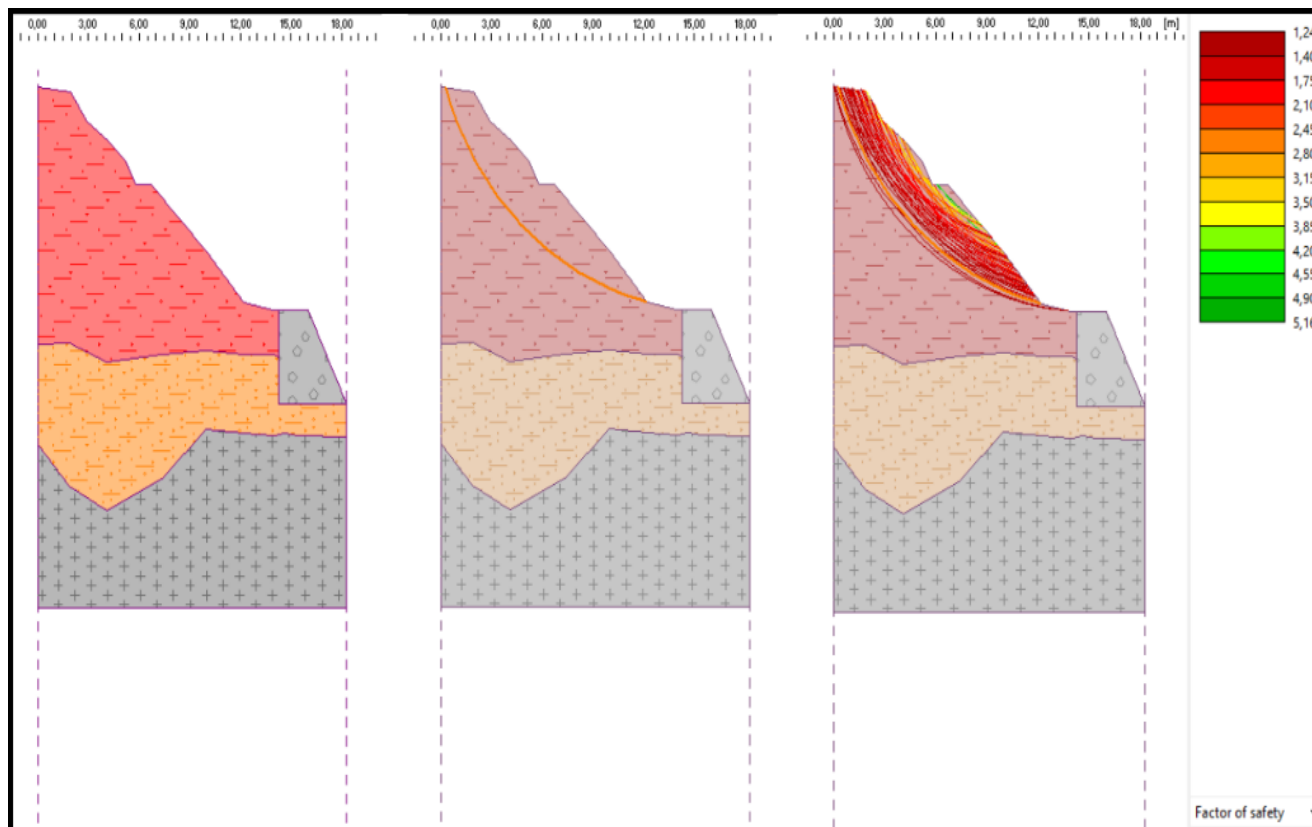


Figura 76-Análise de Estabilidade Seção 3A-B

Os resultados obtidos referente ao grau de estabilidade definido para as superfícies de escorregamento crítica, utilizando o método de Morgenstern-Price, nas análises de estabilidade efetuadas estão apresentados na Tabela 39.

Tabela 39 - Resultados das Análises de Estabilidade

Seções	Fator de Segurança Mínimo
	Saturado
1	1,29
2	1,26
3	1,24

A estabilidade da encosta da PUC-Rio é fonte de estudo de diversos autores como Esposito (2011), Alta (2018) e Menezes (2019). A modelagem geotécnica, os perfis topográficos e geológicos, assim como os parâmetros (Tabela 40) foram definidos a partir das investigações de campo e dados bibliográficos de trabalhos acadêmicos anteriores. Sendo ratificada a composição estratigráfica formada por uma camada de solo maduro amarelo ou vermelho sobre um solo residual jovem.

Tabela 40 - Parâmetros geotécnicos em diversos trabalhos

Autores	Solo	γ_{sat} (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ' (°)
Esposito (2011)	Coluvionar	18,33	10,25	24,5
Alta Geotecnia (2018)		18,00	10,00	25,00
Menezes (2019)		18,59	10,25	24,50
Esposito (2011)	Residual	18,95	16,30	43,6
Alta Geotecnia (2018)		17,40	9,00	30,54
Menezes (2019)		18,79	16,30	28,05

Os trabalhos acadêmicos recentes realizados na referida encosta sobre a sua estabilidade resultaram nos fatores de segurança, apresentados na Tabela 41.

Tabela 41 - Resultados de FS em diversos trabalhos

Seções	Fator de Segurança Mínimo			
	Esposito (2011)	Alta Geotecnia (2018)	Menezes (2019)	Autora
1	0,7	1,14	1,38	1,29
2	1,1	1,13	1,13	1,26
3	1,3	1,14	1,08	1,24

A diferença nos resultados se dá devido os autores utilizarem diferentes características de resistência de cada material, já que a estratigrafia considerada nos estudos foi estimada com base em diversos dados bibliográficos, assim como a geometria das seções transversais abordadas. Além disso, as modelagens foram feitas em diferentes *softwares* (SLOPE/W da GEOSTUDIO, SVSLOPE da *SoilVision* e GEO 05 da *Fine Software*), utilizando para o cálculo da análise de estabilidade distintos métodos de equilíbrio limite (Sarma e Morgenstern-Price).

No entanto, para os quatro trabalhos citados, os resultados obtidos para cada seção apresentaram fatores de segurança abaixo do limite pré-estabelecido, bem reduzidos, próximos de 1,0, sendo necessárias medidas para aumentar a estabilização da encosta.

6.2.3

Avaliação da Probabilidade de Ruptura

A fim de analisar o risco iminente do talude, é realizada a análise de estabilidade probabilística, a qual é definida a partir dos termos do fator de segurança da encosta por meio do cálculo do índice de confiabilidade desta para se obter avaliação da probabilidade de ruptura.

A Tabela 42 mostra a caracterização estatística dos parâmetros de resistência, coesão e ângulo de atrito, utilizado no estudo probabilístico. Sendo imposto um incremento de 10% nesses parâmetros conforme a sugestão de Sandroni e Sayão (1993).

Tabela 42- Caracterização estatística dos parâmetros de resistência

Solo	Parâmetro	Média	Cov (%)	Desvio Padrão	Método FOSM
					Média +10%
Coluvionar	c' (kPa)	10,25	40	4,1	11,275
	ϕ' (°)	24,5	10	2,45	26,95
	γ_{sat} (kN/m ³)	18,59	3	0,5577	20,449
	γ (kN/m ³)	13,79	3	0,4137	15,169
Residual	c' (kPa)	16,3	40	6,52	17,93
	ϕ' (°)	28,05	10	2,805	30,855
	γ_{sat} (kN/m ³)	18,79	3	0,5637	20,669
	γ (kN/m ³)	14,15	3	0,4245	15,565

Por interposto da variação de cada parâmetro médio definido como variável, um a um, mantendo-se os demais fixos, é possível calcular os fatores de segurança (variável dependente), médio e seu desvio padrão através da raiz quadrada da variância. A relevância dos parâmetros geotécnicos na alteração do FS no cálculo probabilístico pelo método FOSM é apresentado nas Tabelas 43 a 45.

Tabela 43- Relevância dos Parâmetros pelo método FOSM Seção 1

X_i	ΔX_i	ΔFSi	$\Delta FSi/\Delta X_i$	$V[X_i]$	$(\Delta FSi/\Delta X_i)^2 \cdot V[X_i]$	Relevância dos Parâmetros
c' (kPa)	1,03	0,05	0,05	16,81	0,04	85,79%
ϕ' (°)	2,45	0,08	0,03	6,0025	0,01	13,73%
γ_{sat} (kN/m ³)	1,86	0	0,00	0,31102929	0,00	0,00%
γ (kN/m ³)	1,38	-0,05	-0,04	0,17114769	0,00	0,48%
c' (kPa)	1,63	0	0,00	42,5104	0,00	0,00%
ϕ' (°)	2,81	0	0,00	7,868025	0,00	0,00%
γ_{sat} (kN/m ³)	1,88	0	0,00	0,31775769	0,00	0,00%
γ (kN/m ³)	1,42	0	0,00	0,18020025	0,00	0,00%
				V[FS]	0,05	100%

Tabela 44-Relevância dos Parâmetros pelo método FOSM Seção 2

Ξ_i	$\Delta \Xi_i$	ΔF_{Si}	$\Delta F_{Si}/\Delta \Xi_i$	$V[\Xi_i]$	$(\Delta F_{Si}/\Delta \Xi_i)^2 \cdot V[\Xi_i]$	Relevância dos Parâmetros
c' (kPa)	1,03	0,06	0,06	16,81	0,06	89,68%
ϕ' (°)	2,45	0,08	0,03	6,0025	0,01	9,96%
γ_{sat} (kN/m ³)	1,86	0	0,00	0,31102929	0,00	0,00%
γ (kN/m ³)	1,38	-0,05	-0,04	0,17114769	0,00	0,35%
c' (kPa)	1,63	0	0,00	42,5104	0,00	0,00%
ϕ' (°)	2,81	0	0,00	7,868025	0,00	0,00%
γ_{sat} (kN/m ³)	1,88	0	0,00	0,31775769	0,00	0,00%
γ (kN/m ³)	1,42	0	0,00	0,18020025	0,00	0,00%
				$V[FS]$	0,06	100%

Tabela 45-Relevância dos Parâmetros pelo método FOSM Seção 3

Ξ_i	$\Delta \Xi_i$	ΔF_{Si}	$\Delta F_{Si}/\Delta \Xi_i$	$V[\Xi_i]$	$(\Delta F_{Si}/\Delta \Xi_i)^2 \cdot V[\Xi_i]$	Relevância dos Parâmetros
c' (kPa)	1,03	0,07	0,07	16,81	0,08	93,75%
ϕ' (°)	2,45	0,07	0,03	6,0025	0,00	5,86%
γ_{sat} (kN/m ³)	1,86	0	0,00	0,31102929	0,00	0,00%
γ (kN/m ³)	1,38	-0,06	-0,04	0,17114769	0,00	0,39%
c' (kPa)	1,63	0	0,00	42,5104	0,00	0,00%
ϕ' (°)	2,81	0	0,00	7,868025	0,00	0,00%
γ_{sat} (kN/m ³)	1,88	0	0,00	0,31775769	0,00	0,00%
γ (kN/m ³)	1,42	0	0,00	0,18020025	0,00	0,00%
				$V[FS]$	0,08	100%

E, a Tabela 46 apresenta os fatores de segurança resultantes para cada seção quando é feita a variação de cada parâmetro.

Tabela 46-Fatores de Segurança Análise Determinística Método FOSM

FS	Análise Determinística	Análise Probabilística							
	Média	$c' +10\%$	$\phi' +10\%$	$\gamma_{sat} +10\%$	$\gamma +10\%$	$c' +10\%$	$\phi' +10\%$	$\gamma_{sat} +10\%$	$\gamma +10\%$
Seção 1	1,29	1,34	1,37	1,29	1,24	1,290	1,29	1,29	1,29
Seção 2	1,26	1,32	1,34	1,26	1,21	1,26	1,26	1,26	1,26
Seção 3	1,24	1,31	1,31	1,24	1,18	1,240	1,24	1,24	1,24

Já o Índice de Confiabilidade descreve a estabilidade do talude pelo número de desvios padrão que separam o fator de segurança médio do fator de segurança definido de 1,0. E, através de uma distribuição normal do fator de segurança, têm-se a probabilidade de ruptura.

$$\beta = \frac{FS - 1}{\sigma_{FS}}$$

É apresentado na Tabela 47 o índice de confiabilidade a partir da média e desvio padrão do fator de segurança de cada seção, e por conseguinte, a probabilidade de ruptura com a classificação definida na Tabela 8.

Tabela 47- Resultados das Análises de Estabilidade

Seção	Fator de Segurança Médio	Desvio Padrão do Fator de Segurança (σ_{FS})	Índice de Confiabilidade (β)	Pr
1	1,30	0,216	1,38	0,08
2	1,27	0,253	1,07	0,14
3	1,25	0,289	0,86	0,19

A probabilidade de desempenho (ou de ruptura) é a probabilidade de que o valor da função de desempenho se aproximará do limite estado, ou que um evento insatisfatório irá ocorrer.

$$Pr = 1 - \phi(\beta) \quad (14)$$

A probabilidade de ruptura de 0,19, 0,14 e 0,08 indica que 19 de cada 100 instabilidades resultarão em danos que causam um risco de segurança. Sendo assim, o talude pode ser classificado com um nível de desempenho considerado como perigoso.

Diante da probabilidade de ruptura e situações de risco, condicionadas por processos geológico-geotécnicos identificados na encosta, obtida para cada seção, tem-se que o impacto físico do escorregamento provocaria um índice de vulnerabilidade conforme apresentado na Tabela 48 na faixa de 0,7 a 0,8. Sendo considerado o possível grau do dano por escorregamento nas estruturas do RDC e DAU como funcional.

Tabela 48 - Vulnerabilidade de acordo com o tipo de dano por escorregamento de terra (Lee & Jones, 2014)

Intensidade do Dano	Vulnerabilidade
Leve dano não estrutural, estabilidade não afetada, móveis ou acessórios danificados	0,01-0,1
Rachaduras nas paredes, estabilidade não afetada, reparação não urgente	0,2-0,3
Deformação forte, buracos enormes nas paredes, rachaduras nas estruturas de suporte, estabilidade afetada, portas e janelas inutilizáveis, evacuação necessária	0,4-0,6
Quebras estruturais, parcialmente destruídas, evacuação necessária, reconstrução de partes destruídas	0,7-0,8
Parcial ou totalmente destruído, evacuação necessária, reconstrução completa	0,9-1

O agravamento dos processos erosivos já instalados pode levar à ocorrência de movimentos de massa. Tal deslocamento da massa poderia atingir o Edifício Metrô e o RDC, o que colocaria em risco o patrimônio da universidade e a segurança de seus corpos discente e docente.

Vale ressaltar que a seção 2 apresenta uma área crítica em função da cicatriz do movimento de massa pretérito. Nesse trecho temos o potencial de desenvolvimento de novos movimentos de massa devido a sua dimensão atual, à inclinação vertical, e à falta de cobertura vegetal, as quais aumentam o processo erosivo associado às águas pluviais.

Destaca-se, ainda, que a integridade do Túnel Rafael Mascarenhas e Zuzu Angel poderia ser comprometida com um evento extremo, logo, a estabilidade da encosta é fundamental à segurança dos usuários dos túneis.

Ademais, o risco estimado a partir da análise de estabilidade reflete as condições do segundo semestre de 2018. Atualmente, a condição da encosta se encontra num estado mais crítico, conforme observado na vistoria de campo realizada em 2022.

7 Conclusões

Os movimentos de massa constituem processos naturais de evolução das encostas. Entretanto, ao atingirem áreas habitadas, podem gerar desastres causadores de danos econômicos e sociais. Com base nos resultados obtidos constatou-se que a falta de manutenção na encosta do *campus* da PUC-Rio e do seu entorno culminou em problemas notórios, como:

- a presença significativa de evidência de instabilidade do solo como inclinação de árvores e deslocamento da canaleta de drenagem;
- processos erosivos de pequeno e médio porte como cicatrizes de movimentos pretéritos de massa;
- falta de manutenção e conservação nas obras de bioengenharia e canaletas de drenagem.

As metodologias de avaliação de risco qualitativas, GIDES-CPRM e Ministério das Cidades & IPT, identificaram um risco alto a muito alto no que se refere aos condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes. A partir disso, tem-se a hierarquização das seções mais críticas referente ao risco e o grau de prioridade de intervenção, sendo elas:

- RDC geradores (Seção 2);
- RDC refrigeradores (Seção 3);
- Edifício Metrô (Seção 1).

A avaliação de risco quantitativa das seções transversais da encosta foi estabelecida pela análise de estabilidade determinística e probabilística, por meio do levantamento topográfico e do levantamento geofísico da estratigrafia, utilizando um georadar. A partir disso, foi obtida a caracterização do maciço, o que permitiu a elaboração de um perfil com três camadas distintas: solo coluvionar, solo residual jovem e rocha.

Logo, o levantamento GPR é uma alternativa bem-sucedida para obter informações da composição de perfis geológicos de encostas florestadas, sendo um método rápido, confiável e de baixo custo.

As análises determinísticas de estabilidade foram realizadas no *software* GEO05, com base nos perfis geológicos e parâmetros geotécnicos estabelecidos. Por intermédio da utilização do método de análise rigoroso Morgenstern & Price para determinar o fator de segurança (FS) de cada seção traçada, obtém-se a condição de estabilidade do talude frente a situação atual ou frente a novas situações possíveis futuramente. Os resultados evidenciaram que as superfícies de ruptura crítica das seções apresentam baixo fator de segurança ($FS=1,2$) em relação à norma brasileira NBR 11.682/2009 – Estabilidade de Taludes que recomenda $FS \geq 1,5$.

Já as análises de estabilidade probabilística, com o objetivo de analisar o risco iminente do talude, estão associadas ao fator de segurança global (FS) e ao índice de confiabilidade (β), que por sua vez determinam os níveis de desempenho esperados das seções. Como resultado das análises, foram obtidas probabilidades de ruptura de 0,19, 0,14 e 0,08, sendo ambas classificadas como “Perigoso”, no que diz respeito ao nível de desempenho esperado.

O agravamento dos processos erosivos já instalados pode levar à ocorrência de movimentos de massa e o impacto físico desse possível escorregamento provocaria um índice de vulnerabilidade na faixa de 0,7 a 0,8. Tal faixa indica que existe a possibilidade de atingir o Edifício Metrô e o RDC, o que colocaria em risco o patrimônio da universidade (grau de dano funcional) e a segurança de seus corpos discente e docente.

Perante os resultados, mantidas as condições existentes, é possível a ocorrência de eventos destrutivos, principalmente durante episódios de chuvas intensas e prolongadas. Sendo assim, há a necessidade de manter o local em observação, além de implementar ações que mitiguem os riscos dessa área. As abordagens predominantes de gestão de risco procuram mantê-lo dentro de níveis toleráveis e minimizá-lo aonde for economicamente viável, tecnologicamente prático, comercialmente necessário ou politicamente desejável.

Posto isso, são propostas medidas estruturais que sejam capazes de promover a estabilidade e a sustentabilidade da encosta, com a finalidade de resguardar o *campus* da PUC-Rio no que se refere a segurança do patrimônio e a comunidade:

- obras de contenção;
- manutenção contínua do sistema de drenagem do muro de arrimo próximo ao RDC e no topo do talude paralelo ao Túnel Acústico;
- fazer o redirecionamento da drenagem (canela de borda, de descida e de pé) para evitar concentração de água na superfície do talude;
- corte das árvores de grande porte que se encontram inclinadas e em situação crítica de estabilidade;
- poda de árvores para permitir a penetração dos raios solares na encosta e, com isso, criar condições para a proliferação de vegetação rasteira que minimizará o potencial de erosão.

A primeira medida (obra de contenção) apresenta custo mais elevado. Contudo, essa é a solução mais efetiva e que proporciona uma maior segurança. Além disso, é preciso efetuar a semeadura de plantas de raízes profundas e perenes que exigem poucos cuidados e manutenção, e fazer a limpeza local dos materiais oriundos da obra do metrô.

Em suma, considera-se que a avaliação de risco de movimento de massa, obtida pela aplicação das abordagens metodológicas propostas neste trabalho, é adequada para indicar à Universidade as áreas críticas prioritárias para intervenção. Essas informações constituem subsídios importantes para a gestão e para o planejamento ambiental, e possibilitam o desenvolvimento de ações de intervenção e de mitigação dos riscos já existentes, cenário o qual evitaria a instalação de novos riscos.

7.1

Sugestões para Trabalhos Futuros

As perdas sociais e econômicas devido aos movimentos de massa podem ser reduzidas por meio de planejamento e gestão eficazes. Como sugestão de trabalhos futuros, deve ser considerada a execução de um plano de intervenções estruturais e não estruturais, o qual consiste no desenvolvimento de medidas estruturais mais adequadas para cada seção. Tal circunstância contaria com estimativa de custo de cada intervenção apontada e com o estabelecimento de uma escala de prioridade de intervenção a partir de critérios que considerem o nível de risco do setor, a fim de elaborar propostas para a obtenção de apoio nos programas de pesquisa científica da universidade.

8

Referências Bibliográficas

ABDULWAHID, W.M; PRADHAN, B. **Landslide vulnerability and risk assessment for multi-hazard scenarios using airborne laser scanning data (LiDAR)**. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, p.1057-1076, 2017. DOI 10.1007/s10346-016-0744-0.

ABRANTES, L. G. **Avaliação em laboratório do coeficiente de empuxo no repouso (K0) de um colúvio saturado e não saturado**. Dissertação de Mestrado, DEC, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

AGUILERA, C.H.T **Aplicação de métodos de análise de estabilidade de taludes de grande altura em mineração**. Dissertação de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2009.

ALCÁNTARA – AYALA, I. 2002. **Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries**. Geomorphology 47 (2002) p. 107-124.

ALMEIDA. L.Q.; WELLE, T.; BIRKMANN, J. **Disaster risk indicators in Brazil: A proposal based on the world risk index**. International Journal of Disaster Risk Reduction, v.17, p.251-272, 2016. ISSN 2212-4209.

ALTA GEOTECNIA AMBIENTAL LTDA-EPP. **Avaliação das condições de estabilidade e propostas de estabilização da encosta da PUC-Rio junto ao edifício Cardeal Leme**. Relatório Técnico RT-180921-01-v03. Rio de Janeiro, 2018. 74p.

AMARO, A. Consciência e cultura do risco nas organizações. **Territorium**, Coimbra, n. 12, p. 5-9, 2005.

ANGA HS and TANG WH (1984) **Probability Concepts in Engineering Planning and Design**, vol. II. Decision, Risk and Reliability. Wiley, Chichester.

ANNAN, A. P. and COSWAY, S.W. (1992). **Ground Penetrating Radar Survey Design**. Proceedings of the Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems, Vol. 2, pp. 329-352.

AUGUSTO FILHO, O.1995. **Escorregamentos em encostas naturais e ocupadas: análise e controle**. In BITAR (coord). Curso de geologia aplicada ao meio ambiente. São Paulo, ABGE. p. 77-100.

AUGUSTO FILHO, O. 2001. **Carta de Risco de Escorregamentos Quantificada em Ambiente de SIG como Subsídio para Planos de Seguro em Áreas Urbanas: um ensaio em Caraguatatuba (SP)**. Pós-

Graduação em Geociências. Instituto de Geociências e Ciências Exatas/Unesp, Rio Claro, Tese de Doutorado, 195p.

ASSIS, A.P., ESPÓSITO, T.J., GARDONI, M.G. & SILVA, P.D.E.A. (2001). **Métodos Estatísticos Aplicados a Geotecnia**. Publicação G.AP-002/01, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 177 p.

BARBOSA, J. O.; MOURA, G. G. **Riscos ambientais, resíduos sólidos e qualidade ambiental: algumas considerações**. Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research medium, Ituiutaba, v. 10, n. 1, p. 67-76, jan./jun. 2019.

BASSANELI, H. R. et al. **Estabilidade de Taludes**. Educação e Sociedade, v. 1 n. 2, 2016. Educação e Sociedade.

BEKAERT, B. **Tipos de taludes: como lidar com cada um deles. 2020**. Disponível em: <<https://blog.belgobekaert.com.br/geotech/tipos-de-taludes/>> Acesso em: 13 de mar de 2021.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil. Departamento de Prevenção e Preparação. **Módulo de formação: noções básicas em proteção e defesa civil e em gestão de riscos: livro base** / Ministério da Integração Nacional, Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil, Departamento de Minimização de Desastres. - Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2017.ISBN (978-85-68813-08-9).

BRITO, A. T. A., **Estudo Químico e Mineralógico de um Perfil de Alteração de Gnaiss Migmatítico do Campo Experimental da PUC-RJ, Gávea, Rio de Janeiro**, Dissertação de Mestrado, DEC, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1981.

BROLLO, M. J. et al. **O Instituto Geológico na Prevenção de Desastres Naturais**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. 100 p.

CAMARINHA, P. I. M. **VULNERABILIDADE AOS DESASTRES NATURAIS DECORRENTES DE DESLIZAMENTOS DE TERRA EM CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA PORÇÃO PAULISTA DA SERRA DO MAR** Tese de Doutorado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2016.

CARMIGNANI, Luigi; FIORI, Alberto Pio. **Fundamentos de Mecânica dos Solos e das Rochas: aplicações na estabilidade de taludes**. 2ª ed. rev. e ampl. – Curitiba: Ed. UFPR, 2009.

CARVALHO, R.C. **Rio de Janeiro: uma cidade conectada por túneis**. Coleção Estudos Cariocas. Nº 20040201,59p. Fev, 2004 ISSN 1984-7203.

CARVALHO, C.S; GALVÃO, T. **Prevenção de Riscos de Deslizamentos em Encostas: Guia para elaboração de Políticas Municipais**. Brasília: Ministério das Cidades; Cities Alliance, 2006, 11p

CASTRO, A. L. C. **Glossário de Defesa Civil, Estudos de Riscos e Medicina de Desastres**. Ministério da Integração Nacional, Secretaria Nacional de Defesa Civil 5ª edição. 2012.191p.

CASTRO, C. M. et al. **Riscos Ambientais e Geografia: Conceituações, Abordagens e Escalas**. Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ, v. 28, p. 11-30, 2005. ISSN 0101-9759.

CEMADEN -CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTA DE DESASTRES NATURAIS. **Movimento de Massa**. Ministério da Ciência, Tecnologia, inovações e comunicações. 2016. Disponível em: <<http://www.cemaden.gov.br/deslizamentos/>> Acesso em 01 de nov de 2020.

CEPED/UFSC-CENTRO UNIVERSITÁRIO DE PESQUISA E ESTUDOS SOBRE DESASTRES, UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. **Metodologia de avaliação de vulnerabilidade para mapeamento de áreas suscetíveis a deslizamentos e inundações: proposta piloto em Santa Catarina - Florianópolis**, 2014. 108 p.

CERRI, L. E. da S. **Riscos Geológicos associados a escorregamentos: uma proposta para prevenção de acidentes**. 1993. 197p. Tese (Doutorado em Geociências) - Universidade Estadual de São Paulo, Rio Claro, 1993.

CERRI, L. E. da S. **Riscos Geológicos Urbanos**. In: CHASSOT, Attico & CAMPOS, Heraldo (Orgs.). Ciências da Terra e Meio Ambiente: Diálogo para (inter)ações no Planeta. São Leopoldo: Ed. UNISINOS, 1999, p. 49-73.

CHAVES, F. L. **Proposta de correlação chuva vs escorregamento aplicada à cidade do Rio de Janeiro**. Dissertação de Mestrado. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

COELHO, G. Patrimônio verde do campus é mapeado por alunos. **Portal PUC-Rio Digital**. Rio de Janeiro, jun. 2008. Disponível em: <<http://puc-riodigital.com.puc-rio.br/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=1464&sid=18#Ydc5XWjMI2w>> Acesso em 06 de jan de 2022.

COELHO JÚNIOR, J. M.; ROLIM NETO, F. C.; ANDRADE, J. S. **Topografia Geral**. Recife: EDUFRPE, 2014. 156p.

COROMINAS, J et al. 2014. **Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk**. Bull. Eng. Geol. Environ. 73, 209–263.

CONAMA-CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução n.001, de 23 de janeiro de 1986. **Dispõe sobre critérios básicos e**

diretrizes gerais para o Relatório de Impacto Ambiental – RIMA. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 17 fev. 1986.

CORDEIRO, E. **A construção da Auto Estrada Lagoa Barra: Um capítulo da História da PUC-Rio.** Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, PIBIC, Rio de Janeiro, 2010. 12p.

CORPS OF ENGINEERS, Engineering and Design. **Introduction to Probability and Reability Methods for Use in Geotechnical Engineering, Engineering Technical Letter.** 1997. Washington, DC., U. S.: Department of the Army, 1997.

CPRM-SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL **Galeria de fotos - Cartas de Perigo Geológico** Disponível em : <<http://cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Prevencao-de-Desastres/Galeria-de-fotos---Cartas-de-Perigo-Geologico-5387.html> > Acesso em: 18 de out de 2020.

CPRM -SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Mapa online.** Disponível em < <https://geoportal.cprm.gov.br/desastres/>> Acesso em 08 de dez de 2020

CPRM /SGB -SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Manual de Mapeamento de Perigo e Risco a Movimentos Gravitacionais de Massa – Projeto de Fortalecimento da Estratégia Nacional de Gestão Integrada de Desastres Naturais – Projeto GIDES.** Rio de Janeiro, 2018; Versão 1. 213 p.

CRISTO, S. S. V; HERRMANN, M. L. P. **Mapeamento e análise de áreas susceptíveis a riscos naturais de enchentes e deslizamentos no setor leste da bacia hidrográfica do rio Itacorubi, Florianópolis-SC.** V Simpósio Nacional de Geomorfologia I Encontro SulAmericano de Geomorfologia UFSM RS, 02 a 07 de agosto de 2004, 18p.

CRUDEN D.M; VARNES, D.J. **LANDSLIDE TYPES AND PROCESS** Transportation Research Board, U.S. National Academy of Sciences, Special Report, p.36-74. 1996.

DAGNINO, R. S.; CARPINI JUNIOR, S. **RISCO AMBIENTAL: CONCEITOS E APLICAÇÕES** Climatologia e Estudos da Paisagem, v.2, n.2, p.50-87, jul/dez.2007.

DAI, F.C. et al. **Landslide risk assessment and management: an overview.** Engineering Geology v.64, p. 65–87. 2002.

DANTAS, M. E. **Geomorfologia do Estado do Rio de Janeiro.** CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Brasília. dez. 2000.

DAYLAC, R., **Desenvolvimento e Utilização de Uma Célula para Medição de K0 Com Controle de Sucção,** Dissertação de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1994.

DUARTE, A. P. L., **Avaliação de Propriedades Termo-Hidráulicas de Solos Requeridas na Aplicação da Técnica de Dessorção Térmica**, Tese de Doutorado, DEC, PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2004.

DUNCAN J.M. **Factor of safety and reliability in geotechnical engineering**. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering 126: 307–316 2000.

ECKS, J. **Aplicação da teoria do equilíbrio-limite na análise de estabilidade de taludes: estudo de caso**. Monografia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

EGLER, C. A. G. **Risco ambiental como critério de Gestão do Território: uma aplicação à zona costeira Brasileira**. Revista Território. v.1, p.31-41, 1996.

ELLER, J. **Desmoronamento atingiu região próxima ao túnel acústico da Lagoa-Barra em fevereiro**. O Globo, 18 de mai de 2019. Disponível em: <https://oglobo.globo.com/rio/desmoronamento-atingiu-regiao-proxima-ao-tunel-acustico-da-lagoa-barra-em-fevereiro-23675996>> Acesso em: 18 de dezembro de 2021.

ESCALAYA ADVINCULA, M. R. **Avaliação do Efeito de Aumento de Poropressão nas Características de Resistência de Três Solos Tropicais**. Tese de Doutorado, DEC, PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2016.

ESPINOZA, L. O. H. E. **Avaliação do Potencial de Liquefação de Solos Coluvionares do Rio de Janeiro**. Dissertação de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

ESPOSITO, R. G. C. **Análise de Estabilidade da Encosta do Campus da PUC-Rio**. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

FLORES, E. A. F. **Análises probabilísticas da estabilidade de taludes considerando a variabilidade espacial do solo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

FUNDAÇÃO GEO-RIO. **Os 50 Maiores Acidentes Geológico-geotécnicos na Cidade do Rio de Janeiro entre 1966 e 2016**. Rio de Janeiro, 2016.

GIRÃO, I. et al. **Análise teórica dos conceitos: Riscos Socioambientais, Vulnerabilidade e Suscetibilidade**. REGNE, v.4, n especial, p 71-83, 2018.

GODOIS, J.V.S. **Estudo do comportamento de um escorregamento ativo na Serra da Cantareira-SP**. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

GOMES, M. V. **Escoamento Superficial, geometria e perfil de alteração na análise de estabilidade de taludes de corte nas Formações Botucatu, Serra Geral e Intrusivas Básicas Tabulares, SP**. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.

GOMES, F.O. **Mapeamento Geomorfológico do Maciço da Tijuca, Rio de Janeiro (RJ)**, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, PIBIC, Rio de Janeiro, 2020. 12p.

GRID- GRUPO DE GESTÃO DE RISCO DE DESASTRES. **Desastres naturais atingiram 40,9% dos municípios do país nos últimos anos** Disponível em < <http://www.ufrgs.br/grid/noticias/ibge-desastres-naturais-atingiram-40-9-dos-municipios-do-pais-nos-ultimos-anos#:~:text=Em%20todo%20o%20pa%C3%ADs%2C%2097,500%20mil%20habitantes%20tiveram%20alagamentos.&text=Ao%20todo%2C%201.574%20munic%C3%ADpios%20registraram,1.543%20munic%C3%ADpios%2C%20com%208.942%20casos.>> Acesso em 07 de nov de 2020.

GUIDICINI, G & NIEBLE, C. M. 1984. **Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação**. São Paulo: 2ª ed. Edgard Blucher,.194p.

G1 RIO. **Lagoa-Barra agora se chama Autoestrada Engenheiro Fernando Mac Dowell** **Globo. Globo.com**, 2019. Disponível em: <<https://g1.globo.com/rj/rio-de-janeiro/noticia/lagoa-barra-agora-se-chama-autoestrada-engenheiro-fernando-mac-dowell.ghtml>> Acesso em: 30 de dez de 2021.

HARR, M. E. **Reliability- Based Design in Civil Engineering – United States of America**, 1987.

HIGHLAND, L.M; BOBROWSKY, P. **The landslide handbook – A guide to understanding landslides**. Reston, Virginia, U.S. Geological Survey Circular 1325, 2008. 129p.

ISSMGE (International Society of Soil Mechanics and Ground Engineering) (2004) **Risk Assessment – Glossary of Terms**. TC32, Technical Committee on Risk Assessment and Management Glossary of Risk Assessment Terms – Version 1, July 2004.

JABER, R. **Estudo da probabilidade de ruptura de uma estrutura de contenção em gabiões, localizado em Goiânia-Goiás**. Tese de Conclusão de Curso- Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2011.

JOL, H. M. (2009). **Ground Penetrating Radar: Theory and Applications**. Elsevier, Amsterdam, 524 p.

KOBIYAMA, M. et al. **Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos** – Curitiba: Ed. Organic Trading, 2006. 109p.

KREIMER, A.; ARNOLD, M.; CARLIN, A. (Ed.) **Building Safer Cities: The Future of Disaster Risk**. Washington, D.C.: The World Bank, 2003. 324p.

LEE, E.M. **Landslide risk assessment: the challenge of communicating uncertainty to decision-makers**. QJEGH Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology Trimestral Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, v.49, p.21-35, 2016.

LEE, E. M.; JONES, D. K.C. **Landslide Risk Assessment**. Institution of Civil Engineers (ICE). Second Edition, 2014.

LICCO, E. A.; SEO, E. S. M. **Perigos e Riscos Naturais: Estudo de Caso do Jardim Pantanal**. InterfacEHS Revista de Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade, Dossiê, v. 8, n. 1, p.3-24. 2013. ISSN 1980-0894.

MACHADO, R.R; ZACARIAS, G.M. Análise de Risco de Deslizamento. REVISTA ORDEM PÚBLICA v. 9, n. 1, p.70-92, jan./jun., 2016. ISSN 1984-1809 e 2237-6380.

MARANDOLA JR., E.; HOGAN, D.J. **As dimensões da vulnerabilidade**. São Paulo em Perspectiva, São Paulo, Fundação Seade, v. 20, n. 1, p. 33-43, jan./mar. 2006.

MARANGON, M. **Unidade 03-Estabilidade de Taludes. Geotecnia de Fundações e Obras de Terra**. UFJF 2018. Disponível em: <<https://www.ufjf.br/nugeo/files/2017/07/OT-03-Estabilidade-de-Taludes-2018-1.pdf>> Acesso em 07 de mar de 2021.

MARCELINO, E. V. 2008. **Desastres Naturais e Geoteconologias: Conceitos Básicos**. Caderno Didático nº 1. INPE/CRS, Santa Maria, 2008. 40p.

MARINHO, F. A. M., **Características de Deformabilidade do Solo Residual do Campo Experimental II da PUC/RJ Obtidas a Partir de Ensaio Triaxiais Axissimétricos**. Dissertação de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1986.

MELO NETO, M. V. **Classificação e caracterização de dois movimentos de massa no Estado de Pernambuco**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2005.

MENEZES, J.V.L. **Estabilidade da encosta não saturada do campus da PUC-Rio na Gávea**. Tese de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2019.

MIHIR, M.; MALAMUD, B.; ROSSI, M.; REICHENBACH, P.; ARDIZZONE, F. Landslide Susceptibility Statistical Methods: A Critical and Systematic

Literature Review. **Geophysical Research Abstracts**, Vienna, v. 16, maio 2014.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Prevenção de Riscos de Deslizamentos em Encostas: Guia para Elaboração de políticas Municipais**, Brasília: Ministério das Cidades; Cities Alliance, Ed. Brasil. 2006,11p.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. **CAPACITAR Noções Básicas em Proteção e Defesa Civil e em Gestão de Riscos**. Ministério da Integração Nacional, Rio Grande do Sul, 2017. 14 p.

MOLICA, F.; CAMPOS, J. P. Parte de teto de túnel cai na Zona Sul do Rio de Janeiro. **Veja**, Rio de Janeiro, 17de mai de 2019. Disponível em: < <https://veja.abril.com.br/brasil/parte-de-teto-de-tunel-cai-no-rio-de-janeiro/> > Acesso em: 10 de jan de 2022.

MONGUILHOTT, M. et al. **Estudo de áreas suscetíveis a movimentos de massa na Rodovia RS-486 – Rota do Sol**. Pesquisa Florestal Brasileira, [S. l.], v. 30, n. 61, p. 61, 2010.

MONTANDON, L. F. **Avaliação da influência da escala do Mapa Litológico nos modelos de suscetibilidade a escorregamentos, no município de Caeté (MG), utilizando métodos Estatísticos**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.

NASA- ADMINISTRAÇÃO NACIONAL DE AERONÁUTICA NACIONAL. **Estúdio de Visualização Científica (NASA)**. 2019. Disponível em: < <https://svs.gsfc.nasa.gov/4710> > Acesso em 06 de jun de 2021.

NBR11682/2009 **Estabilidade de Taludes**.

NBR 13133/1994 **Execução de levantamento topográfico**.

OLIVEIRA, L.C.D. **Análise Quantitativa de Risco emprego de Movimentos de Massa com Estatística Bayesiana** Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

OPOLOT E (2013) **Application of remote sensing and geographical information systems in flood management: a review**. Res J Appl Sci EngTechnol 5 (10):1884–1894

PARIZZI, M.G. **DESASTRES NATURAIS E INDUZIDOS E O RISCO URBANO** Geonomos, v.22, n.1, p 1-9. 2014.

PEREIRA, S. et al. **A landslide risk index for municipal land use planning in Portugal**. Science of the Total Environment, vol. 735, 2020. 139463, ISSN 0048-9697.

PICHININ, E. S. **AS TRANSFORMAÇÕES HISTÓRICAS E A DINÂMICA ATUAL DA PAISAGEM NO MUNICÍPIO DE EUCLIDES DA CUNHA**

PAULISTA/SP. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2009.

PREFEITURA DO RIO. **Prefeitura multa dono de mansão em R\$ 2,6 milhões por acidente em túnel.** Prefeitura do Rio. 10 de jul de 2019. Disponível em: <<https://prefeitura.rio/infraestrutura/prefeitura-multa-dono-de-mansao-em-r-26-milhoes-por-acidente-em-tunel/>> Acesso em: 27 de dezembro de 2021.

PREFEITURA DO RIO. **Prefeitura trabalha para liberar pista sentido Lagoa do Túnel Acústico Rafael Mascarenhas até o fim deste domingo.** Prefeitura do Rio Disponível em: <<https://prefeitura.rio/infraestrutura/prefeitura-trabalha-para-liberar-pista-sentido-lagoa-do-tunel-acustico-rafael-mascarenhas-ate-o-fim-deste-domingo/>>.

PRESS, F. et al **PARA ENTENDER A TERRA.** Tradução: MENEGAT, R. (coord.). 4ª edição. Porto Alegre: Bookman, 2006.

PROMPER, C. et al. **Spatiotemporal patterns of landslide exposure - astep within future landslide risk analysis on a regional scale applied in Waidhofen/Ybbs Austria.** Int. J. Disaster Risk Reduct. 12, 25–33, 2015.

RECKZIEGEL, B. W.; ROBAINA, L. E. S. **Riscos Geológicos geomorfológicos: Revisão Conceitual.** Ciência e Natura, v.27, n.2, p.65 - 83. 2005.

RIBEIRO, F. G. et al. O Impacto Econômico dos Desastres Naturais: O Caso das Chuvas de 2008 em Santa Catarina. **Planejamento e Políticas Públicas**, n. 43, 2014.

SALEEM, N. et al. **Parameters Derived from and/or Used with Digital Elevation Models (DEMs) for Landslide Susceptibility Mapping and Landslide Risk Assessment: A Review.** ISPRS Int. J. Geo-Inf. 2019, v.8, n.12, 2019.

SAMPAIO, T.Q. et al. **A ATUAÇÃO DO SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM NA GESTÃO DE RISCOS E RESPOSTA A DESASTRES NATURAIS.** VI Congresso CONSAD de Gestão Pública. Brasília-DF, 2013. 26p.

SANDRONI, S. S. SAYÃO, A. S. F., “**The Use of Relative Probability of Failure in the Design of Open Pit Mine Slopes**”, Innovative Mine Design for the 21st Century, pp. 21-24, 1993.

SANTOS, A. B. **Avaliação de ruptura de solos não saturados: estudo do escorregamento do Morro do Águia, Salvador, BA.** Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil, 2017.

SANTOS, R. N. C. **Enquadramento das Análises de Riscos em Geotecnia**. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa (FCT-UNL), Lisboa, 2006.

SARAIVA, A. **Área de risco- Estudo inédito mostra moradores sujeitos a enchentes e deslizamentos**. AGÊNCIA DE NOTÍCIAS IBGE, 28 de jun de 2018. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/21566-estudo-inedito-mostra-moradores-sujeitos-a-enchentes-e-deslizamentos>> Acesso em: 07 de nov de 2020.

SAUDADES DO RIO. **Lagoa-Barra**. Saudades do Rio do Luiz, 2019. Disponível em: <<http://saudadesdoriadoluid.blogspot.com/2019/05/lagoa-barra.html>> Acesso em: 21 de dez de 202.

SEDEC/RJ -SECRETARIA DE ESTADO DE DEFESA CIVIL. **PEM/RJ Plano de Emergência do Estado do Rio de Janeiro**, Governo do Rio de Janeiro-Rio de Janeiro 2020. 174p.

SERTÃ, H. B. C. (1986). **Aspectos Geológicos e Geotécnicos do Solo Residual do Campo Experimental II da PUC/RJ**. Dissertação de Mestrado, DEC, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1986.

SILVA FILHO, S. P. **A Estabilidade dos Taludes e Suas Implicações Socioeconômicas: Uma Análise do Maior Desastre Natural do Brasil**. Monografia, Universidade Federal da Paraíba., João Pessoa, 2017.

SILVA, T.M.; SILVA, S.L.S. **O relevo do estado do Rio de Janeiro: cenário de beleza e fragilidade ambiental**. Revisitando o território fluminense, VI [online]. Rio de Janeiro: EDUERJ, 2017, p. 43-64. 2017. ISBN: 978-85-7511-457-5.

SISTEMA ALERTA RIO. **Novos estágios operacionais**. Disponível em:<<http://www.sistema-alerta-rio.com.br/alertas/estagio-operacional/saiba-mais-estagios/>>. Acesso em 04 de jan de 2022.

SIQUEIRA, J. C. **Bioinvasão vegetal: Dispersão e propagação de espécies nativas e invasoras exóticas no campus da PUC-Rio**. Pesquisas. Botânica, São Leopoldo, RS, v. 57, p. 319-330. 2006.

SOARES, R. M. **Resistência ao Cisalhamento de um Solo Coluvionar Não Saturado do Rio de Janeiro**. Dissertação de Teses de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2005.

SOUZA, M. M. **Uso do Georadar (GPR) em Investigações Ambientais**. Dissertação de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

SOUZA, L. A. P.; GANDOLFO, O. C. B. **Métodos geofísicos em geotecnia e geologia ambiental**. Revista Brasileira de Geologia e Engenharia e Ambiental, v. 2, n. 2, p. 10-27. 2012.

TERZAGHI, K. 1967 **Mecanismos dos escorregamentos de terra**. Publicado pela Politécnica da USP, 1967. 41p.

TOMINAGA, L. K. **Avaliação de metodologias de análise de risco a escorregamentos: Aplicação de um ensaio em Ubatuba, SP**. Tese de Pós-Graduação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

TOMINAGA, L. K. SANTORO, J.; AMARAL, R. **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. 196 p.

TONIAZZO, F. et al. **Escorregamento de Solos na Região Oeste do Estado de Santa Catarina: Consequências Sócio-Ambientais**. Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, v.7, n.1, p. 397-417, jan./mar.2018.

UNESP- UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA. **Geodinâmica Externa** Disponível em: <

<https://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/interacao/inter09.html#2>>

Acesso em: 18 de out de 2020.

UTSI, E. C. **Ground Penetrating Radar: Theory and Practice**, Elsevier Science & Technology, 2017.

VECCI, A N. **Análise Probabilística da Estabilidade de um Talude de Mineração**. Dissertação de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2018.

VETTORAZZO, L. IBGE aponta 8,2 milhões sob risco de enchente ou deslizamento no Brasil. **Folha de S.Paulo**, São Paulo, 28 de jun de 2018. Disponível em: <<https://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2018/06/ibge-aponta-82-milhoes-vivendo-em-area-de-risco-no-brasil.shtml>>. Acesso em 07 de nov de 2020.

WATANABE, R. **Contenção de Taludes: O que é Talude?** Dezembro de 2015. Disponível em: < <http://www.ebanataw.com.br/talude/oquee.htm> > Acesso em 06 de mar de 2020.

WEATHER SPARK. **Condições meteorológicas características de Rio de Janeiro em fevereiro**. 2020. Disponível em: <<https://pt.weatherspark.com/m/30563/2/Condi%C3%A7%C3%B5es-meteorol%C3%B3gicas-caracter%C3%ADsticas-de-Rio-de-Janeiro-Brasil-em-fevereiro#Sections-Precipitation>>. Acesso em: 17 de out de 2020.

WEATHER SPARK. **Condições meteorológicas médias de Rio de Janeiro Brasil**. 2020. Disponível em: <<https://pt.weatherspark.com/y/30563/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Rio-de-Janeiro-Brasil-durante-o-ano>>. Acesso em: 17 de out de 2020.

WU TH, TANG WH and EINSTEIN HH (1996) **Landslide hazard and risk assessment.** In Landslides Investigation and Mitigation (Turner AK and Schuster RL (eds)). National Academy Press, Washington, DC, pp. 106–120. Transportation Research Board Special Report 247.

ZIEGLER, G. L. F. **AVALIAÇÃO DO RISCO A ESCORREGAMENTOS DEVIDO A OCUPAÇÃO URBANA NA VILA BELA VISTA EM SANTA MARIA-RS** Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

APÊNDICE A: Modelo Ministério da Cidade & IPT

ROTEIRO PARA VISTORIAS EM ÁREAS DE RISCO

- Este roteiro objetiva auxiliar a tomada de decisão sobre as moradias que estão sob risco de escorregamentos, erosão, enchentes e inundação.
- Ao final do preenchimento será possível se estabelecer o nível de risco ao qual estão sujeitas as moradias.
- O preenchimento deve ser feito passo-a-passo. Para cada passo existem instruções que devem ser lidas com atenção. Nos espaços em branco preencher as informações solicitadas.
- Converse com os moradores das casas e vizinhos. As pessoas têm a tendência de tentar esconder fatos, pensando nos problemas que uma remoção pode lhes causar. Quando for possível pergunte para crianças.

1º PASSO- DADOS GERAIS SOBRE AS MORADIAS

Instruções: Este campo deve ser preenchido com cuidado, pois deverá permitir que qualquer pessoa possa chegar (retornar) ao local. Colocar a localização ("endereço") das moradias (usar nome ou número da rua, viela, escadaria, ligação de água ou luz, nomes de vizinhos), nomes de moradores e as condições de acesso à área, como por exemplo: via de terra, escadaria de cimento, rua asfaltada, boas ou más condições, etc. Mencionar os tipos de moradias (se em alvenaria, madeira ou misto dos dois).

LOCALIZAÇÃO:
NOME DE MORADORES:
CONDIÇÕES DE ACESSO À ÁREA:
TIPOS DE MORADIAS: <input type="checkbox"/> Alvenaria <input type="checkbox"/> Madeira <input type="checkbox"/> Misto (alvenaria e madeira)

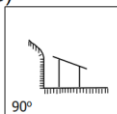
2º PASSO - CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL

Instruções: Descrever o terreno onde estão as moradias. Marque com um "X" a condição encontrada. Antes de preencher dê um "passeio" no entorno das moradias. Olhe com atenção os barrancos (taludes) e suba neles se for necessário.

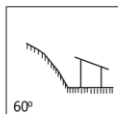
Encosta Natural

altura _____ m

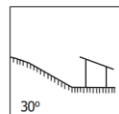
Inclinação (marque com "x" o desenho que apresenta a condição mais parecida com a situação)



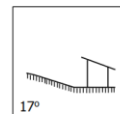
90°



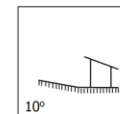
60°



30°



17°

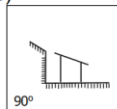


10°

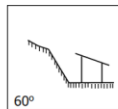
Talude de corte

altura _____ m

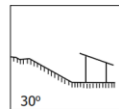
Inclinação (marque com "x" o desenho que apresenta a condição mais parecida com a situação)



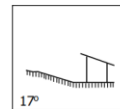
90°



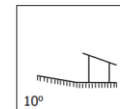
60°



30°



17°



10°

Dist. da moradia: _____ m da base da encosta/talude

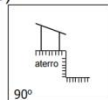


OU _____ m do topo da encosta/talude

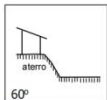
**Aterro Lançado**

altura _____ m

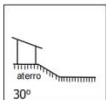
Inclinação (marque com "x" o desenho que apresenta a condição mais parecida com a situação)



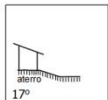
90°



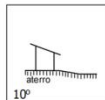
60°



30°

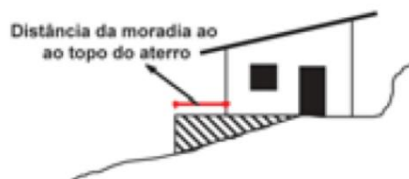


17°

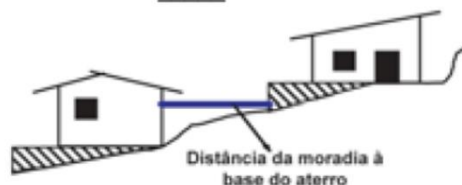


10°

() Dist. Da moradia: _____ m do topo do aterro

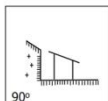


OU _____ m da base do aterro

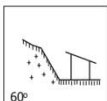
**Presença de parede rochosa**

altura _____ m

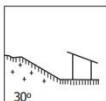
Inclinação (marque com "x" o desenho que apresenta a condição mais parecida com a situação)



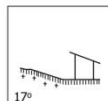
90°



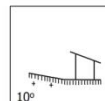
60°



30°



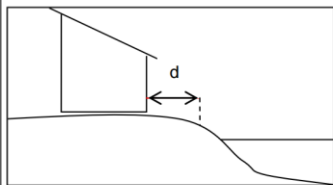
17°



10°

☐ **Moradia à margem de rios ou córregos**

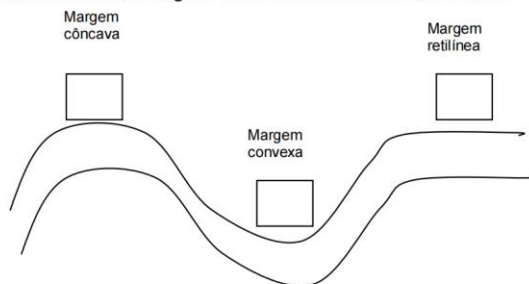
Distância de _____ m da moradia até a calha fluvial



Assentada sobre:

- ☐ aterro
☐ pilotis/ laje
☐ solo
☐ rocha sã ou pouco alterada
☐ área impermeabilizada

Característica da margem onde a moradia está assentada:


☐ **Presença de blocos de rocha e matoções**
☐ **Presença de lixo/entulho**
3º PASSO - ÁGUA

Instruções: A água é uma das principais causas de escorregamentos. A sua presença pode ocorrer de várias formas e deve ser sempre observada. Pergunte aos moradores de onde vem a água (servida) e o que é feito dela depois do uso e o que ocorre com as águas das chuvas.

<input type="checkbox"/> Concentração de água de chuva em superfície (enxurrada)	<input type="checkbox"/> Lançamento de água servida em superfície (a céu aberto ou no quintal)
Sistema de drenagem superficial <input type="checkbox"/> inexistente <input type="checkbox"/> precário <input checked="" type="checkbox"/> satisfatório	
Para onde vai o esgoto? <input type="checkbox"/> fossa <input type="checkbox"/> canalizado <input type="checkbox"/> lançamento em superfície (céu aberto)	
De onde vem a água para uso na moradia? <input type="checkbox"/> Prefeitura/Concessionária <input type="checkbox"/> mangueira	
Existe vazamento na tubulação? <input type="checkbox"/> SIM (<input type="checkbox"/> esgoto <input type="checkbox"/> água) <input type="checkbox"/> NÃO	
Minas d'água no barranco (talude) <input type="checkbox"/> no pé <input type="checkbox"/> no meio <input type="checkbox"/> topo do talude ou aterro	



4º PASSO - VEGETAÇÃO NO TALUDE OU PROXIMIDADES

Instruções: Dependendo do tipo de vegetação, ela pode ser boa ou ruim para a segurança da encosta. Anotar a vegetação que se encontra na área que está sendo avaliada, principalmente se existirem bananeiras.

<input type="checkbox"/> Presença de árvores	<input type="checkbox"/> Vegetação rasteira (arbustos, capim, etc)
<input type="checkbox"/> Área desmatada	<input type="checkbox"/> Área de cultivo (banana)

5º PASSO - SINAIS DE MOVIMENTAÇÃO (Feições de instabilidade)

Instruções: Lembre-se que antes de ocorrer um escorregamento, a encosta dá sinais que está se movimentando. A observação desses sinais é muito importante para a classificação do risco, a retirada preventiva de moradores e a execução de obras de contenção.

Trincas <input type="checkbox"/> no terreno <input type="checkbox"/> na moradia 	<input type="checkbox"/> Degraus de abatimento 
Inclinação <input type="checkbox"/> árvores <input type="checkbox"/> postes <input type="checkbox"/> muros <input type="checkbox"/> Cicatriz de escorregamento próxima à moradia	<input type="checkbox"/> Muros/paredes "embarrigados"

6º PASSO - TIPOS DE PROCESSOS DE INSTABILIZAÇÃO ESPERADOS OU JÁ OCORRIDOS

Instruções: Em função dos itens anteriores é possível se prever o tipo de problema que poderá ocorrer na área de análise. Leve em conta a caracterização da área, a água, a vegetação e as evidências de movimentação. A maioria dos problemas ocorre com escorregamentos. Existem alguns casos de queda ou rolamento de blocos de rocha, que são de difícil observação. Neste caso, encaminhe o problema para um especialista.

Escorregamentos <input type="checkbox"/> no talude natural <input type="checkbox"/> no talude de corte <input type="checkbox"/> no aterro
<input type="checkbox"/> Queda de blocos <input type="checkbox"/> Rolamento de blocos
<input type="checkbox"/> Solapamento de margem de córregos ou rios

7º PASSO - DETERMINAÇÃO DO GRAU DE RISCO

Instruções: Agora junte tudo o que você viu: caracterização do local das moradias, a água na área, vegetação, os sinais de movimentação, os tipos de escorregamentos que já ocorreram ou são esperados. Avalie, principalmente usando os sinais, se esta área está em movimentação ou não e se o escorregamento poderá atingir alguma moradia. Utilize a tabela de classificação dos níveis de risco. Caso não haja sinais, mas a sua observação dos dados mostra que a área é perigosa, coloque alto ou médio, mas que deve ser observada sempre. Cadastre só as situações de risco, marcando também as de baixo risco.

<input type="checkbox"/> RISCO MUITO ALTO/Providência imediata
<input type="checkbox"/> RISCO ALTO/Manter local em observação
<input type="checkbox"/> RISCO MÉDIO/Manter local em observação
<input type="checkbox"/> RISCO BAIXO OU INEXISTENTE (pode incluir situações sem risco)

Grau de Probabilidade	Descrição
R1 Baixo ou sem risco	<p>1. os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (inclinação, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de baixa ou nenhuma potencialidade para o desenvolvimento de processos de deslizamentos e solapamentos.</p> <p>2. não se observa(m) sinal/feição/evidência(s) de instabilidade. Não há indícios de desenvolvimento de processos de instabilização de encostas e de margens de drenagens.</p> <p>3. mantidas as condições existentes não se espera a ocorrência de eventos destrutivos no período compreendido por uma estação chuvosa normal.</p>
R2 Médio	<p>1. os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (inclinação, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de média potencialidade para o desenvolvimento de processos de deslizamentos e solapamentos.</p> <p>2. observa-se a presença de algum(s) sinal/feição/evidência(s) de instabilidade (encostas e margens de drenagens), porém incipiente(s). Processo de instabilização em estágio inicial de desenvolvimento.</p> <p>3. mantidas as condições existentes, é reduzida a possibilidade de ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período compreendido por uma estação chuvosa.</p>
R3 Alto	<p>1. os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (inclinação, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de alta potencialidade para o desenvolvimento de processos de deslizamentos e solapamentos.</p> <p>2. observa-se a presença de significativo(s) sinal/feição/ evidência(s) de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes, etc.). Processo de instabilização em pleno desenvolvimento, ainda sendo possível monitorar a evolução do processo.</p> <p>3. mantidas as condições existentes, é perfeitamente possível a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período compreendido por uma estação chuvosa.</p>
R4 Muito Alto	<p>1. os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (inclinação, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de muito alta potencialidade para o desenvolvimento de processos de deslizamentos e solapamentos.</p> <p>2. os sinais/feições/evidências de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes, trincas em moradias ou em muros de contenção, árvores ou postes inclinados, cicatrizes de deslizamento, feições erosivas, proximidade da moradia em relação à margem de córregos, etc.) são expressivas e estão presentes em grande número ou magnitude. Processo de instabilização em avançado estágio de desenvolvimento. É a condição mais crítica, sendo impossível monitorar a evolução do processo, dado seu elevado estágio de desenvolvimento.</p> <p>3. mantidas as condições existentes, é muito provável a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período compreendido por uma estação chuvosa.</p>

8º PASSO – NECESSIDADE DE REMOÇÃO (para as moradias em risco alto ou muito alto)

Instruções: Esta é uma informação para a Defesa Civil e para o pessoal que trabalha com as remoções. Marque quantas moradias estão em risco e mais ou menos quantas pessoas talvez tenham que ser removidas.

Número de moradias em risco: ____	Estimativa do nº de pessoas p/ remoção: ____
-----------------------------------	--

9º PASSO – OUTRAS INFORMAÇÕES

Instruções: Escreva neste espaço quaisquer informações adicionais que você julgar importante.

<p>DESENHO 1 – PLANTA Instruções: Neste espaço faça um desenho de como chegar até a área. Coloque a casa, os taludes, os sinais de movimentação, árvores grandes, etc.</p>	<p>DESENHO 2 – PERFIL Instruções: Neste espaço faça um desenho com um perfil da área ou a casa vista de lado, com a distância e altura do talude e do aterro, posição dos sinais de movimentação, etc.</p>
EQUIPE TÉCNICA	NOME / INSTITUIÇÃO
ASSINATURA	

LEMBRETE IMPORTANTE: Em caso de dúvidas encaminhe o problema para um técnico especialista mais experiente.

TIPO DE INTERVENÇÃO	DESCRIÇÃO
SERVIÇOS DE LIMPEZA E RECUPERAÇÃO	Serviços de limpeza de entulho, lixo, etc. Recuperação e/ou limpeza de sistemas de drenagem, esgotos e acessos. Também incluem obras de limpeza de canais de drenagem. Correspondem a serviços manuais e/ou utilizando maquinário de pequeno porte.
OBRAS DE DRENAGEM SUPERFICIAL, PROTEÇÃO VEGETAL (GRAMÍNEAS) E DESMONTE DE BLOCOS	Implantação de sistema de drenagem superficial (canaletas, rápidos, caixas de transição, escadas d'água, etc.). Implantação de proteção superficial vegetal (gramíneas) em taludes com solo exposto. Eventual execução de acessos para pedestres (calçadas, escadarias, etc.) integrados ao sistema de drenagem. Proteção vegetal de margens de canais de drenagem. Desmonte de blocos rochosos. Predomínio de serviços manuais e/ou com maquinário de pequeno porte.
OBRAS DE DRENAGEM DE SUBSUPERFÍCIE	Execução de sistema de drenagem de subsuperfície (trincheiras drenantes, DHP, poços de rebaixamento, etc.). Correspondem a serviços parcial ou totalmente mecanizados.
ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO LOCALIZADAS OU LINEARES	Implantação de estruturas de contenção localizadas, como chumbadores, tirantes, microestacas e muros de contenção passivos de pequeno porte ($h_{max} = 5$ m e $l_{max} = 10$ m). Obras de contenção e proteção de margens de canais (gabiões, muros de concreto, etc.). Correspondem a serviços parcial ou totalmente mecanizados.
OBRAS DE TERRAPLENAGEM DE MÉDIO A GRANDE PORTE	Execução de serviços de terraplenagem. Execução combinada de obras de drenagem superficial e proteção vegetal (obras complementares aos serviços de terraplenagem). Obras de desvio e canalização de córregos. Predomínio de serviços mecanizados.
ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO DE MÉDIO A GRANDE PORTE	Implantação de estruturas de contenção de médio a grande porte ($h_{max} > 5$ m e $l_{max} > 10$ m), envolvendo obras de contenção passivas e ativas (muros de gravidade, cortinas, etc.). Poderão envolver serviços complementares de terraplenagem. Predomínio de serviços mecanizados.
REMOÇÃO DE MORADIAS	As remoções poderão ser definitivas ou não (para implantação de uma obra, por exemplo). Priorizar eventuais realocações dentro da própria área ocupada, em local seguro.

APÊNDICE B: Modelo GIDES-CPRM

FORMULÁRIO DE CAMPO - SETOR DE PERIGO			
MUNICÍPIO/UF		LOGRADOURO/ Nº	
BAIRRO/DISTRITO	CÓDIGO DO SETOR	UTM E	DATUM
EQUIPE	DATA CADASTRO	UTM N	ZONA

VALIDAÇÃO DOS CRITÉRIOS E CONDIÇÕES TOPOGRÁFICAS

PLANAR

☐ Inclinação $\geq 25^\circ$

☐ Altura > 5 metros

Posição do topo _____

Posição da base _____

Posição dos limites laterais _____

ROTACIONAL

☐ Posição do topo

☐ Posição da base

☐ Posição dos limites laterais

FLUXO DE DETRITOS

☐ Presença de vale confinado

☐ Talvegue com inclinação $> 10^\circ$

☐ Localização do ponto de espraiamento

UTM E: _____

UTM N: _____

QUEDA DE BLOCOS

☐ Inclinação $\geq 50^\circ$

☐ Altura ≥ 5 metros

☐ Presença maciço rochoso

☐ Presença de blocos

☐ Presença de rampa

INDÍCIOS DE INSTABILIDADE NO TERRENO

PLANAR

Trincas no terreno	<input type="checkbox"/> Ausente <input type="checkbox"/> Presente	Marcante: <input type="checkbox"/> Quantidade: _____	<input type="checkbox"/> Dimensão: _____
Árvores inclinadas	<input type="checkbox"/> Ausente <input type="checkbox"/> Presente	Marcante: <input type="checkbox"/> Quantidade: _____	<input type="checkbox"/> Dimensão: _____
Grau sat./surgência*	<input type="checkbox"/> Ausente <input type="checkbox"/> Presente	Marcante: <input type="checkbox"/> Quantidade: _____	<input type="checkbox"/> Dimensão: _____
Degrau/subsidência	<input type="checkbox"/> Ausente <input type="checkbox"/> Presente	Marcante: <input type="checkbox"/> Quantidade: _____	<input type="checkbox"/> Dimensão: _____
Cicatriz	<input type="checkbox"/> Ausente <input type="checkbox"/> Presente	Marcante: <input type="checkbox"/> Quantidade: _____	<input type="checkbox"/> Dimensão: _____

Obs: DP (16/03/16). L:26m - C:19m - E: 2m 1H. Dentro da AC

ROTACIONAL

Trincas no terreno	<input type="checkbox"/> Presente	Marcante: <input type="checkbox"/> Quantidade: _____	<input type="checkbox"/> Dimensão: _____
Degrau/subsidência	<input type="checkbox"/> Presente	Marcante: <input type="checkbox"/> Quantidade: _____	<input type="checkbox"/> Dimensão: _____
Deformação em estruturas	<input type="checkbox"/> Presente	Marcante: <input type="checkbox"/> Quantidade: _____	<input type="checkbox"/> Dimensão: _____
Estreitamento da margem do rio	<input type="checkbox"/> Presente	Marcante: <input type="checkbox"/> Quantidade: _____	<input type="checkbox"/> Dimensão: _____
Intumescência basal	<input type="checkbox"/> Presente	Marcante: <input type="checkbox"/> Quantidade: _____	<input type="checkbox"/> Dimensão: _____
Grau de saturação/surgência	<input type="checkbox"/> Presente	Marcante: <input type="checkbox"/> Quantidade: _____	<input type="checkbox"/> Dimensão: _____

Obs: _____

FLUXO DE DETRITOS

Presença de depósito pretérito ☐ Ausente ☐ Presente

Presença de troncos ☐ Sim ☐ Não

Tamanho dos blocos: _____

Área do depósito: _____

Espessura do material depositado no canal	UTM E: _____ UTM N: _____	<input type="checkbox"/> > 2 m <input type="checkbox"/> Entre 0,3 e 2 m <input type="checkbox"/> $\leq 0,3$ m
	UTM E: _____ UTM N: _____	<input type="checkbox"/> > 2 m <input type="checkbox"/> Entre 0,3 e 2 m <input type="checkbox"/> $\leq 0,3$ m
	UTM E: _____ UTM N: _____	<input type="checkbox"/> > 2 m <input type="checkbox"/> Entre 0,3 e 2 m <input type="checkbox"/> $\leq 0,3$ m
	UTM E: _____ UTM N: _____	<input type="checkbox"/> > 2 m <input type="checkbox"/> Entre 0,3 e 2 m <input type="checkbox"/> $\leq 0,3$ m
	UTM E: _____ UTM N: _____	<input type="checkbox"/> > 2 m <input type="checkbox"/> Entre 0,3 e 2 m <input type="checkbox"/> $\leq 0,3$ m
	UTM E: _____ UTM N: _____	<input type="checkbox"/> > 2 m <input type="checkbox"/> Entre 0,3 e 2 m <input type="checkbox"/> $\leq 0,3$ m

Inclinação média do leito do canal ☐ $\leq 10^\circ$ ☐ Entre 10° e 15° ☐ $\geq 15^\circ$

Obs: _____


QUEDA DE BLOCOS

Bloco na encosta	<input type="checkbox"/> Ausente <input type="checkbox"/> Presente	Marcante: <input type="checkbox"/> Quantidade: _____	<input type="checkbox"/> Dimensão: _____
Lasca na encosta	<input type="checkbox"/> Ausente <input type="checkbox"/> Presente	Marcante: <input type="checkbox"/> Quantidade: _____	<input type="checkbox"/> Dimensão: _____
Descontinuidade*	<input type="checkbox"/> Ausente <input type="checkbox"/> Presente	Marcante: <input type="checkbox"/> Quantidade: _____	<input type="checkbox"/> Dimensão: _____
Blocos na rampa	<input type="checkbox"/> Ausente <input type="checkbox"/> Presente	Marcante: <input type="checkbox"/> Quantidade: _____	<input type="checkbox"/> Dimensão: _____
Descontinuidade aberta	<input type="checkbox"/> Ausente <input type="checkbox"/> Presente	Marcante: <input type="checkbox"/> Quantidade: _____	<input type="checkbox"/> Dimensão: _____
Cicatriz de desprendimento	<input type="checkbox"/> Ausente <input type="checkbox"/> Presente	Marcante: <input type="checkbox"/> Quantidade: _____	<input type="checkbox"/> Dimensão: _____
Raiz na descontinuidade	<input type="checkbox"/> Ausente <input type="checkbox"/> Presente	Marcante: <input type="checkbox"/> Quantidade: _____	<input type="checkbox"/> Dimensão: _____
Água na descontinuidade	<input type="checkbox"/> Ausente <input type="checkbox"/> Presente	Marcante: <input type="checkbox"/> Quantidade: _____	<input type="checkbox"/> Dimensão: _____


* Devem ser avaliadas apenas descontinuidades com mergulho em direção a face da encosta.

Obs: _____

Obs:



FORMULÁRIO DE CAMPO - SETOR DE PERIGO



FOTOS:

1

2

3

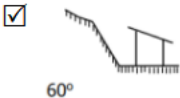
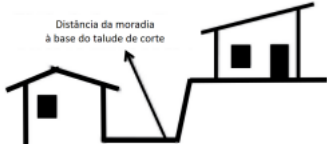
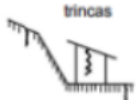
4

QUADRO DE QUALIFICAÇÃO DO PERIGO

PERIGO	APE	APC	Descrição
P1	AD	P1d	São atendidas as condições topográficas e/ou aos critérios de delimitação atingimento dos movimentos gravitacionais de massa. Entende-se que a energia das feições de instabilidades, entretanto casos raros podem ocorrer, de acordo com o tipo de movimento de massa. Não se espera ocorrência de casos raros podem ocorrer. Mantidas as condições existentes no terreno é baixa a possibilidade de deposição do material transportado em uma estação chuvosa normal.
P2	AC	P2c	Atende a todas as condições topográficas e/ou aos critérios de geração dos movimentos gravitacionais de massa. Entende-se que a energia das feições de instabilidades, mas podem ocorrer casos isolados, de acordo com o tipo de movimento de massa. Não se espera ocorrência de casos raros podem ocorrer. Mantidas as condições existentes no terreno é moderada a possibilidade de ocorrência de movimentos gravitacionais em uma estação chuvosa normal.
	AD	P2d	São atendidas as condições topográficas e/ou aos critérios de delimitação atingimento dos movimentos gravitacionais de massa. Entende-se que a energia das feições de instabilidades, mas podem ocorrer casos isolados, de acordo com o tipo de movimento de massa. Não se espera ocorrência de casos raros podem ocorrer. Mantidas as condições existentes no terreno é moderada a possibilidade de deposição do material transportado em uma estação chuvosa normal.
P3	AC	P3c	Atende a todas as condições topográficas e/ou aos critérios de geração dos movimentos gravitacionais de massa. Entende-se que a energia das feições de instabilidades evidentes de acordo com o tipo de movimento de massa. Podem ocorrer registros de geração ou depósitos de movimentos gravitacionais de massa e/ou deposição do material transportado, no período compreendido.
	AD	P3d	São atendidas as condições topográficas e/ou aos critérios de delimitação atingimento dos movimentos gravitacionais de massa. Entende-se que a energia das feições de instabilidades evidentes de acordo com o tipo de movimento de massa. Podem ocorrer registros de geração ou depósitos de movimentos gravitacionais de massa e/ou deposição do material transportado e/ou ocorrência de movimentos gravitacionais de massa, no período compreendido.
P4	AC	P4c	Atende a todas as condições topográficas e/ou aos critérios de geração dos movimentos gravitacionais de massa. Entende-se que a energia das feições de instabilidades marcantes de acordo com o tipo de movimento de massa. É comum registros de geração ou depósitos de movimentos gravitacionais de massa e/ou deposição do material transportado, no período compreendido.

APÊNDICE C: Resultado Seção 1-Edifício Metro

- Roteiro do Ministério das Cidades & IPT

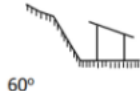
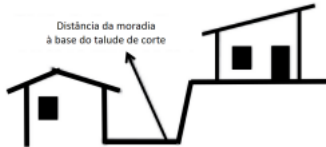
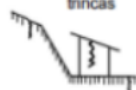

DADOS GERAIS SOBRE AS MORADIAS	
LOCALIZAÇÃO:	Edifício Metro
CONDIÇÃO DE ACESSO À ÁREA:	Boa condição
TIPOS DE MORADIA:	<input checked="" type="checkbox"/> Alvenaria
CARACTERIZAÇÃO LOCAL	
Talude de Corte: altura 12,954 m	<input checked="" type="checkbox"/> 
Dist. da Moradia: 1,26 m da base da encosta/talude	
	
ÁGUA	
Sistema de Drenagem	<input checked="" type="checkbox"/> Satisfatório
Para onde vai o esgoto?	<input checked="" type="checkbox"/> Canalizado
De onde vem a água para uso na moradia?	<input checked="" type="checkbox"/> Prefeitura/ Concessionária
Existe vazamento na tubulação?	<input checked="" type="checkbox"/> Não
VEGETAÇÃO NO TALUDE OU PROXIMIDADES	
<input checked="" type="checkbox"/> Presença de árvore	<input checked="" type="checkbox"/> Vegetação Rasteira
SINAIS DE MOVIMENTAÇÃO (Feições de Instabilidade)	
Trincas <input checked="" type="checkbox"/> no terreno	<input checked="" type="checkbox"/> na moradia
	
Inclinação <input checked="" type="checkbox"/> Árvores	<input checked="" type="checkbox"/> Muros/ paredes "embarrigados"
TIPOS DE PROCESSOS DE INSTABILIZAÇÃO ESPERADOS OU JÁ OCORRIDOS	
Escorregamento <input checked="" type="checkbox"/> no talude natural	
DETERMINAÇÃO DO GRAU DO RISCO	
<input checked="" type="checkbox"/> RISCO ALTO/Manter local em observação	

-Roteiro do GIDES-CPRM

MUNICÍPIO/UF: Rio de Janeiro RJ		LOGRADOURO/ N° Rua Marquês de São Vicente, 225																
BAIRRO/DISTRITO Gávea	CÓDIGO DO SETOR Ed. Metro	UTM E 681040,1902	DATUM SAD69															
EQUIPE Maria Beatriz dos Santos	DATA CADASTRO 25/04/22	UTM N 7457456,2035	ZONA															
VALIDAÇÃO DOS CRITÉRIOS E CONDIÇÕES TOPOGRÁFICAS PLANAR <input checked="" type="checkbox"/> Inclinação > 25° 32° <input checked="" type="checkbox"/> Altura > 5 metros 12,954 m Posição do Topo 36,706 m Posição da Base 23,752 m Posição dos Limites Laterais		INDÍCIOS DE INSTABILIDADE NO TERRENO PLANAR <table> <tr> <td>Trincas no Terreno</td> <td>x</td> <td>Presente</td> </tr> <tr> <td>Árvores Inclinadas</td> <td>x</td> <td>Presente</td> </tr> <tr> <td>Grau Sat./Surgências</td> <td>x</td> <td>Ausente</td> </tr> <tr> <td>Degrau/Subsidência</td> <td>x</td> <td>Ausente</td> </tr> <tr> <td>Cicatriz</td> <td>x</td> <td>Ausente</td> </tr> </table>		Trincas no Terreno	x	Presente	Árvores Inclinadas	x	Presente	Grau Sat./Surgências	x	Ausente	Degrau/Subsidência	x	Ausente	Cicatriz	x	Ausente
Trincas no Terreno	x	Presente																
Árvores Inclinadas	x	Presente																
Grau Sat./Surgências	x	Ausente																
Degrau/Subsidência	x	Ausente																
Cicatriz	x	Ausente																
Obs:Pode-se incluir a instabilização por vibrações produzidas pelo tráfego pesado no Túnel Acústico																		

APÊNDICE D: Resultado Seção 2- RDC (Grupo de Geradores)

-Roteiro do Ministério das Cidades & IPT

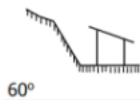
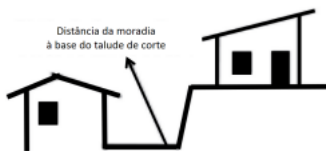

DADOS GERAIS SOBRE AS MORADIAS	
LOCALIZAÇÃO:	Rio Datacentro Geradores
CONDIÇÃO DE ACESSO À ÁREA:	Boa condição
TIPOS DE MORADIA:	<input checked="" type="checkbox"/> Alvenaria
CARACTERIZAÇÃO LOCAL	
Talude de Corte: altura 10,365 m	<input checked="" type="checkbox"/>  60°
Dist. da Moradia: 5,32m da base da encosta/talude	
	
ÁGUA	
Sistema de Drenagem	<input checked="" type="checkbox"/> Satisfatório
Para onde vai o esgoto?	<input checked="" type="checkbox"/> Canalizado
De onde vem a água para uso na moradia?	<input checked="" type="checkbox"/> Prefeitura/ Concessionária
Existe vazamento na tubulação?	<input checked="" type="checkbox"/> Não
VEGETAÇÃO NO TALUDE OU PROXIMIDADES	
<input checked="" type="checkbox"/> Presença de árvore	<input checked="" type="checkbox"/> Vegetação Rasteira
<input checked="" type="checkbox"/> Desmatada	
SINAIS DE MOVIMENTAÇÃO (Feições de Instabilidade)	
Trincas <input checked="" type="checkbox"/> no terreno 	<input checked="" type="checkbox"/> Degraus de Abatimento 
Inclinação <input checked="" type="checkbox"/> Árvores	<input checked="" type="checkbox"/> Cicatriz de escorregamento próxima à moradia
TIPOS DE PROCESSOS DE INSTABILIZAÇÃO ESPERADOS OU JÁ OCORRIDOS	
Escorregamento <input checked="" type="checkbox"/> no talude natural	
DETERMINAÇÃO DO GRAU DO RISCO	
<input checked="" type="checkbox"/> RISCO MUITO ALTO/Providência imediata	

-Roteiro do GIDES-CPRM

MUNICÍPIO/UF: Rio de Janeiro RJ	LOGRADOURO/ N° Rua Marquês de São Vicente, 225																	
BAIRRO/DISTRITO Gávea	CÓDIGO DO SETOR RDC Geradores	UTM E 681106,6007	DATUM SAD69															
EQUIPE Maria Beatriz dos Santos	DATA CADASTRO 25/04/22	UTM N 7457530,9601	ZONA															
<p style="text-align: center;">VALIDAÇÃO DOS CRITÉRIOS E CONDIÇÕES TOPOGRÁFICAS</p> <p>PLANAR</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Inclinação > 25° 35°</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Altura > 5 metros 10,365 m</p> <p>Posição do Topo 34,878 m</p> <p>Posição da Base 24,513 m</p> <p>Posição dos Limites Laterais</p>	<p>INDÍCIOS DE INSTABILIDADE NO TERRENO</p> <p>PLANAR</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 60%;">Trincas no Terreno</td> <td style="width: 5%; text-align: center;">x</td> <td style="width: 35%;">Presente</td> </tr> <tr> <td>Árvores Inclınadas</td> <td style="text-align: center;">x</td> <td>Presente</td> </tr> <tr> <td>Grau Sat./Surgências</td> <td style="text-align: center;">x</td> <td>Ausente</td> </tr> <tr> <td>Degrau/Subsidência</td> <td style="text-align: center;">x</td> <td>Presente</td> </tr> <tr> <td>Cicatriz</td> <td style="text-align: center;">x</td> <td>Presente</td> </tr> </table>			Trincas no Terreno	x	Presente	Árvores Inclınadas	x	Presente	Grau Sat./Surgências	x	Ausente	Degrau/Subsidência	x	Presente	Cicatriz	x	Presente
Trincas no Terreno	x	Presente																
Árvores Inclınadas	x	Presente																
Grau Sat./Surgências	x	Ausente																
Degrau/Subsidência	x	Presente																
Cicatriz	x	Presente																
Obs:Pode-se incluir a instabilização por vibrações produzidas pelo tráfego pesado no Túnel Acústico																		

APÊNDICE E: Seção 3- RDC (Sistema de Refrigeração)

-Roteiro do Ministério das Cidades & IPT

DADOS GERAIS SOBRE AS MORADIAS	
LOCALIZAÇÃO:	Rio Datacentro Refrigeradores
CONDIÇÃO DE ACESSO À ÁREA:	Boa condição
TIPOS DE MORADIA:	<input checked="" type="checkbox"/> Alvenaria
CARACTERIZAÇÃO LOCAL	
Talude de Corte: altura 11,362 m	<input checked="" type="checkbox"/> 
Dist. da Moradia: m da base da encosta/talude	
	
ÁGUA	
Sistema de Drenagem	<input checked="" type="checkbox"/> Satisfatório
Para onde vai o esgoto?	<input checked="" type="checkbox"/> Canalizado
De onde vem a água para uso na moradia?	<input checked="" type="checkbox"/> Prefeitura/ Concessionária
Existe vazamento na tubulação?	<input checked="" type="checkbox"/> Não
VEGETAÇÃO NO TALUDE OU PROXIMIDADES	
<input checked="" type="checkbox"/> Presença de árvore	<input checked="" type="checkbox"/> Vegetação Rasteira
<input checked="" type="checkbox"/> Desmatada	
SINAIS DE MOVIMENTAÇÃO (Feições de Instabilidade)	
<input checked="" type="checkbox"/> Degraus de Abatimento	Inclinação <input checked="" type="checkbox"/> Árvores
	<input checked="" type="checkbox"/> Cicatriz de escorregamento próxima à moradia
TIPOS DE PROCESSOS DE INSTABILIZAÇÃO ESPERADOS OU JÁ OCORRIDOS	
Escorregamento <input checked="" type="checkbox"/> no talude natural	
DETERMINAÇÃO DO GRAU DO RISCO	
<input checked="" type="checkbox"/> RISCO ALTO/Manter local em observação	

-Roteiro do GIDES-CPRM

MUNICÍPIO/UF: Rio de Janeiro RJ		LOGRADOURO/ N° Rua Marquês de São Vicente, 225	
BAIRRO/DISTRITO Gávea		CÓDIGO DO SETOR RDCRefrigeradores	UTM E 681136,524
EQUIPE Maria Beatriz dos Santos		DATA CADASTRO 25/04/22	UTM N 7457535,123
VALIDAÇÃO DOS CRITÉRIOS E CONDIÇÕES TOPOGRÁFICAS		INDÍCIOS DE INSTABILIDADE NO TERRENO	
PLANAR		PLANAR	
<input checked="" type="checkbox"/> Inclinação > 25° 37°		Trincas no Terreno x Ausente	
<input checked="" type="checkbox"/> Altura > 5 metros 11,362 m		Árvores Inclinação x Presente	
Posição do Topo 34,599 m		Grau Sat./Surgências x Ausente	
Posição da Base 23,237 m		Degrau/Subsidência x Presente	
Posição dos Limites Laterais		Cicatriz x Presente	
Obs: Pode-se incluir a instabilização por vibrações produzidas pelo tráfego pesado no Túnel Acústico			

APÊNDICE F: Propriedades Índices

Autor	Prof. (m)	γ_d (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)
Escalaya (2016)	0,25	13,74	18,63
Escalaya (2016)	0,25	14,62	19,19
Abrantes (2019)	0,25	13,8	18,63
Duarte (2004)	0,65	13,85	18,63
Esposito (2011)	1	13,2	18,03
Espinoza (2010)	1	14,44	19,09
Soares (2005)	1,25	13,99	18,68
Soares (2005)	1,25	13,93	18,65
Espinoza (2010)	1,25	14,23	18,87
Espinoza (2010)	1,25	12,50	17,75
Daylac (1994)	3	13,34	18,33
Marinho (1986)	3,6	14,48	19,01
Marinho (1986)	3,6	14,54	19,06
Marinho (1986)	5,6	14,5	19,07
Daylac (1994)	6	14,37	18,99
Marinho (1986)	7,6	14,17	18,76
Marinho (1986)	9,6	12,97	18,05
Daylac (1994)	12	13,98	18,57

APÊNDICE G: Parâmetros de Resistência

Autor	Solo	Prof. (m)	Ensaio	Condição da amostra	c' (kPa)	ϕ' (°)
Escalaya 2016	Maduro	0 a 0,5	Cisalhamento direto	Inundada	12,98	27,40
Soares 2005		1 a 1,5	Cisalhamento direto	Submersa	10,25	24,50
Escalaya 2016		0 a 0,5	Triaxial	Saturada	11,80	29,50
Espinoza 2010		1 a 1,5	Triaxial	Saturada	0	33,70
Marinho 1986		3,6 e 5,6	Triaxial	Natural	36,70	36,80
Esposito 2010	Jovem	1	Cisalhamento direto	Submersa	16,30	43,60
Marinho 1986		7,6 e 9,6	Triaxial	Natural	58,90	28,05

APÊNDICE H: Tabela da Distribuição Normal Padrão

TABLE 1.11.1 Standardized Normal Variate $N(0, 1)$

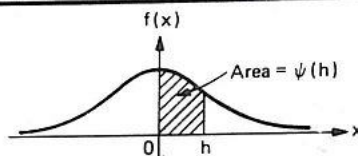
$$\psi(h) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^h \exp\left[-\frac{x^2}{2}\right] dx,$$

$$h = \left| \frac{\bar{x} - x}{\sigma[x]} \right|$$

$$\psi(h) \approx \frac{1}{2} - \frac{1}{h}(2\pi)^{-1/2} \exp\left[-\frac{h^2}{2}\right], \quad h > 2.2$$

APROX.

Example: $\psi(1.53) = 0.436992$



h	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	.003969	.007978	.011966	.015953	.019939	.023922	.027903	.031881	.035856
.1	.039828	.043795	.047758	.051717	.055670	.059618	.063559	.067495	.071424	.075345
.2	.079260	.083166	.087064	.090954	.094835	.098706	.102568	.106420	.110251	.114092
.3	.117911	.121720	.125516	.129300	.133072	.136831	.140576	.144309	.148027	.151732
.4	.155422	.159097	.162757	.166402	.170031	.173645	.177242	.180822	.184386	.187933
.5	.191462	.194974	.198466	.201944	.205401	.208840	.212260	.215661	.219043	.222405
.6	.225747	.229069	.232371	.235653	.238914	.242154	.245373	.248571	.251748	.254903
.7	.258036	.261148	.264238	.267305	.270350	.273373	.276373	.279350	.282305	.285236
.8	.288145	.291030	.293892	.296731	.299546	.302337	.305105	.307850	.310570	.313267
.9	.315940	.318589	.321214	.323814	.326391	.328944	.331472	.333977	.336457	.338913
1.0	.341345	.343752	.346136	.348495	.350830	.353141	.355428	.357690	.359929	.362143
1.1	.364334	.366500	.368643	.370762	.372857	.374928	.376976	.379000	.381000	.382977
1.2	.384930	.386861	.388768	.390651	.392512	.394350	.396165	.397958	.399727	.401475
1.3	.403200	.404902	.406582	.408241	.409877	.411492	.413085	.414657	.416207	.417736
1.4	.419243	.420730	.422196	.423641	.425066	.426471	.427855	.429219	.430563	.431888
1.5	.433193	.434476	.435745	.436992	.438220	.439429	.440620	.441792	.442947	.444083
1.6	.445201	.446301	.447384	.448449	.449497	.450529	.451543	.452540	.453521	.454486
1.7	.455435	.456367	.457284	.458185	.459070	.459941	.460796	.461636	.462462	.463273
1.8	.464070	.464852	.465620	.466375	.467116	.467843	.468557	.469258	.469946	.470621
1.9	.471283	.471933	.472571	.473197	.473810	.474412	.475002	.475581	.476148	.476705
2.0	.477250	.477784	.478308	.478822	.479325	.479818	.480301	.480774	.481237	.481691
2.1	.482136	.482571	.482997	.483414	.483823	.484222	.484614	.484997	.485371	.485738
2.2	.486097	.486447	.486791	.487126	.487455	.487776	.488089	.488396	.488696	.488989
2.3	.489276	.489556	.489830	.490097	.490358	.490613	.490863	.491106	.491344	.491576
2.4	.491802	.492024	.492240	.492451	.492656	.492857	.493053	.493244	.493431	.493613
2.5	.493790	.493963	.494132	.494297	.494457	.494614	.494766	.494915	.495060	.495201
2.6	.495339	.495473	.495604	.495731	.495855	.495975	.496093	.496207	.496319	.496427
2.7	.496533	.496636	.496736	.496833	.496928	.497020	.497110	.497197	.497282	.497365
2.8	.497445	.497523	.497599	.497673	.497744	.497814	.497882	.497948	.498012	.498074
2.9	.498134	.498193	.498250	.498305	.498359	.498411	.498462	.498511	.498559	.498605
3.0	.498650	.498694	.498736	.498777	.498817	.498856	.498893	.498930	.498965	.498999
3.1	.499032	.499065	.499096	.499126	.499155	.499184	.499211	.499238	.499264	.499289
3.2	.499313	.499336	.499359	.499381	.499402	.499423	.499443	.499462	.499481	.499499
3.3	.499517	.499534	.499550	.499566	.499581	.499596	.499610	.499624	.499638	.499651
3.4	.499663	.499675	.499687	.499698	.499709	.499720	.499730	.499740	.499749	.499758
3.5	.499767	.499776	.499784	.499792	.499800	.499807	.499815	.499822	.499828	.499835
3.6	.499841	.499847	.499853	.499858	.499864	.499869	.499874	.499879	.499883	.499888
3.7	.499892	.499896	.499900	.499904	.499908	.499912	.499915	.499918	.499922	.499925
3.8	.499928	.499931	.499933	.499936	.499938	.499941	.499943	.499946	.499948	.499950
3.9	.499952	.499954	.499956	.499958	.499959	.499961	.499963	.499964	.499966	.499967