



**Universidade do Estado do Rio de Janeiro**  
Centro de Tecnologia e Ciências  
Faculdade de Engenharia

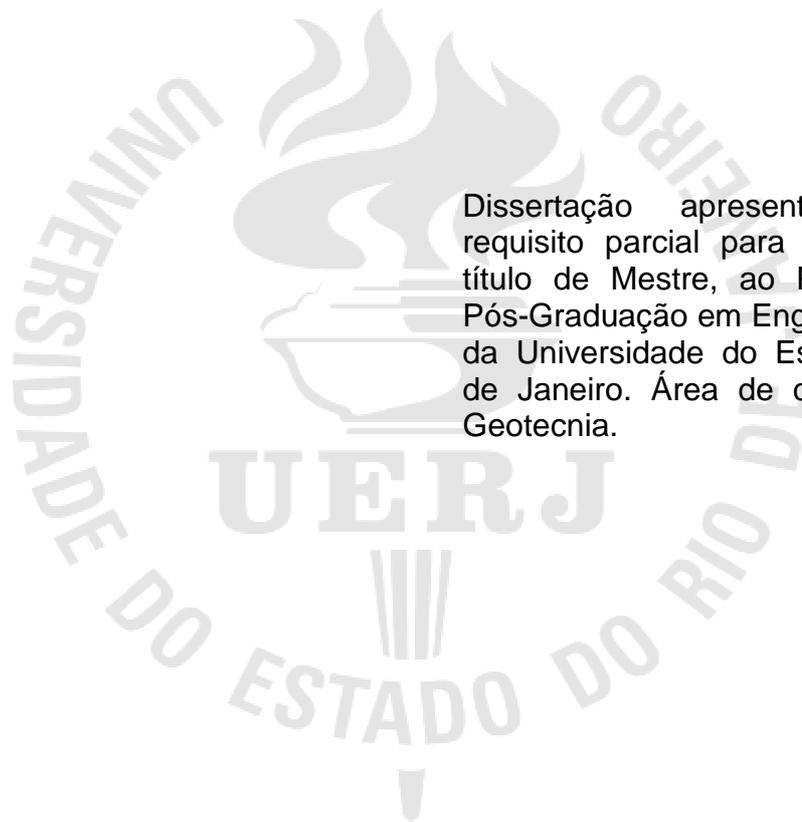
Samuel Ribeiro de Almeida

**Evolução temporal do risco a movimentos de massa incorporando a  
influência da ocupação antrópica e de obras de estabilização na  
comunidade da Rocinha – RJ**

Rio de Janeiro  
2017

Samuel Ribeiro de Almeida

**Evolução temporal do risco a movimentos de massa incorporando a influência da ocupação antrópica e de obras de estabilização na comunidade da Rocinha – RJ**



Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Geotecnia.

Orientadores: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Denise Maria Soares Gerscovich

Prof. Ph.D. Marcus Peigas Pacheco

Rio de Janeiro

2017

CATALOGAÇÃO NA FONTE  
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/B

A447 Almeida, Samuel Ribeiro de.  
Evolução temporal do risco a movimentos de massa incorporando a influência da ocupação antrópica e de obras de estabilização na comunidade da Rocinha - RJ / Samuel Ribeiro de Almeida. – 2017.  
183f.

Orientadores: Denise Maria Soares Gerscovich e Marcus Peigas Pacheco.

Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia.

1. Engenharia Civil - Teses. 2. Catástrofes naturais - Teses. 3. Escorregamentos (Geologia) - Teses. 4. Taludes (Mecânica do solo) - Teses. I. Gerscovich, Denise Maria Soares. II. Pacheco, Marcus Peigas. III. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia. IV. Título.

CDU 624.131.53

Bibliotecária: Júlia Vieira – CRB7/6022

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta tese, desde que citada a fonte.

---

Assinatura

---

Data

Samuel Ribeiro de Almeida

**Evolução temporal do risco a movimentos de massa incorporando a influência da ocupação antrópica e de obras de estabilização na comunidade da Rocinha – RJ**

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Geotecnia.

Aprovado em: 15 de setembro de 2017.

Banca Examinadora:

---

Prof<sup>a</sup>. Dra. Denise Maria Gerscovich (Orientadora)  
Faculdade de Engenharia – UERJ

---

Prof. Dr. Marcus Peigas Pacheco (Orientador)  
Faculdade de Engenharia – UERJ

---

Prof<sup>a</sup>. Dra. Ana Cristina Castro Fontenla Sieira  
Faculdade de Engenharia – UERJ

---

Prof. Dr. Marcos Barreto de Mendonça.  
Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ

---

Prof. Dr. Juliano de Lima.  
Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca –  
CEFET/RJ

Rio de Janeiro

2017

## DEDICATÓRIA

A Deus, à minha esposa, à minha família, aos meus amigos e às vítimas de desastres.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por, simplesmente, tudo.

À minha amada esposa Cristini Almeida por todo amor, compreensão e orações. Por sempre estar ao meu lado. E à sua família sempre atenciosa.

Aos meus pais Lourivaldo (*in memorian*) e Jeruza por toda dedicação de suas vidas; e, aos demais familiares que, de uma maneira ou de outra, me incentivaram.

Aos meus orientadores Denise e Marcus Pacheco por todo conhecimento compartilhado. Espero um dia poder lecionar tão bem quanto vocês.

Aos meus amigos: Israel por todo apoio, ajuda e amizade de sempre; ao Rodolfo, Alessandro e Ronaldo por todo apoio emocional e espiritual, além de um conhecimento ainda mais valioso que me proporcionaram nesses últimos dois anos; e, ao Engenheiro Francesco Lugli por toda compreensão e incentivo.

Aos amigos de mestrado que comigo formaram o grupo “Éramos Seis”. Esse companheirismo foi fundamental para a continuação de meus estudos.

Ao engenheiro Juliano por toda atenção, apoio e disponibilidade, as quais foram fundamentais para a conclusão desta pesquisa.

Ao geólogo Euci Pires e a toda equipe da Fundação GEO-RIO que me receberam de braços abertos, dando todo auxílio necessário a esta árdua pesquisa.

Aos demais professores da UERJ por todo conhecimento compartilhado e dedicação ao longo de todos esses anos. E a todos que de algum modo conheceram minha trajetória.

Sem esmorecer para não desmerecer.

*Oswaldo Cruz*

## RESUMO

ALMEIDA, Samuel R. *Evolução temporal do risco a movimentos de massa incorporando a influência da ocupação antrópica e de obras de estabilização na comunidade da Rocinha – RJ*. 2017. 183f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

Em áreas urbanas, os movimentos de massa podem causar sérios danos à sociedade, sejam estes materiais e/ou humanos. Nesse contexto, a comunidade da Rocinha, atualmente reconhecida como um bairro, vem sendo submetida ao longo dos anos a eventos de movimento de massa, algumas vezes catastróficos. Segundo Censo 2010 do (IBGE), a Rocinha possui cerca de 70 mil habitantes distribuídos em mais de 25 mil domicílios, evidenciando a necessidade de um gerenciamento de risco intensivo dessa região. Portanto torna-se indispensável o estabelecimento de ações por parte do poder público que visam reduzir perdas materiais e humanas. Dentre essas ações estão: (i) delimitação de áreas de risco; (ii) definição de limiares de intensidade de chuva capazes de deflagrar os movimentos de massa; (iii) implantação de sistemas de alerta nos municípios de forma que a população possa ser protegida. A definição de áreas de risco normalmente baseia-se em critérios observacionais. Em outras palavras, engenheiros e/ou geólogos percorrem as encostas e estabelecem as áreas com alto, médio e baixo potencial de deslizamento. A partir desse quadro, classificam-se as áreas de alto, médio e baixo risco e as ações mitigadoras passam a ter um critério de prioridade. Apesar do trabalho intensivo, não se tem um estudo da eficácia das medidas mitigadoras no sentido de efetivamente alterar os limites regionais das áreas de risco. Este trabalho tem como objetivo estudar a evolução temporal do mapeamento de risco a deslizamentos incorporando a influência da ocupação antrópica e das obras de estabilização na comunidade. Para isso avaliou-se a relação: redução de risco vs investimentos governamentais através dos mapas de suscetibilidade da GEO-RIO e dos mapas de probabilidades de deslizamentos desta pesquisa. Com esses dados comparou-se sua evolução com as obras de contenção realizadas no local. O estudo também abordou os laudos das ocorrências na comunidade, relacionados aos deslizamentos ocorridos nos últimos 40 anos e selecionando aqueles em que havia informações mais detalhadas sobre os eventos para a geração de novos mapas baseados em estudos probabilísticos que visam reduzir as subjetividades das classificações dos níveis de risco, dando origem a mapas de probabilidades atualizadas de deslizamentos. A análise geral dos mapas apresenta uma redução do perfil de risco encontrado ao longo dos anos, influenciado pelas obras de estabilização realizadas sendo ligeiramente contrabalançado pela ocupação antrópica crescente na região.

Palavras-chave: Desastres ambientais; Evolução histórica; Mapa de probabilidades de deslizamentos; Obras de estabilização; Ocupação antrópica.

## ABSTRACT

ALMEIDA, Samuel R. *Temporal evolution of the risk of landslides incorporating the influence of anthropic occupation and stabilization works in the community of Rocinha - RJ*. 2017. 183f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

In urban areas, mass movements can cause serious damage to society, whether these materials or humans. In this context, the Rocinha community, currently known as a neighborhood, has been undergoing mass movements events over the years, sometimes catastrophically. According to the 2010 IBGE Census, Rocinha has about 70 thousand inhabitants distributed in more than 25 thousand households, evidencing the need for an intensive risk management at this region. So, actions that the goals are to reduce materials and human's loss by the government turns out to be indispensable. Among these actions are: (i) delimitation of risky areas; (ii) definition of rain intensity thresholds capable of deflagrating mass movements; (iii) implementation of alerting systems in the counties so that the population can be protected. The definition of risky areas is based on observational criteria. In other words, whether engineers or geologists go through the slopes and establish the areas with high, medium and low potential for landslides. From this table, the high, medium and low risky areas are classified and mitigating actions are given a priority criterion. Despite intensive work, there is no research about the effectiveness of mitigating steps to effectively change the regional boundaries of risky areas. This work aims to study the temporal evolution of the risk mapping to landslides incorporating the influence of anthropic occupation and stabilization works in the community. To do so, the following relation was evaluated: risk reduction *versus* government investments through landslide susceptibility maps of GEO-RIO and the landslide probability maps of this research. With this data, it was compared its evolution with the containment works carried out in the place. The study also addressed the reports of occurrences in the community related to the landslides that occurred in the last 40 years and selecting those in which there was more detailed information about the events for the generation of new maps based on probabilistic studies that aim to reduce the subjectivities of the classification of levels of risk, giving rise to updated sliding probability maps. The general analysis of the maps presents a reduction of the risk profile found over the years, influenced by the stabilization works carried out, being slightly counterbalanced by the increasing anthropic occupation in the region.

Keywords: Environmental disasters; Historic evolution; Landslide probability maps; Stabilization works; Anthropic occupation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Capa dos Jornais de 1966, 1988 e 1996 (Dereczynski et al, 2017) .....	26
Figura 2: Deslizamento de encosta, 1966 (O Globo, 2017) .....	26
Figura 3: Emboque/desemboque do Túnel Dois Irmãos, 1996 (O Globo, 2017).....	27
Figura 4: Região do Laboriaux na encosta da Rocinha após deslizamentos de 2010. (D'Orsi et al, 2016) .....	28
Figura 5: Mapa de probabilidades atualizadas de deslizamento para 2014 (Lima, 2017) .....	33
Figura 6: Perfil de intemperismo de um solo residual (FEC-UNICAMP, 2007).....	34
Figura 7: Classificação de taludes quanto à forma e resposta geodinâmica ao escoamento superficial (Gerscovich, 2012) .....	34
Figura 8: Exemplos de movimentos de massa (Marshak, 2011).....	37
Figura 9: Ilustração da zona fraca e superfície de cisalhamento (Gerscovich, 2012)	41
Figura 10: Condição de ruptura por escorregamento (Gerscovich, 2012).....	41
Figura 11: Mapa de localização do Maciço da Tijuca (Fernandes, 1998) .....	49
Figura 12: Vista aérea da Rocinha (Google Maps, 2017) .....	50
Figura 13: Vista aérea da Rocinha (Google Maps, 2017) .....	50
Figura 14: Vista panorâmica da Rocinha (Portal R7, 2016) .....	51
Figura 15: Foto histórica da Rocinha na década de 1930 (Lucena, 2016).....	52
Figura 16: Esquema da Rocinha com seus 25 sub-bairros. (Rio Then, 2014) .....	53
Figura 17: Diagrama de Venn para a operação união dos eventos A e B.....	59
Figura 18: Diagrama de Venn para a operação interseção dos eventos A e B.....	59
Figura 19: Diagrama de Venn para o evento complementar.....	60
Figura 20: Diagrama de Venn para eventos mutuamente exclusivos .....	60
Figura 21: Teorema da união .....	64
Figura 22: Resolução pelo diagrama de Venn .....	65
Figura 23: Teorema da união para 3 eventos.....	66
Figura 24: Comparação entre as duas visões do espaço amostral: a) como uma solução não homogênea; b) como um mosaico.....	71
Figura 25: Sequência de eventos na retirada das amostras de granito .....	77
Figura 26: Tabela da Distribuição Normal Padronizada (USP-Veduca, 2016) .....	95

Figura 27: Esquema do cálculo da probabilidade a partir da variável Z (USP-Veduca, 2016) .....	95
Figura 28: Esquema típico de: a) distribuição lognormal; b) distribuição normal. ....	96
Figura 29: Distribuição retangular .....	99
Figura 30: Distribuição triangular simétrica .....	99
Figura 31: Distribuição triangular com assimetria à esquerda.....	100
Figura 32: Distribuição triangular com assimetria à direita.....	100
Figura 33: Distribuição da banheira (Harr, 1987) .....	101
Figura 34: Ábaco para a obtenção de $\alpha$ e $\beta$ (Harr, 1987).....	104
Figura 35: Ábaco para obtenção de $\beta(2)$ e $\beta^2(1)$ (Harr, 1987).....	105
Figura 36: Mapa de distribuições de probabilidades de Pearson (Harr, 1987).....	105
Figura 37: Algumas representações esquemáticas da distribuição beta em função de seus parâmetros $\alpha$ e $\beta$ (Harr, 1987) .....	106
Figura 38: Distribuição beta para o exemplo 8 (Harr, 1987).....	109
Figura 39: Página inicial do sistema SCO-RIO (GEO-RIO, 2016).....	111
Figura 40: Página para a inserção de dados para a consulta do item desejado; período analisado 03/2008. (GEO-RIO, 2016) .....	112
Figura 41: Descrição do serviço e do custo unitário. (GEO-RIO, 2016) .....	112
Figura 42: Nova pesquisa para o período de 11/2016. (GEO-RIO, 2016).....	113
Figura 43: Custo unitário do serviço no período de 11/2016. (GEO-RIO, 2016).....	113
Figura 44: Laudo de vistoria adotado pela Defesa Civil Municipal (Lima, 2017) .....	117
Figura 45: Página 1 do laudo adotado pela GEO-RIO até 2009 (DLF, GEO-RIO, 1977) .....	118
Figura 46: Página 2 do laudo adotado pela GEO-RIO até 2009 (DLF, GEO-RIO, 1977) .....	119
Figura 47: Página 3 do laudo adotado pela GEO-RIO até 2009 (DLF, GEO-RIO, 1977) .....	119
Figura 48: Página 1 das fichas de campo da GEO-RIO (Lima, 2017).....	120
Figura 49: Página 2 das fichas de campo da GEO-RIO (Lima, 2017).....	121
Figura 50: Página 1 dos laudos da GEO-RIO (Lima, 2017) .....	122
Figura 51: Página 2 dos laudos da GEO-RIO (Lima, 2017) .....	123
Figura 52: Locais ( $L_n$ ) para o período de 1973 a 2014 (Lima, 2017 - adaptado).....	128
Figura 53: Vista da canaleta da escarpa do Morro Dois Irmãos (Lima, 2017).....	136

Figura 54: Detalhe típico de canaleta sem degraus em console-95 x 50 cm (GEO-RIO II, 2014).....	136
Figura 55: Estimativa de comprimento para Canaleta da escapa do Morro Dois Irmãos (Google Earth, 2016).....	137
Figura 56: Remoção da vegetação (GEO-RIO, 2008).....	138
Figura 57: Limpeza do trecho concluído (GEO-RIO, 2008).....	138
Figura 58: Serviço iniciado (GEO-RIO, 2008) .....	138
Figura 59: Serviços em andamento (GEO-RIO, 2008).....	138
Figura 60: Local antes da estabilização do talude (GEO-RIO, 2008).....	139
Figura 61: Local após a estabilização do talude (GEO-RIO, 2008).....	139
Figura 62: Vista do local antes da obra (GEO-RIO, 2008) .....	139
Figura 63: Vista do local após as obras (GEO-RIO, 2008).....	139
Figura 64: Limpeza, retirada de lixo e regularização de talude (GEO-RIO I, 2011) .....	143
Figura 65: Trecho com concreto projetado e viga de concreto armado estaqueada, concluídos (GEO-RIO I, 2011) .....	143
Figura 66: Vista da área à montante da casa do Sr. Moacyr antes das intervenções. (GEO-RIO I, 2011) .....	143
Figura 67: Vista da área à montante da casa do sr. Moacyr após as intervenções (GEO-RIO I, 2011) .....	143
Figura 68: Vista do local antes das intervenções. (GEO-RIO I, 2011) .....	144
Figura 69: Vista do local durante a finalização das intervenções (GEO-RIO I, 2011) .....	144
Figura 70: Vista do local antes das intervenções (GEO-RIO I, 2011) .....	144
Figura 71: Vista do local após as intervenções (GEO-RIO I, 2011) .....	144
Figura 72: Vista do local antes das intervenções (GEO-RIO I, 2011) .....	145
Figura 73: Vista do local na finalização das obras (GEO-RIO I, 2011).....	145
Figura 74: Vista do talude à montante do túnel antes das intervenções (GEO-RIO I, 2011) .....	145
Figura 75: Vista do local após as intervenções. (GEO-RIO I, 2011) .....	145
Figura 76: Vista do local antes das intervenções. (GEO-RIO I, 2011) .....	146
Figura 77: Vista do local após a remoção de lixo e detritos (GEO-RIO I, 2011) .....	146
Figura 78: Portão Vermelho – vista de trecho para construção de cortina e contrafortes atirantados – início da execução das intervenções (GEO-RIO II, 2011) .....	147

Figura 79: Portão Vermelho – vista geral da cortina atirantada – após as intervenções (GEO-RIO II, 2011) .....	147
Figura 80: Perfuração de tirantes (GEO-RIO III, 2011) .....	148
Figura 81: Cortina atirantada finalizada (GEO-RIO III, 2011) .....	148
Figura 82: Carta de setorização de risco do município do Rio de Janeiro – 1991 (GEO-RIO, 1991) .....	151
Figura 83: Carta de setorização de risco da favela da Rocinha – 1992 (GEO-RIO, 1992) .....	152
Figura 84: Mapa de suscetibilidade da Rocinha – 2011 (GEO-RIO IV, 2011).....	153
Figura 85: Mapa de suscetibilidade da Rocinha – 2012 (GEO-RIO II, 2012) .....	154
Figura 86: Mapa de suscetibilidade da Rocinha – 2013 (GEO-RIO II, 2013) .....	155
Figura 87: Mapa de suscetibilidade da Rocinha – 2014 (GEO-RIO III, 2014) .....	156
Figura 88: Mapa de suscetibilidade da Rocinha – 2015 ( Fonte: GEO-RIO, 2015).157	
Figura 89: Mapa de probabilidades atualizadas de deslizamentos da Rocinha – 2008 (O próprio autor, 2017) .....	158
Figura 90: Mapa de probabilidades atualizadas de deslizamentos da Rocinha – 2009 (O próprio autor, 2017) .....	159
Figura 91: Mapa de probabilidades atualizadas de deslizamentos da Rocinha – 2010 (O próprio autor, 2017) .....	160
Figura 92: Mapa de probabilidades atualizadas de deslizamentos da Rocinha – 2011 (O próprio autor, 2017) .....	161
Figura 93: Mapa de probabilidades atualizadas de deslizamentos da Rocinha – 2012 (O próprio autor, 2017) .....	162
Figura 94: Mapa de probabilidades atualizadas de deslizamentos da Rocinha – 2013 (O próprio autor, 2017) .....	163
Figura 95: Mapa de probabilidades atualizadas de deslizamentos da Rocinha – 2014 (O próprio autor, 2017) .....	164
Figura 96: (.a) Rocinha vista por imagem do satélite Landsat 5 de 1984 da NASA (NASA, Landsat 5, 1984). (b) Rocinha vista por imagem do satélite Landsat 8 de 2016 da NASA (NASA, Landsat 8, 2016) .....	165
Figura 97: Evolução da quantidade de habitantes por áreas de probabilidades alta, média e baixa de deslizamentos .....	172
Figura 98: Modificação das zonas de probabilidade alta, média e baixa de deslizamentos ao longo do tempo.....	172

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Eventos de destaque no Rio de Janeiro.....	27
Tabela 2: Resumo divulgado em 08/04/2010 sobre os desastres no Estado do Rio de Janeiro (Folha de São Paulo, 2010).....	28
Tabela 3: Resumo das principais legislações urbanísticas da cidade do Rio de Janeiro no século XX. (Lacerda & Rosa, 1997).....	29
Tabela 4: Classificação de perigo (UN-ISR, 2004) .....	30
Tabela 5: Classificação de movimentos de massa proposta por (Varnes, 1978) .....	35
Tabela 6: Características dos principais grandes grupos de processos de escorregamento (Augusto Filho, 1992) .....	36
Tabela 7: Classificação dos fatores deflagradores dos movimentos de massa (Adaptada de Varnes 1978) .....	39
Tabela 8: Agentes predisponentes e suas subdivisões (Guidicini & Nieble, 1984) ...	40
Tabela 9: Agentes efetivos e suas subdivisões (Guidicini & Nieble, 1984) .....	40
Tabela 10: Valores de UC para estimativas dos custos de obras (GEO-RIO II, 2014) .....	47
Tabela 11: Sub-bairros da Rocinha.....	53
Tabela 12: Distribuição percentual de material coletado e confiável.....	74
Tabela 13: Equações de correspondência entre a distribuição lognormal e a normal .....	97
Tabela 14: Critérios para a classificação dos riscos das ocorrências com base na avaliação dos laudos de ocorrência da GEO-RIO (Lima, 2017).....	124
Tabela 15: Coordenadas dos Locais/Setores ( $L_n$ ) (Lima, 2017).....	126
Tabela 16: Planilha utilizada para cálculo de probabilidades de ruína para ocorrências acumuladas entre 1973 e 2008 (Lima, 2017 – adaptado).....	130
Tabela 17: Evolução do percentual acumulado de ocorrências de acordo com os níveis de risco desde o ano de 1973.....	132
Tabela 18: Intervenções realizadas entre 2008 e 2009 na Rocinha sob o Processo 06-100597-2008 (GEO-RIO, 2008) .....	137
Tabela 19: Principais processos com obras na Rocinha após os eventos chuvosos de 2010 .....	140
Tabela 20: Intervenções do Processo 06-100934.2010 (GEO-RIO I, 2010) .....	141

Tabela 21: Resumo de processos e obras levantadas.....	149
Tabela 22: Dados gerais estimados para a Rocinha entre 1991 e 2015.....	166
Tabela 23: Modificação das áreas de suscetibilidade alta a deslizamentos baseada nos mapas de base empírica da GEO-RIO.....	168
Tabela 24: Modificação das áreas de alta probabilidade de deslizamentos baseada nos mapas de probabilidades atualizadas .....	168
Tabela 25: Comparação de custos per capita .....	169

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AFP	Agence France Presse
AP	Associated Press
CBMERJ	Corpo de Bombeiros Militar do Rio de Janeiro
Cemaden Nacional	Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais
CEMADEN- RJ	Centro Estadual de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais
Cenad	Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres
CEPED	Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil
COR	Centro de Operações Rio
DGDEC	Departamento Geral de Defesa Civil
DLF	Diretoria de Fiscalização e Licenciamento
ECP	Estado de Calamidade Pública
FGV	Fundação Getúlio Vargas
FIPE	Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas
FS	Fator de Segurança
GEO-RIO	Fundação Instituto de Geotécnica do Município do Rio de Janeiro
IAEG	International Association of Engineering Geology and the Environment
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICC	Índice da Construção Civil
IGP	Índice Geral de Preços
IDW	Inverse Distance Weighted
IML	Instituto Médico Legal
INPC	Índice Nacional de Preços ao Consumidor
Inpe	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPC	Índice de Preços ao Consumidor
IPCA	Índice de Preços ao Consumidor Amplo
ISDR	International Strategy for Disasters Reduction

JTC	Joint Technical Committee on Landslides and Engineered Slopes
MI	Ministério da Integração Nacional
ONU	Organização das Nações Unidas
PAC	Programa de Aceleração do Crescimento
SANF	Sistema nacional de alerta para deslizamentos de terra induzida por efeito de chuva
SCO-RIO	Sistema de Custos para Obras e Serviços de Engenharia
SE	Situação de Emergência
SEASDH	Secretaria de Estado de Assistência Social e Direitos Humanos
SEDEC	Secretaria de Estado e Defesa Civil
SIEDEC	Sistema Estadual de Defesa Civil
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SINPDEC	Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil
SIRGAS 2000	Sistema de Referência Geocêntrico das Américas
UC	Unidades de Contenção
UERJ	Universidade do Estado do Rio de Janeiro
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UN	United Nations
UPP	Unidade de Polícia Pacificadora
UTM	Universal Transversa de Mercator

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\alpha$	Número de sucessos
$a$	Aceleração
$A$	evento
$\beta$	Número de insucessos
$E(X)^2$	Variância para o caso discreto
$E(X^2)$	Variância para o caso contínuo
$F$	Força
$F(X)$	Função repartição (acumulada)
$FS$	Fator de Segurança
$I$	Intensidades horárias de chuva
$I$	Intensidade média de chuvas Intensidade
$M$	Massa
$P$	Precipitação total máxima
$P(A)$	Probabilidade de ocorrência do evento $A$
$P(\Phi)$	Probabilidade do evento impossível
$S$	Espaço amostral
$U$	União
$\cap$	Interseção
$\bar{A}$	Evento complementar de $A$
$\varepsilon$	Experimento
$\mu$	Média
$\sigma$	Desvio padrão
$\sigma^2$	Variância
$T_f$	Resistência ao Cisalhamento
$T_{mob}$	Tensões cisalhantes mobilizadas

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>21</b>
<b>1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>25</b>
1.1 Desastres históricos no Rio de Janeiro.....	25
1.2 Conceitos gerais .....	30
1.3 Taludes, movimentos de massa e seus agentes causadores.....	33
1.3.1 Taludes e encostas.....	33
1.3.2 Movimentos de massa .....	35
1.3.3 Agentes causadores .....	38
1.4 Cálculo de custo no tempo .....	42
1.4.1 Considerações básicas sobre custos .....	42
1.4.2 Considerações básicas sobre viabilidade de empreendimentos .....	44
1.4.3 Sistema de Custos para Obras e Serviços de Engenharia – SCO-RIO.....	46
<b>2 ÁREA DE ESTUDO: ROCINHA</b> .....	<b>49</b>
2.1 Geografia geral .....	49
2.2 Ocupação antrópica.....	52
<b>3 CONCEITOS DE PROBABILIDADE</b> .....	<b>54</b>
3.1 Probabilidade e engenharia civil .....	54
3.2 Fenômenos, experimentos e modelos matemáticos.....	55
3.2.1 Modelos matemáticos determinísticos .....	56
3.2.2 Modelos matemáticos probabilísticos .....	56
3.3 Noções fundamentais da Teoria dos Conjuntos .....	57
3.3.1 Espaço amostral e eventos.....	57
3.3.2 Operações com eventos .....	58
3.3.2.1 Operação união ( $A \cup B$ ) .....	59
3.3.2.2 Operação interseção ( $A \cap B$ ).....	59
3.3.2.3 Operação complementar ( $\bar{A}$ ) .....	59
3.3.2.4 Eventos mutuamente exclusivos ( $A \cap B = \Phi$ ) e eventos independentes.....	60
3.4 Definições de probabilidade.....	60
3.4.1 Definição clássica (Harr, 1987), (USP-Veduca, 2016).....	61
3.4.2 Definição frequencialista (USP-Veduca, 2016).....	61
3.4.3 Definição axiomática (Harr, 1987), (USP-Veduca, 2016) .....	62

3.4.4	Definição subjetiva (USP-Veduca, 2016).....	63
3.5	Teoremas gerais da Probabilidade .....	63
3.5.1	Teorema 1: A probabilidade do evento impossível é zero (Meyer, 1983), (USP-Veduca, 2016).....	63
3.5.2	Teorema 2: Teorema do evento complementar ( $\bar{A}$ ) (Meyer, 1983), (USP- Veduca, 2016) .....	64
3.5.3	Teorema 3: Teorema da união (Meyer, 1983), (USP-Veduca, 2016) .....	64
3.5.4	Teorema 4: Se $A \subset B$ , então $P(A) \leq P(B)$ (Meyer, 1983) .....	67
3.5.5	Probabilidade condicionada (Harr, 1987), (Meyer, 1983), (USP-Veduca, 2016) .....	67
3.5.6	Teorema 5: Teorema do produto (Meyer, 1983), (USP-Veduca, 2016).....	70
3.5.7	Teorema 6: Teorema da probabilidade total (Meyer, 1983), (USP-Veduca, 2016).....	71
3.5.8	Teorema 7: Teorema de Bayes (Harr, 1987), (USP-Veduca, 2016).....	75
3.6	Funções, parâmetros e suas propriedades.....	78
3.6.1	Variáveis aleatórias .....	78
3.6.2	Função probabilidade, função densidade de probabilidade e função repartição (USP-Veduca, 2016).....	78
3.6.3	Parâmetros e suas propriedades.....	80
3.6.4	Parâmetros de posição: média, mediana e moda (USP-Veduca, 2016).....	80
3.6.5	Parâmetros de dispersão: variância, desvio-padrão e coeficiente de variação (USP-Veduca, 2016).....	82
3.6.5.1	Propriedades da média.....	85
3.6.5.2	Propriedades da variância ( $\sigma^2$ ou $V$ ).....	86
3.7	Principais distribuições de probabilidade .....	86
3.7.1	Distribuições discretas .....	87
3.7.1.1	Distribuição binomial (Harr, 1987) .....	87
3.7.1.2	Distribuição de Poisson (Harr, 1987).....	89
3.7.2	Distribuições contínuas.....	91
3.7.2.1	Distribuição exponencial (USP-Veduca, 2016).....	92
3.7.2.2	Distribuição Normal (USP-Veduca, 2016) .....	92
3.7.3	Distribuições limitadas .....	95
3.7.3.1	Distribuição Lognormal (Pacheco, 2016).....	95
3.7.3.2	Outras distribuições limitadas (Pacheco, 2016).....	98

3.7.3.3	Distribuição em “U” (USP-Veduca, 2016).....	101
3.7.4	Distribuição Beta (Harr, 1987) .....	101
3.7.5	Atualização de probabilidades (Harr, 1987).....	106
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>110</b>
4.1	Obras e orçamentos .....	110
4.2	Elaboração dos mapas .....	115
4.2.1	Metodologia para elaboração dos mapas de probabilidades atualizadas de deslizamentos.....	116
4.2.1.1	Etapas 1 e 2 – Levantamento e seleção de laudos .....	116
4.2.1.2	Etapa 3 – Classificação dos riscos das ocorrências.....	123
4.2.1.3	Etapa 4 – Setorização dos laudos .....	125
4.2.1.4	Etapa 5 – Cálculo das probabilidades .....	129
4.2.1.5	Etapa 6 – Criação dos mapas de probabilidades atualizadas .....	132
4.3	Evolução da ocupação antrópica.....	132
4.4	Estimativa de risco com base em mapas de probabilidades atualizadas de deslizamentos.....	133
<b>5</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>135</b>
5.1	Intervenções identificadas e atualização de orçamentos.....	135
5.1.1	Intervenções anteriores a 2008 .....	135
5.1.2	Intervenções no período 2008 – 2009 .....	137
5.1.3	Intervenções a partir de 2010 .....	140
5.1.3.1	Processo 06-100934-2010 (GEO-RIO I, 2010).....	140
5.1.3.2	Processo 06-102343-2010 (GEO-RIO II, 2010).....	142
5.1.3.3	Processo 06-101815-2011 (GEO-RIO I, 2011).....	142
5.1.3.4	Processo 06-101816-2011 (GEO-RIO II, 2011).....	146
5.1.3.5	Processo 06-101817-2011 (GEO-RIO III, 2011).....	147
5.1.3.6	Processo 06-101171-2012 (GEO-RIO I, 2012).....	148
5.1.3.7	Processo 06-101286-2013 (GEO-RIO I, 2013).....	148
5.2	Comparação entre os mapas da GEO-RIO e os mapas de probabilidades atualizadas de deslizamentos gerados neste trabalho .....	150
5.3	Evolução da ocupação antrópica.....	165
5.4	Análise dos resultados.....	166
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>173</b>
6.1	Conclusões.....	173

6.2	Sugestões para trabalhos futuros .....	175
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>176</b>

## INTRODUÇÃO

No decorrer do século XX e início do século XXI foram registrados mais de 10 eventos catastróficos no Rio de Janeiro como consequência de fortes chuvas, deixando inúmeros mortos e desabrigados. Dentre elas destacam-se as que ocorreram em 1966, 1988, 1996 e 2010. Juntas, as catástrofes ocorridas apenas nesses 4 anos deixaram mais de 110 mil pessoas desabrigadas, mais de 1.000 feridos e cerca de 900 vítimas fatais (Dereczynski et al, 2017). Fica evidente em todas essas catástrofes que as populações que ocupam irregularmente regiões de encostas são as mais afetadas. E, como no caso da Rocinha e de outras localidades do Rio de Janeiro, essas encostas são ocupadas por comunidades carentes que, por muitas vezes, são dominadas pelo poder paralelo, fator que dificulta ainda mais o acesso do Poder Público no auxílio dessas populações.

Tendo sua ocupação iniciada na década de 1930, a população da Rocinha foi atingida diretamente pelos desastres decorrentes das fortes chuvas que atingiram a cidade do Rio de Janeiro ao longo dos últimos 90 anos. Segundo o Censo 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a Rocinha possui cerca de 70 mil habitantes distribuídos em mais de 25 mil domicílios, evidenciando a necessidade de um gerenciamento de risco intensivo dessa região.

Devido a esses dados alarmantes, o Poder Público tem investido em diversas ações como, por exemplo, a criação da Fundação GEO-RIO em 1966, responsável pela execução de obras de estabilização e gestão de riscos geotécnicos no município do Rio de Janeiro. Contudo, nesses 50 anos de história, ainda não havia um estudo que avaliasse o impacto das obras executadas na redução efetiva do risco geotécnico. Por isso, em acordo com a Fundação GEO-RIO, a comunidade da Rocinha foi escolhida como objeto de estudo desta pesquisa, a qual tem como objetivo geral a análise da modificação do risco a movimentos de massa ao longo dos anos, tendo como base o mapeamento das probabilidades atualizadas a movimentos de massa da região, incorporando a execução de obras de estabilização e o acompanhamento da evolução da ocupação antrópica da comunidade.

Em linhas gerais, a realização desta pesquisa concentrou-se nos seguintes passos: 1 – identificação de todas as obras realizadas na Rocinha desde a criação da Fundação GEO-RIO; 2 – levantamento de todos os laudos de ocorrência geotécnica da comunidade da Rocinha na DLF (Diretoria de Fiscalização e Obras) ; 3 – criação de mapas de probabilidades atualizadas de deslizamentos baseados em método probabilístico para os anos onde ocorreram as obras de estabilização identificadas, utilizando os laudos de ocorrência encontrados (“antes” e “depois” das obras); 4 – análise da ocupação antrópica da região através de estimativas populacionais baseadas nos censos demográficos do IBGE; 5 – análise da modificação do risco geotécnico levando em consideração as obras realizadas e a dinâmica populacional da região; 6 – análise da relação custo-benefício das obras executadas.

Para a realização das análises de custo-benefício é primordial que se faça a devida atualização dos custos das obras levantadas para valor presente. Dessa forma, além dos conceitos geotécnicos, nesta pesquisa são abordados conceitos gerais de Engenharia de Custos e os métodos de estimativas de custos utilizados como referência para as obras de contenção no Rio de Janeiro.

A definição de áreas de risco normalmente baseia-se em critérios observacionais para a determinação das áreas com alto, médio e baixo risco. Por isso, a definição dessas áreas baseia-se primordialmente na experiência do profissional vistoriador das ocorrências. Este é, portanto, um método altamente subjetivo. Neste trabalho, foram gerados mapas utilizando método probabilístico baseado na distribuição beta de probabilidades, a fim de se minimizar esse caráter subjetivo e apresentado um método mais prático para a elaboração desses mapas. Essa distribuição foi adotada devido à sua grande versatilidade e facilidade de utilização. Essa metodologia foi desenvolvida por Lima (2017) e utiliza a combinação do Teorema de Bayes à distribuição de probabilidades beta, resultando num método simples de atualização de probabilidades que possui como principal vantagem a necessidade de, apenas, dois parâmetros de entrada para a sua utilização ( $\alpha$ : para números de sucessos; e,  $\beta$ : para número de insucessos).

Este trabalho também apresenta um capítulo específico e didático sobre conceitos gerais de probabilidade, com o intuito de familiarizar o leitor aos conceitos

de probabilidade e suas vantagens, conduzindo-o à apresentação da distribuição beta, ferramenta crucial para a elaboração dos mapas de probabilidades atualizadas de deslizamentos desta pesquisa.

A análise geral dos resultados mostra que a redução das áreas de alta probabilidade de deslizamentos vem sendo ligeiramente contrabalançada nos últimos anos pela ocupação antrópica crescente na região.

### **Objetivos**

Objetivo geral: análise da modificação do risco a movimentos de massa ao longo dos anos, tendo como base o mapeamento das áreas com alta, média e baixa probabilidade de deslizamentos da região, incorporando a execução de obras de estabilização e o acompanhamento da evolução da ocupação antrópica da comunidade.

Objetivos específicos:

- Elaboração de mapas de probabilidades atualizadas de deslizamentos através da distribuição beta combinada ao Teorema de Bayes para análise da modificação do risco a movimentos de massa ao longo dos anos na comunidade da Rocinha.
- Análise da relação custo-benefício das obras realizadas quando comparadas ao custo para a remoção e indenização de famílias que poderiam/deveriam ser removidas das regiões consideradas de alta probabilidade de deslizamentos na Rocinha, e, que foram beneficiadas diretamente pelas obras.
- Elaboração de um capítulo específico sobre conceitos de probabilidade aplicados à engenharia, iniciando dos conceitos mais básicos e direcionando seu desenvolvimento à apresentação da distribuição beta de probabilidades.

## DESCRIÇÃO DOS CAPÍTULOS

Após esta introdução, o capítulo 1 é destinado à revisão bibliográfica. Neste capítulo são apresentados alguns desastres relacionados a fortes chuvas que atingiram o Rio de Janeiro e a comunidade da Rocinha. São abordados conceitos nacionais e internacionais sobre desastres naturais; mapeamento de áreas risco, conceitos de movimentos de massa e conceitos gerais de engenharia de custos.

O capítulo 2 é destinado à descrição da área de estudo, a saber, a comunidade da Rocinha, localizada na Zona Sul da cidade do Rio de Janeiro (área nobre da cidade). Nesta descrição são apresentados dados sobre a geografia, litologia, geomorfologia, bem como a história da ocupação antrópica da região.

No capítulo 3 são contemplados conceitos gerais sobre probabilidade, mostrando todos os conceitos necessários ao entendimento que culminará no desenvolvimento da distribuição beta de probabilidades. Neste capítulo busca-se desenvolver todo o caminho desde as definições mais básicas sobre conjuntos até a aplicação final da sofisticada distribuição beta.

No capítulo 4 são aprofundadas as metodologias e hipóteses consideradas para a geração dos resultados e desenvolvimento das análises relacionadas às frentes de trabalho abordadas: obras e orçamentos, mapas de probabilidades atualizadas de deslizamentos e evolução da ocupação antrópica.

O capítulo 5 refere-se aos resultados gerados e às análises desses resultados.

O capítulo 6 apresenta as conclusões da pesquisa, bem como sugestões para futuros trabalhos.

Após a apresentação dos capítulos principais seguem as Referências e os Anexos.

## 1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Todos os anos no mundo inteiro ocorrem fenômenos naturais que geram desastres resultando em perdas materiais e principalmente de vidas. Tais eventos podem ser gerados pela ação direta da natureza ou por falha humana no projeto e/ou execução de obras, muitas vezes projetadas para a proteção contra esses mesmos desastres.

Segundo o dicionário Aurélio da Língua Portuguesa, “fenômeno é tudo o que na natureza é momentâneo e sucede poucas vezes” (Aurélio, 2016). Os desastres naturais são definidos pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) como sendo “as consequências geradas por um fenômeno natural de grande intensidade sobre uma área ou região povoada, podendo ou não ser agravados pelas atividades antrópicas” (Inpe, 2016). Dentre as diversas ações da natureza que podem ser abordadas por essas duas definições encontram-se, por exemplo, erupções vulcânicas, ciclones tropicais (furacões e tufões), terremotos, *tsunamis*, tempestades, além de chuvas que geram inundações e movimentos de massa. Uma das áreas de interesse do engenheiro geotécnico é o mapeamento das áreas de maior suscetibilidade e de risco de movimentos de massa, criação de sistemas de alerta eficazes para a evacuação de populações que ocupam regiões geotecnicaamente perigosas, determinação de correlações chuva vs escorregamento, e, o desenvolvimento de projetos e obras mais adequadas à realidade de cada região com suas especificidades climáticas.

### 1.1 Desastres históricos no Rio de Janeiro

Ao longo dos anos a cidade do Rio de Janeiro foi marcada por desastres relacionados às chuvas. Dentre eles pode-se destacar os que ocorreram nos anos de 1966, 1988, 1996 e 2010.

Alguns relatos encontrados divergem entre si nas quantidades de mortes, desabrigados, dentre outros. Como exemplo pode-se citar o caso do desastre ocorrido em 1966, onde o número de mortos apresentado por Dereczynski et al (2017) no Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ foi de 117, enquanto que para

a Empresa Brasil de Comunicação (EBC) o número de vítimas fatais foi de 250 pessoas, sendo estas as chuvas mais violentas desde 1883 até 1966. (Portal EBC, 2016).

Foram encontrados alguns recortes históricos publicados à época dos eventos de 1966, 1988 e 1996 (**Figura 1**) e fotos de alguns locais após os eventos de 1966 e 1996 (**Figura 2 e Figura 3**). A **Tabela 1** apresenta dados resumidos sobre os desastres ocorridos nesses anos.



(a.) A Última Hora do dia 12/01/1966



(b.) Jornal do Brasil do dia 22/02/1988



(c.) O Globo do dia 14/02/1996

Figura 1. Capa dos Jornais de 1966, 1988 e 1996 (Dereczynski et al, 2017)



Figura 2: Deslizamento de encosta, 1966 (O Globo, 2017)



Figura 3: Emboque/desemboque do Túnel Dois Irmãos, 1996 (O Globo, 2017)

Tabela 1: Eventos de destaque no Rio de Janeiro

Ano	1966 (Portal EBC, 2016)
Região	Rio de Janeiro
Ocorrência	Deslizamentos e alagamentos causados por fortes chuvas
Pluviometria	250 mm
Vítimas	50 mil desabrigados
	Mais de 1.000 feridos
	250 mortos
Ano	1988 (Dereczynski et al, 2017)
Região	Rio de Janeiro
Ocorrência	Deslizamentos e alagamentos causados por fortes chuvas
Dia 21	21 mortos
	Mais de 15 mil desabrigados
Dia 23	273 mortos
Dia 24	15 mil desabrigados
Ano	1996 (Dereczynski et al, 2017)
Região	Rio de Janeiro
Ocorrência	Deslizamentos e alagamentos causados por fortes chuvas
Vítimas	200 mortos
	30 mil desabrigados
Áreas mais atingidas	Rocinha, Vidgal e Itanhangá

No ano de 2010, mediante os novos deslizamentos que foram gerados pelas fortes chuvas desse ano, o Poder Público Municipal anunciou que diversas comunidades carentes do Rio de Janeiro sofreriam intervenções com remoções de casas e estabilizações de encostas, entre elas a Rocinha (O Globo, 2010). Um resumo divulgado no dia 08/04/2010 pelo jornal Folha de São Paulo sobre os desastres ocorridos por todo estado do Rio de Janeiro é apresentado na **Tabela 2**.

Tabela 2: Resumo divulgado em 08/04/2010 sobre os desastres no Estado do Rio de Janeiro (Folha de São Paulo, 2010)

Ano	2010
Região	Estado do Rio de Janeiro
Ocorrência	Deslizamentos e alagamentos causados por fortes chuvas
Vítimas	153 mortos em todo o estado - Rio de Janeiro (48), Niterói (85), outros locais (20).
Áreas mais atingidas	Rio de Janeiro, Niterói, São Gonçalo, Nilópolis, Engenheiro Paulo de Frontin, Petrópolis e Magé.

A **Figura 4** apresenta uma imagem da região do Laboriaux na Rocinha após os desastres de 2010.



Figura 4: Região do Laboriaux na encosta da Rocinha após deslizamentos de 2010.  
(D'Orsi et al, 2016)

Dereczynski et al (2017) para o Anuário do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) apresenta relato resumido com os maiores desastres no Rio de Janeiro relacionados às chuvas no século XX, com trechos extraídos de jornais de cada época dos acontecimentos.

Mediante a necessidade de mitigação dos desastres relacionados às chuvas, o poder público municipal criou ao longo dos anos um conjunto de legislações urbanísticas para a cidade do Rio de Janeiro. A **Tabela 3** apresenta um resumo das principais legislações urbanísticas do século XX para a cidade do Rio de Janeiro.

Tabela 3: Resumo das principais legislações urbanísticas da cidade do Rio de Janeiro no século XX. (Lacerda & Rosa, 1997)

<b>Legislação</b>	<b>Ano</b>	<b>Conteúdo</b>
Código de Obras 6000	1937	Artigos reguladores da construção de muros de arrimo, desmonte e atividades de pedreiras e saibreiras.
Código de Fundações	1955	Artigos regulamentadores das escavações e execução dos muros de arrimo
Portaria N	1964	Normaliza projetos de ancoragem por chumbamento no terreno
Serviço de Pedreiras	1964	-
Instituto de Geotécnica	1966	-
Licenciamento de Obras em Terrenos	1967	Amplia e consolida as Normas do decreto 1280 de 1965
Decreto	1969	Orientação para Pedreiras
Código de Obras	1976	Orientações sobre o planejamento do uso do solo
Decreto Municipal	1980	Proíbe a concessão de licença para exploração de pedreiras novas ou desativadas
Resolução	1980	Regulamenta a concessão de licença para desmonte e obras de estabilização e licenciamento de edificações na encosta
Plano Diretor Decenal	1991	Projetos de urbanização de favelas devem estar condicionados a desocupação de áreas de risco; reconhece que somente o processo de planejamento contínuo com propostas setoriais poderá compatibilizar o desenvolvimento urbano com a proteção do meio ambiente; exigência de RIMA (Relatório de Impacto Ambiental)

## 1.2 Conceitos gerais

De acordo com Cerri & Amaral (1998) *apud* (Tominaga et al, 2009), “a suscetibilidade de uma área a um determinado fenômeno geológico corresponde à possibilidade de sua ocorrência, enquanto o risco está relacionado à possibilidade de que a ocorrência do fenômeno tenha consequências sociais e econômicas (Tominaga et al, 2009)”. Esta definição é bastante adequada, pois apresenta a distinção entre suscetibilidade e risco mostrando que o risco é quantificável, seja em custo, danos materiais, vidas humanas, entre outros.

O International Strategy for Disasters Reduction (ISDR), pertencente à Organização das Nações Unidas (ONU), definiu risco da seguinte maneira em 2004: “A probabilidade de consequências prejudiciais, ou danos esperados (morte, ferimentos a pessoas, prejuízos econômicos etc) resultantes da interação entre perigos naturais ou induzidos pela ação humana e as condições de vulnerabilidade.” Além de bastante abrangente, esta definição classifica todos os perigos naturais em três grandes categorias (UN-ISR, 2004), conforme pode ser visto na **Tabela 4**.

Tabela 4: Classificação de perigo (UN-ISR, 2004)

PERIGO (HAZARD)	
Um evento, fenômeno ou atividade humana potencialmente danosa, o qual pode causar perda de vidas ou ferimento à pessoa, danos a propriedades, rupturas sócio-econômicas ou degradação ambiental.	
PERIGOS NATURAIS (NATURAL HAZARDS)	
Processos ou fenômenos naturais que ocorrem na biosfera e que podem constituir-se em um evento danoso. Os perigos naturais podem ser classificados quanto à origem em: geológico, hidrometeorológico e biológico.	
ORIGEM	EXEMPLOS DE FENÔMENOS
Perigos geológicos: processos ou fenômenos naturais que podem ser de origem endógena ou exógena.	Terremotos, tsunamis;
	Atividade de emissões vulcânicas;
	Movimentos de massa, escorregamentos, queda de blocos rochosos, liquefação;
	Colapso superficial, atividade de falha geológica;

Perigos hidrometeorológicos: processos ou fenômenos naturais de natureza atmosférica, hidrológica ou oceanográfica.	Inundações/enchentes, corridas de lama/detritos;
	Ciclones tropicais, tempestades marinhas, ventanias, chuvas de tempestades, nevasca, relâmpagos;
	Secas, desertificação, fogo, temperaturas extremas, tempestade de areias;
	<i>Permafrost</i> , avalanches de neve.
Perigo biológico: processo de origem biológica ou aqueles transmitidos por vetores biológicos, incluindo a exposição aos microorganismos patogênicos, tóxicos e substâncias bioativas.	Eclosão de doenças epidêmicas, contágio de plantas ou de animais e de infestações extensivas.
<b>PERIGO TECNOLÓGICO (TECHNOLOGICAL HAZARD)</b>	
Perigo associado com acidentes tecnológicos ou industriais, rompimento de infraestrutura ou atividades humanas que podem causar perda de vidas ou ferimentos à pessoa, danos a propriedades, rupturas sócio-econômicas ou degradação ambiental. Exemplos: poluição industrial, radioatividade, resíduo tóxico, queda de barragens, acidentes industriais, etc.	

Segundo a Fundação GEO-RIO, de acordo com o JTC (Joint Technical Committee on Landslides and Engineered Slopes), define-se:

- **Suscetibilidade de deslizamento:** se refere à análise (quantitativa ou qualitativa) do volume ou área e a distribuição espacial de deslizamentos reais ou potenciais (GEO-RIO I, 2014).
- **Perigo:** é a “condição com o potencial de causar uma consequência indesejável”. Nesta análise incluem-se dados sobre o local, o volume (ou área), classificação e velocidade, materiais resultantes e probabilidade de ocorrência em um período determinado (GEO-RIO I, 2014).
- **Elementos em risco:** compõem-se pelas populações, construções, serviços e valores do meio ambiente, presentes na área potencialmente afetada pelo perigo (GEO-RIO I, 2014).
- **Vulnerabilidade:** representa o grau de perda de um elemento(s) em risco, variando de zero (para nenhuma perda) a um (perda total) (GEO-RIO I, 2014).

- **Risco:** caracteriza uma medida de probabilidade e severidade como consequência de um efeito adverso à saúde, à propriedade e ao meio ambiente; frequentemente calculado pelo produto da probabilidade de um fenômeno por suas consequências (GEO-RIO I, 2014). Esta definição confere ao risco, obrigatoriamente, alguma unidade de medida.

Os mapas de susceptibilidade a movimentos de massa são em geral elaborados a partir de observações de campo e da experiência de profissionais qualificados para a classificação da suscetibilidade do local. Os mapas são baseados em inventário de ocorrências, dados pluviométricos, mapeamentos geológicos e geomorfológicos, e, dados digitais em SIG (Sistema de Informações Geográficas). Estes mapas são altamente subjetivos, pois dependem da experiência do avaliador. Com isso, Lima (2017) os considerou como mapas baseados em métodos empíricos. Este é o método utilizado pela GEO-RIO para a elaboração dos mapas de suscetibilidade a deslizamentos do Rio de Janeiro. Esses mapas são atualizados sempre que há algum evento ou obra que possa alterar a suscetibilidade a movimentos de massa de alguma localidade.

Lima (2017) desenvolveu uma proposta de base probabilística para a geração de mapas de probabilidades atualizadas de deslizamentos que, além das informações oriundas de inventário de ocorrências, dados pluviométricos, mapeamentos geológicos e geomorfológicos, e, dados digitais em SIG, utiliza métodos estatísticos e geoestatísticos para a elaboração desses mapas. A principal exigência para a aplicação de métodos probabilísticos é a existência de um extenso banco de dados, como no caso da Fundação GEO-RIO, que já acumula mais de 40 anos de experiência em desastres no Rio de Janeiro (Lima, 2017).

A metodologia tem como base o Teorema de Bayes que permite a atualização rápida de probabilidades, associada à distribuição beta de probabilidades. Com isso, a atualização de probabilidades é baseada em apenas 2 parâmetros ( $\alpha$  – número de sucessos; e,  $\beta$  – número de insucessos). Além disso, Lima (2017), utilizando a comunidade da Rocinha como objeto de estudo, apresentou o mapa de probabilidades atualizadas de deslizamentos da Rocinha referente ao ano de 2014 (**Figura 5**).

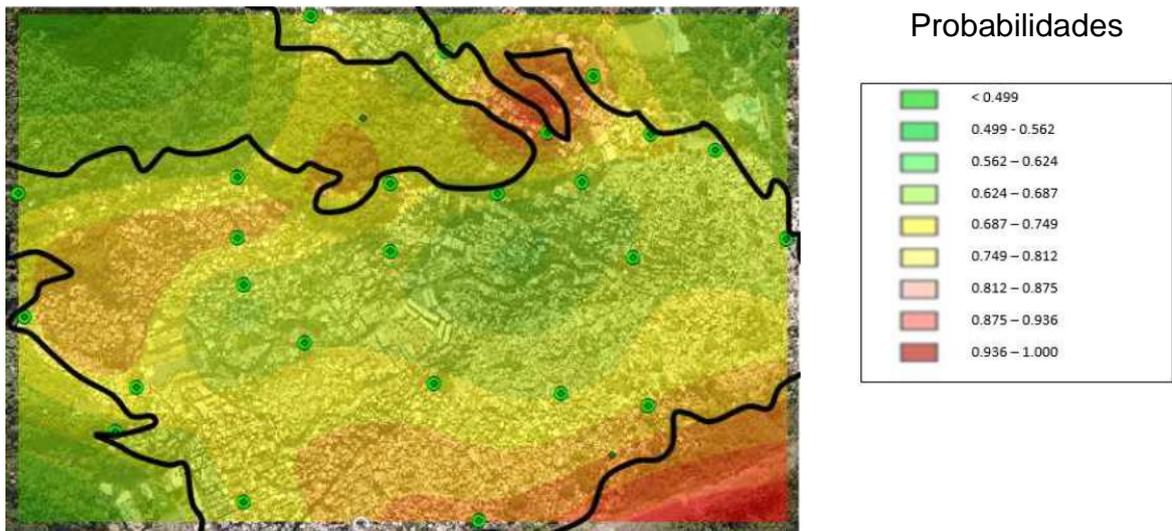


Figura 5: Mapa de probabilidades atualizadas de deslizamento para 2014 (Lima, 2017)

### 1.3 Taludes, movimentos de massa e seus agentes causadores

#### 1.3.1 Taludes e encostas

Entende-se por talude qualquer superfície inclinada de um maciço de solo ou rocha, podendo ser construído por ação antrópica ou de formação natural (neste último caso passando a ser denominado de encosta). No caso dos taludes construídos, as incertezas no projeto de estabilidade são menores que nos taludes naturais, pois são conhecidas as propriedades do solo compactado (Gerscovich, 2012).

As encostas estão permanentemente sujeitas a problemas de instabilidade devido à ação das forças gravitacionais. Devido à dinâmica da evolução das encostas, é possível encontrar taludes que permaneceram estáveis por muitos anos os quais, devido a diversos fatores internos e externos que alteram seu estado de tensões, sofrerem algum tipo de movimentação (Gerscovich, 2012).

As encostas podem ser constituídas de solo residual ou coluvionar. O solo residual é formado pela ação do intemperismo físico e/ou químico na rocha sã, agindo das camadas mais superficiais para as camadas mais profundas. Portanto o solo residual caracteriza-se por estar superposto à sua rocha de origem (**Figura 6**). Já o solo coluvionar é composto por fragmentos de rocha imersos em matriz de solo; é um tipo de solo transportado cujo agente de transporte é a gravidade. Por isso,

são encontrados principalmente no pé de taludes ou a pequenas distâncias de seu talude de origem (Gerscovich, 2012). Quanto às formas dos taludes e suas respostas geodinâmicas, pode-se classificá-los segundo o quadro da **Figura 7**.

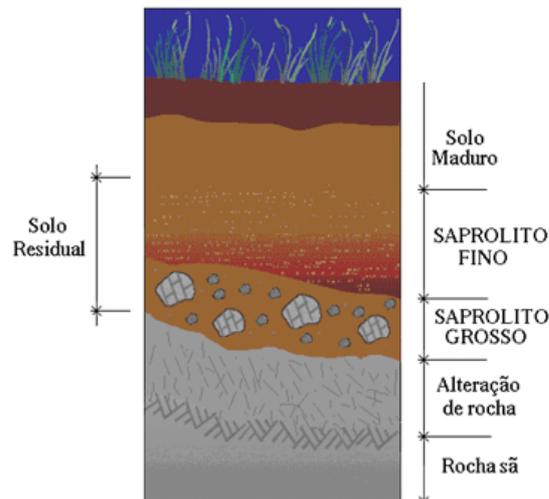


Figura 6: Perfil de intemperismo de um solo residual (FEC-UNICAMP, 2007)

Tipo de Talude	Superfície	Condição da encosta com relação à água superficial
	Plana	-
	Convexa	Coletora
		Difusora
	Côncava	Coletora
		Difusora

Figura 7: Classificação de taludes quanto à forma e resposta geodinâmica ao escoamento superficial (Gerscovich, 2012)

### 1.3.2 Movimentos de massa

Os movimentos de massa são definidos por Gerscovich (2012) como “qualquer deslocamento de um determinado volume de solo” e seus processos são relacionados pela literatura a problemas de instabilidade de taludes.

No intuito de distinguir cada tipo de movimento de massa, diversos autores (Varnes 1958 e 1978; Hutchinson 1968; Guidicini & Nieble 1984, Santos 2004) propuseram classificações que caracterizam cada tipo de movimento, sendo as classificações mais aceitas internacionalmente às propostas por Varnes (1958 e 1978). Em sua proposta, Varnes (1978) divide os movimentos de massa em queda, tombamento, escorregamento, expansão lateral, escoamento e misto; podendo ser aplicável para solos e rochas, conforme a **Tabela 5** (Gerscovich, 2012). Esta classificação também é considerada oficial pela *International Association of Engineering Geology and the Environment* – IAEG.

Tabela 5: Classificação de movimentos de massa proposta por (Varnes, 1978)

Tipo de movimento			Tipo de material		
			Rocha	Solo (engenharia)	
				Grosseiro	Fino
Quedas			De rocha	De detritos	De terra
Tombamentos			De rocha	De detritos	De terra
Escorregamento	Rotacional	Poucas unidades	Abatimento e rocha	Abatimento de detritos	Abatimento de terra
	Translacional	Muitas unidades	De blocos rochosos De rocha	de Blocos de detritos De detritos	De blocos de terra de Terra
Expansões laterais			De rocha	De detritos	De terra
Corridas/escoamentos			De rocha (rastejo profundo)	De detritos	De terra
				(Rastejo de solo)	
Complexos: combinação de dois ou mais dos principais tipos de movimentos					

Em se tratando de propostas brasileiras de classificação dos movimentos de massa, a proposta mais utilizada é a de Augusto Filho (1992). Este autor procurou ajustar as principais características levantadas por (Varnes, 1978) à dinâmica

ambiental brasileira. O resultado de sua classificação é apresentado na **Tabela 6**. Exemplos de sua classificação encontram-se na **Figura 8**.

Tabela 6: Características dos principais grandes grupos de processos de escorregamento (Augusto Filho, 1992)

Processo	Características do movimento, material e geometria
Rastejo ou fluência	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vários planos de deslocamento (internos).</li> <li>• Velocidades variando de muito baixas (cm/ano) a baixas e decrescentes com a profundidade.</li> <li>• Movimentos constantes, sazonais ou intermitentes.</li> <li>• Solos, depósitos, rocha alterada/fraturada.</li> <li>• Geometria indefinida.</li> </ul>
Escorregamentos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poucos planos de deslocamento (externos).</li> <li>• Velocidades variando de médias (km/h) a altas (m/s).</li> <li>• Pequenos a grandes volumes de material.</li> <li>• Geometria e materiais variáveis:               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Planares - solos pouco espessos, solos e rochas com um plano de fraqueza;</li> <li>○ Circulares - solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas;</li> <li>○ Em cunha - solos e rochas com dois planos de fraqueza.</li> </ul> </li> </ul>
Quedas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sem planos de deslocamento.</li> <li>• Movimento do tipo queda livre ou em plano inclinado.</li> <li>• Velocidades muito altas (vários m/s).</li> <li>• Material rochoso.</li> <li>• Pequenos a médios volumes.</li> <li>• Geometria variável: lascas, placas, blocos, etc:               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Rolamento de matacão;</li> <li>○ Tombamento.</li> </ul> </li> </ul>
Corridas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muitas superfícies de deslocamento.</li> <li>• Movimento semelhante a de um líquido viscoso.</li> <li>• Desenvolvimento ao longo de drenagens.</li> <li>• Velocidades médias a altas.</li> <li>• Mobilização de solo, rocha, detritos e água.</li> <li>• Grandes volumes de material.</li> <li>• Extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas.</li> </ul>

Em seu trabalho, Chaves (2016) resume todos esses movimentos classificando-os em dois grandes processos: Escoamentos e Escorregamentos. A **Figura 8** ilustra as características dos principais movimentos de massa.

## Escoamentos

- São caracterizados como movimentos contínuos, com ou sem superfícies de deslocamento definida, não associados a uma velocidade específica.
- O mecanismo de deformação é semelhante à movimentação de um fluido viscoso; nesse contexto, a velocidade dos movimentos de massa pode ser considerada como característica destes eventos.
- Rastejo: movimento lento com velocidade medida em centímetros por ano.
- Corrida: movimento rápido (velocidade  $\geq 10$  km/h). Nestes casos há perda completa da resistência do solo e a massa de solo se comporta como um fluido, atingindo grandes extensões durante o deslocamento.

## Escorregamentos

- São movimentos de massa de duração relativamente curta e com superfície de ruptura bem definida.
- A deflagração do movimento ocorre quando as tensões cisalhantes mobilizadas se igualam à resistência ao cisalhamento do solo.
- A ruptura ocorre a partir da formação de uma superfície de cisalhamento contínua na massa contínua de solo. Portanto, existe uma camada de solo adjacente à superfície de cisalhamento que tem suas características alteradas quando ocorre a ruptura.



Figura 8: Exemplos de movimentos de massa (Marshak, 2011)

### 1.3.3 Agentes causadores

Assim como os movimentos de massa, foram estudados e caracterizados os agentes causadores desses movimentos, e, citados neste trabalho os estudos de Terzaghi (1928,1950), Varnes (1978) e Guidicini & Nieble (1984).

Terzaghi (1928,1950) classificou os agentes causadores como causas externas, causas intermediárias e causas internas especificando da seguinte forma:

**Causas externas:** são aquelas que causam o aumento das solicitações, ou seja, aumentam as tensões de cisalhamento na massa de solo ou rocha, sem necessariamente a perda de resistência interna do material. Exemplos: aumento da inclinação do talude por processos naturais ou artificiais; decomposição do material na parte superior do talude; abalos sísmicos e vibrações.

**Causas intermediárias:** são aquelas onde seus efeitos são resultantes de ações externas no interior dos taludes. Exemplos: liquefação espontânea, rebaixamento rápido, erosão retrogressiva.

**Causas internas:** são aquelas causadas pela perda de resistência interna do material, sem necessariamente ocorrer um acréscimo de solicitações externas. Exemplos: diminuição da resistência e aumento da pressão hidrostática.

A **Tabela 7** apresenta a classificação de Varnes (1978) em relação aos agentes deflagradores dos movimentos de massa.

Em se tratando de classificações propostas por pesquisadores brasileiros pode-se citar o trabalho desenvolvido por Guidicini & Nieble (1984). Esses pesquisadores propuseram uma classificação que distingue os agentes deflagradores dos movimentos de massa em dois grandes grupos, a saber, agentes predisponentes (**Tabela 8**) e agentes efetivos (**Tabela 9**).

Tabela 7: Classificação dos fatores deflagradores dos movimentos de massa  
(Adaptada de Varnes 1978)

Ação	Fatores	Fenômenos Geológicos/Antrópicos
Aumento da solicitação	Remoção de massa (lateral ou da base)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Erosão</li> <li>✓ Escorregamentos</li> <li>✓ Cortes</li> </ul>
	Sobrecarga	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Peso da água, neve, granizo etc.</li> <li>✓ Acúmulo natural de material (depósitos)</li> <li>✓ Peso da vegetação</li> <li>✓ Construção de estruturas, aterros etc.</li> </ul>
	Solicitações dinâmicas	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Terremotos, ondas, vulcões etc.</li> <li>✓ Explosões, tráfego, sismos induzidos</li> </ul>
	Pressões laterais	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Águas em trincas</li> <li>✓ Congelamento</li> <li>✓ Material expansivo</li> </ul>
Redução da resistência ao cisalhamento	Características inerentes ao material (geometria, estruturas etc.)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Características geomecânicas do material</li> </ul>
	Mudanças ou fatores variáveis	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Ação do intemperismo provocando alterações físico-químicas nos minerais originais, causando quebra das ligações e gerando novos minerais com menor resistência.</li> <li>✓ Processos de deformação em decorrência de variações cíclicas de umedecimento e secagem, reduzindo a resistência.</li> <li>✓ Variação das poropressões.</li> <li>✓ Elevação do lençol freático por mudanças no padrão natural de fluxo (construção de reservatórios, processos de urbanização etc.)</li> <li>✓ Infiltração da água em meios não saturados, causando redução das pressões de águas negativas (sucção).</li> <li>✓ Geração de excesso de poropressão, como resultado de implantação de obras.</li> <li>✓ Fluxo preferencial através de trincas ou juntas, acelerando os processos de infiltração.</li> </ul>

Tabela 8: Agentes predisponentes e suas subdivisões (Guidicini &amp; Nieble, 1984)

Agentes predisponentes (podem favorecer a instabilização – elementos da natureza)	
Complexo Geológico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipo e estrutura da rocha, estado de alteração, direção das camadas, grau de fraturamento, etc.</li> </ul>
Complexo Geomorfológico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Declividade, forma da encosta, comprimento da encosta, orientação etc.</li> </ul>
Ação da gravidade	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Naturalmente contribui para a deflagração do movimento de massa</li> </ul>
Ação do calor solar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Provoca intemperismo</li> </ul>
Tipo de vegetação	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produz efeitos favoráveis ou desfavoráveis na estabilidade das encostas</li> </ul>

Tabela 9: Agentes efetivos e suas subdivisões (Guidicini &amp; Nieble, 1984)

Agentes efetivos (responsáveis pelo mecanismo)	
Efetivos preparatórios	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pluviosidade, erosão pela água ou pelo vento, congelamento e degelo, variação de temperatura, ação humana e de animais, desflorestamento e etc.</li> </ul>
Efetivos imediatos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Chuva intensa, fusão do gelo e neve, erosão, terremotos, ondas, vento, ação do homem e etc.</li> </ul>

Segundo esses autores, os agentes predisponentes são aqueles que são próprios da massa de solo/rocha e que independem da ação antrópica. Já os agentes efetivos são aqueles que atuam diretamente no desencadeamento dos movimentos de massa, incluindo nesta categoria a ação antrópica.

Além dos fatores ligados à própria natureza, a ação humana tem grande importância na deflagração de movimentos de massa e merece atenção especial de técnicos, pesquisadores e governantes. Construções em áreas de encostas e várzeas, cortes e aterros irregulares, ocupações desordenadas e remoção da cobertura vegetal do solo são algumas das interferências antrópicas que podem desencadear e/ou potencializar as consequências de fenômenos naturais.

Independentemente do modo de classificação dos movimentos de massa ou da classificação de seus fatores deflagradores pode-se definir que a instabilidade de

um determinado talude ocorre quando as tensões cisalhantes mobilizadas e a resistência ao cisalhamento do material se igualam, gerando fator de segurança (FS) igual a 1. Quando esse fenômeno ocorre em um ponto do maciço, ocorre uma ruptura localizada que não necessariamente acarretará na ruptura do maciço. Para que haja a ruptura de um maciço, a condição de fator de segurança igual a 1 deve ocorrer ao longo de uma faixa de instabilidade (zona cisalhada - **Figura 9**), determinando uma superfície de ruptura (**Figura 10**).

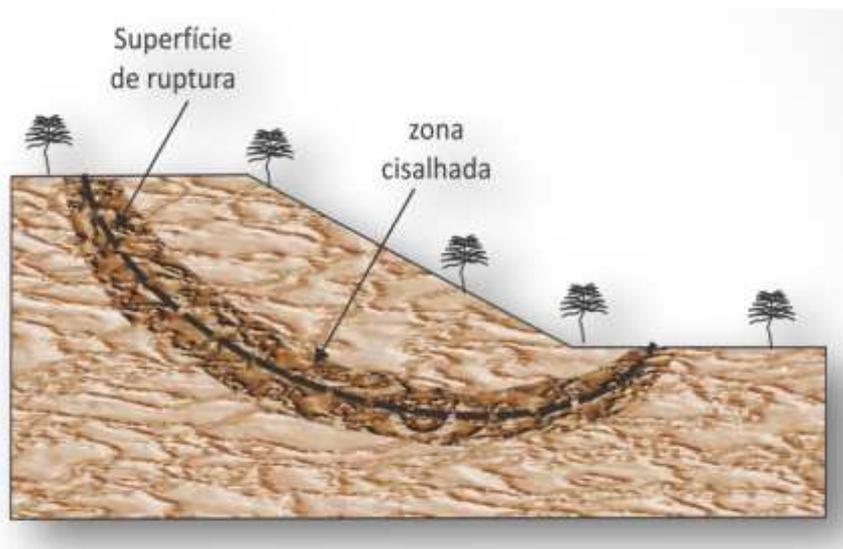


Figura 9: Ilustração da zona fraca e superfície de cisalhamento (Gerscovich, 2012)

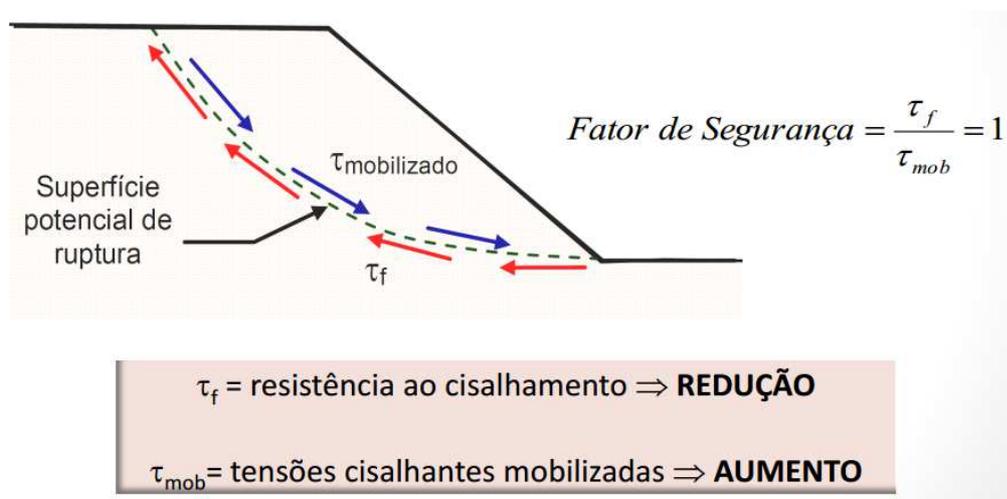


Figura 10: Condição de ruptura por escorregamento (Gerscovich, 2012)

## 1.4 Cálculo de custo no tempo

Um princípio básico que se deve ter em mente é o valor do dinheiro no tempo. Os orçamentos levantados, obviamente, se referem aos valores de cada material e serviço na época do levantamento. Contudo, para que seja feita uma análise comparativa do custo-benefício de uma determinada obra em relação a alternativas de mitigação/eliminação dos riscos, é necessário que esses estejam referenciados para uma mesma data focal.

### 1.4.1 Considerações básicas sobre custos

A Engenharia de Custos é a área da engenharia que utiliza princípios, normas, critérios e experiência para a resolução de problemas de estimativas de custo, de avaliação econômica, de planejamento, de gerência e de controle de empreendimentos. Desta forma ela apresenta os seguintes principais produtos (Oliveira, 2014):

- Previsão de custos de investimentos;
- Seleção de alternativas para viabilizar empreendimentos;
- Planejamento, controle e acompanhamento de custos na execução, adequando à estimativa de custo preestabelecida, corrigindo os desvios;
- Montagem de banco de dados com composições analíticas de custos de serviços de interesse da empresa, com base em resultados de obras executadas;
- Definição de custos operacionais dos empreendimentos.

As estimativas de custo (orçamento) consistem na determinação dos gastos necessários para a realização de um empreendimento. Dentre suas finalidades, destacam-se (Oliveira, 2014):

- Permitir a elaboração da análise de viabilidade do investimento;
- Determinar a rentabilidade do investimento;
- Selecionar alternativas de projeto;
- Obter recursos financeiros de financiamentos;
- Apresentar propostas de execução de serviços;

- Servir de base ao controle de custos na execução.

Os custos podem ser classificados de diferentes formas, dentre as principais destacam-se: a classificação quanto à identificação com o produto; quanto ao volume de produção; e, quanto ao envolvimento direto com o produto (Oliveira, 2014).

Na classificação quanto à identificação com o produto, os custos podem ser (Oliveira, 2014):

- **Diretos:** “Os custos diretos são aqueles relacionados com os insumos de produção (mão-de-obra, encargos sociais relacionados à equipe de produção, matéria-prima, dentre outros)”;
- **Indiretos:** “Os custos indiretos são aqueles relacionados a elementos coadjuvantes, mas necessários à correta elaboração do produto.”

Na classificação quanto ao volume de produção, os custos podem ser classificados como (Oliveira, 2014):

- **Fixos:** “são aqueles que praticamente não variam para uma determinada faixa de volume de produção”;
- **Variáveis:** “são aqueles que variam de forma direta e proporcional com a quantidade da produção”;
- **Semi-variáveis:** “são aqueles que variam de forma direta, mas não proporcional com a quantidade de produção”;

Na classificação quanto ao envolvimento direto com a produção, estes podem ser (Oliveira, 2014):

- **Empresariais:** “são aqueles relacionados a todas as atividades de apoio ao sistema de produção, mas não diretamente com o produto (administrativos, comerciais, dentre outros)”;
- **Produção:** “são aqueles relacionados diretamente com a produção do produto”.

O grau de detalhamento do projeto tem impacto direto na qualidade da informação resultante da estimativa de custo (orçamento). Existem dois métodos de orçamentação (Oliveira, 2014):

- **Método da correlação:** “é a estimativa de custo com uma ou mais variáveis relativas às características do produto cujo custo pretende-se estimar”;
- **Método da quantificação:** “é a estimativa de custo que se baseia no levantamento das quantidades de insumos e respectivos custos unitários, cuja soma dos produtos ‘quantidade x custo unitário’ resultará a estimativa de custo”.

#### 1.4.2 Considerações básicas sobre viabilidade de empreendimentos

Neste tópico serão abordadas algumas noções de matemática financeira, como juros, taxa de juros, formas de capitalização, capitalização a juros simples e compostos e inflação.

Entende-se por juros as quantias monetárias que representam a remuneração do capital. Na análise de situações econômicas, todos os juros devem ser considerados e as quantias devem ser analisadas na data determinada, somente podendo ser consideradas em outra data quando levados em conta os juros envolvidos (Oliveira, 2014).

Por taxa de juros entende-se como sendo a relação entre os juros relativos ao período de uma unidade de tempo e o capital envolvido (Oliveira, 2014). Dessa forma, define-se matematicamente taxa de juros como na equação (1).

$$.i = J / P \quad (1)$$

Onde:

.i: taxa de juros ao período;

J: juros;

P: principal ou capital na data de hoje ( $C_0$ ).

Conseqüentemente, o valor do montante (M), ou capital final (Cf), ao final do período é dado pela equação (2):

$$F = P + J \quad (2)$$

Capitalização é a remuneração dos juros a partir do primeiro período até o período determinado. Existem duas formas para a capitalização dos juros: a juros simples e a juros compostos (Oliveira, 2014).

Na capitalização a juros simples, não há remuneração sobre os juros anteriores, dessa forma, para “n” períodos ter-se-á a equação (3) para o cálculo dos juros e a equação (4) para o cálculo do montante (Oliveira, 2014).

$$J = i \times P \times n \quad (3)$$

$$M = P \times (1 + i \times n) \quad (4)$$

Na capitalização a juros compostos, os juros de cada período são incorporados ao capital periodicamente. Dessa forma, os juros de cada período também sofrem o efeito da capitalização. Portanto, tem-se a equação (5) para o cálculo dos juros e a equação (6) para o cálculo do montante (Oliveira, 2014).

$$J = P \times [ (1 + i)^n - 1 ] \quad (5)$$

$$M = P \times (1 + i)^n \quad (6)$$

Denomina-se inflação como o aumento geral e persistente dos preços, podendo ter como causas a inflação monetária, a inflação de demanda e a inflação de custos (Humantech Gestão do Conhecimento, 2009).

A inflação monetária é caracterizada quando há emissão exagerada e descontrolada de moeda por parte do governo. A inflação de demanda ocorre quando a demanda por produtos tem um aumento maior do que a capacidade de produção do país. Já a inflação de custos ocorre quando há um aumento nos custos

de produção (máquinas, matéria-prima, mão-de-obra) dos produtos (Humantech Gestão do Conhecimento, 2009).

No Brasil, os principais índices que medem a inflação são (Humantech Gestão do Conhecimento, 2009):

- IGP: Índice Geral de Preços – calculado pela Fundação Getúlio Vargas (FGV).
- IPC: Índice de Preços ao Consumidor – medido pela Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas (FIPE).
- INPC: Índice Nacional de Preços ao Consumidor – medido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).
- IPCA: Índice de Preços ao Consumidor Amplo – calculado pelo IBGE.

No caso da Construção Civil pode-se citar, por exemplo, o ICC (Índice da Construção Civil).

#### 1.4.3 Sistema de Custos para Obras e Serviços de Engenharia – SCO-RIO

A GEO-RIO criou em 1996 uma sistemática para análise dos custos de obras e serviços de engenharia do Rio de Janeiro, com o objetivo de que ela seja referência exclusiva para elaboração de orçamentos e contratações de obras públicas. Trata-se de um método simplificado para estimativas de custo de obras de contenção e estabilização, não se devendo tomar seus resultados como valores definitivos, pois os mesmos podem variar de acordo com as especificidades do local de cada obra. (GEO-RIO II, 2014)

Baseada em no seu histórico de realização de obras de contenção e estabilização no Rio de Janeiro, a GEO-RIO calculou índices de custos, denominado Unidade de Contenção (UC). A GEO-RIO utiliza o SCO-RIO como parâmetro para as revisões da UC, que atualmente equivale a R\$ 180,00. Vale ressaltar que qualquer outro indexador poderia ser utilizado, como por exemplo, o Índice da Construção Civil (ICC). (GEO-RIO II, 2014). A **Tabela 10** apresenta os valores estabelecidos de UC para cada obra típica de conteção.

Tabela 10: Valores de UC para estimativas dos custos de obras (GEO-RIO II, 2014)

nº	Descrição da Solução	D.T.	un	UC/un	Adicionais	
					un.dam (acima)	un.dam (abaixo)
1	Muro "L" de Concreto armado	EC-01	m <sup>2</sup>	5,2153	0,0878	0,0585
2	Muro "L" com Ancoragem na base	EC-02	m <sup>2</sup>	7,20051	0,0741	0,0494
3	Muro de Concreto Ciclópico	EC-03	m <sup>2</sup>	4,5327	0,2784	0,1856
4	Muro com Contrafortes Chumbados	EC-04	m <sup>2</sup>	5,8923	0,0695	0,0463
5	Solo Grampeado	EC-05	m <sup>2</sup>	3,3447	0,0327	0,0218
6	Muro de Gabião	-	m <sup>2</sup>	3,3552	0,2625	0,0175
7	Cortina Ancorada	EC-07	m <sup>2</sup>	10,2890	0,0658	0,0438
8	Muro Contrafortes Chumbado e Ancorado	-	m <sup>2</sup>	9,0182	0,0695	0,0463
9	Grelha Ancorada	EC-11	m <sup>2</sup>	7,6306	0,0268	0,0178
10	Mureta Chumbada	EC-15	m <sup>2</sup>	4,7746	0,0531	0,0354
11	Mureta Estaqueada	-	m <sup>2</sup>	3,5422	0,0478	0,0319
12	Concreto projetado	EA-02	m <sup>2</sup>	1,1321	0,0327	0,0218
13	Suavização de talude	-	m <sup>2</sup>	0,1132	0,0033	0,0022
14	Tela de alta Resistência sobre maciço	-	m <sup>2</sup>	0,9669	0,0035	0,0024
15	Biomanta	-	m <sup>2</sup>	0,2264	0,0082	0,0054
16	Desmonte de Rocha	-	m <sup>3</sup>	1,3799	0,2869	0,1913
17	Remoção de Materiais Diversos	-	m <sup>3</sup>	0,7059	0,1488	0,0992
18	Canaleta (100x100cm)	-	m	11,8330	0,2018	0,1453
19	Canaleta (80x80cm)	DR-05	m	9,6818	0,1651	0,1189
20	Canaleta (60x60cm)	DR-04	m	7,5030	0,1284	0,0925
21	Canaleta (40x40cm)	DR-03	m	5,3788	0,0917	0,0660
22	Passarela (tipo 1)	EA-04	m	7,6580	0,01328	0,0956
23	Escadaria (2,00m)	-	m	3,4809	0,01594	0,1148
24	Guarda-corpo	EA-01	m	2,0756	0,0029	0,0021
25	Viga Chumbada (60x15cm)	EC-15/16	m	1,4900	0,0281	0,0203
26	Viga Estaqueada (0,60x0,15)	-	m	2,1486	0,0239	0,0172
27	Estrutura metálica de impacto	EC-17/18	m	5,5463	0,0080	0,0057

28	Dreno profundo	DE-02	m	0,7471	0,0000	0,0000
29	Chumbadores Isolados (4m)	-	m	0,6918	0,0000	0,0000
30	Demarcação de área de Risco	EA-06	m	0,8164	0,0053	0,0038
31	Contrafortes chumbados (3,00m)	EC-13	.un	16,2275	0,7014	0,4676
32	Contrafortes ancorados (4,00m)	EC-14	.un	85,9662	0,9352	0,6235
33	Ancoragens isoladas (13,00m)	-	.un	44,0937	0,0000	0,0000
34	Remoção de moradia	-	.un	90,0000	0,0000	0,0000

Alternativamente, através de seu endereço eletrônico o SCO-RIO também disponibiliza, desde julho de 2003, catálogos de itens com o custo unitário de cada serviço. Para se realizar um orçamento em que se tenha à disposição todos os itens detalhados de todos os serviços necessários à determinada obra, basta acessar o endereço eletrônico do SCO-RIO, informar o código do serviço e a data desejada para se obter o custo unitário do serviço consultado (GEO-RIO, 2016).

## 2 ÁREA DE ESTUDO: ROCINHA

### 2.1 Geografia geral

Localizado na cidade do Rio de Janeiro, o Maciço da Tijuca possui uma área de 118,70 km<sup>2</sup> e é contornado/ocupado por bairros nobres e comunidades carentes, dentre elas a Rocinha. Barra da Tijuca, Jacarepaguá, Madureira, Engenho Novo, Grajaú, Tijuca, Catumbi, Laranjeiras, Jardim Botânico e São Conrado são os bairros que contornam essa região (Chaves, 2016).

O maciço é subdividido em 5 (cinco) sistemas hidrográficos agrupados em 3 vertentes (Norte, Sul e Oeste), conforme **Figura 11**, onde na vertente sul encontra-se a Rocinha. Sob um ponto de vista geral pode-se afirmar que todos esses subsistemas estão ambientalmente degradados devido às ocupações desordenadas, desmatamentos e queimadas (Chaves, 2016).

A vegetação do maciço é composta por formações florestais densas e de grande porte de áreas de clima mesotérmico, as quais algumas espécies perdem suas folhas dependendo da duração da estação seca. Quanto ao clima, este é definido como tropical de altitude. Onde até os 500 metros de altitude o clima é tropical e acima desta cota a temperatura é considerada climática temperada. A temperatura média é de 22°C, a precipitação média é de 2.200 mm e o período de maior precipitação ocorre entre outubro e abril (Sales, 2016).

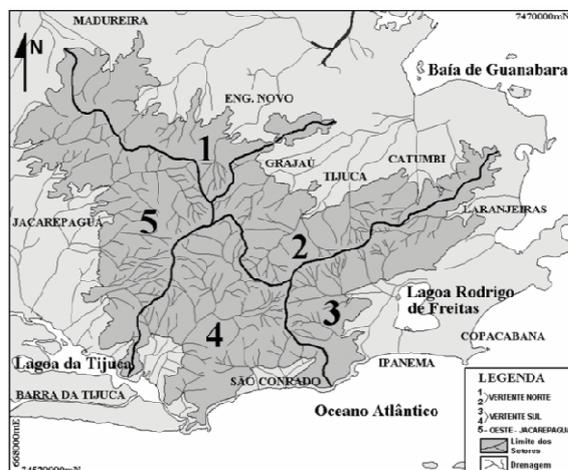


Figura 11: Mapa de localização do Maciço da Tijuca (Fernandes, 1998)

No extremo sul do Maciço da Tijuca encontra-se a Comunidade da Rocinha. A sudoeste encontra-se a Comunidade Matinha (R.A. Rocinha); na mesma vertente da Rocinha, a sudeste, localiza-se o Morro do Vidigal e a Chácara do Céu. Do outro lado da vertente do Morro Dois Irmãos, a nordeste, nos arredores do bairro nobre da Gávea encontra-se a Vila Parque da Cidade (Lima, 2017). As imagens das **Figura 12** a **Figura 14** apresentam uma vista geral da Rocinha

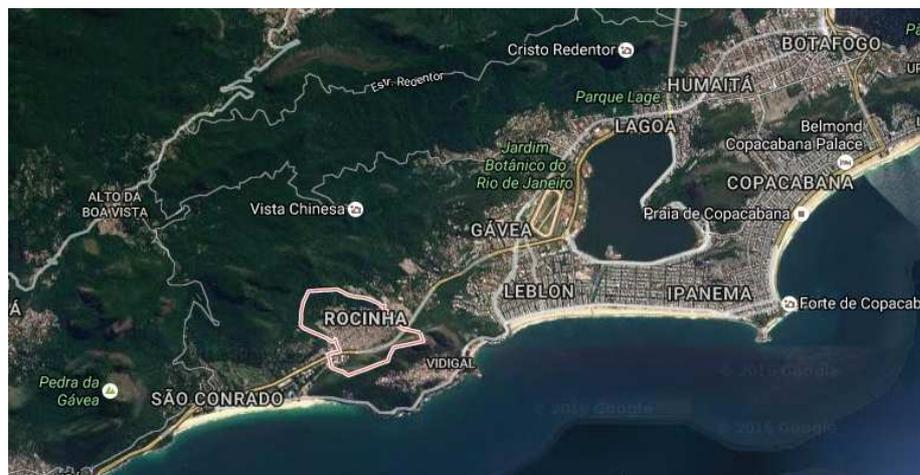


Figura 12: Vista aérea da Rocinha (Google Maps, 2017)



Figura 13: Vista aérea da Rocinha (Google Maps, 2017)



Figura 14: Vista panorâmica da Rocinha (Portal R7, 2016)

Segundo Lima (2017), a geomorfologia da comunidade é caracterizada em sua parte central por vertentes côncavas que delineiam talvegues adjacentes às escarpas do Morro Dois Irmãos e a noroeste a comunidade é bordejada por vertentes convexas-côncavas. Em seu extremo norte-nordeste há o setor conhecido como Laboriaux ao longo de toda a cumeeira divisora que separa a Rocinha do bairro nobre da Gávea.

Ainda segundo Lima (2017): “o desnível topográfico da Rocinha é de 260 m e sua declividade média varia entre 45 – 55%, podendo chegar a alguns locais com mais de 70%, na medida em que vai se atingindo cotas mais altas. O setor Laboriaux, ocupa uma área de aproximadamente 5.000 m<sup>2</sup>, com elevação atingindo 300 m de cota e, encostas norte e sul atingindo até 80% de declividade em suas bordas, sendo constituídas por rochas quartzíticas sobrepostas a um perfil de alteração, onde afloram solos residuais e depósitos coluvionares localizados”.

A litologia predominante na Comunidade da Rocinha é o Gnaisse Facoidal, encontrado na região central, oeste, extremo noroeste e extremo sul. Também pode ser encontrado o Biotita Gnaisse em parte da região central, extremo norte e nordeste da comunidade. Essas rochas originam solos residuais e coluvionares de espessuras variáveis, encontrados na comunidade da Rocinha (Lima, 2017).

O solo da região é composto principalmente de solo residual, tálus/colúvio, escombros, lixo e entulho (Lima, 2017).

## 2.2 Ocupação antrópica

Desde 1986, por meio do decreto 6.011, a Rocinha passa a ter status de bairro. Contudo, apenas em 1993, com a Lei 1.995, foram oficializados os limites reais da Rocinha. Mesmo sendo oficialmente um bairro, predominam na Rocinha as mesmas condições típicas de qualquer comunidade carente do Rio de Janeiro (Rocinha.org, 2011).

Sua história começa com a ocupação da Fazenda Quebra-Quangalha que possuía 550.000 m<sup>2</sup> de área, a qual foi dividida em lotes de 270 m<sup>2</sup> para investimentos futuros da Companhia Castro Guidon, caracterizando os setores das Ruas 1, 2, 3 e 4. Com a falência desta companhia e com a chegada cada vez maior de migrantes nordestinos para o Rio de Janeiro no início da década de 1930, toda esta área foi ocupada gradualmente devido, principalmente, à sua proximidade aos polos de trabalho destes migrantes (Rocinha.org, 2011).

Na década de 1930 a área era ocupada por uma pequena chácara com plantação de alimentos e criação de animais que eram vendidos em uma feira onde hoje se localiza a Praça Santos Dumont. Admirados com a qualidade dos produtos, os clientes perguntavam de onde eles vinham, tal qual os produtores respondiam que eles vinham de sua rocinha, apontando para o alto da Gávea, relata o historiador Milton Teixeira ao Jornal O Globo (2011). A **Figura 15** mostra uma imagem histórica da antiga chácara.

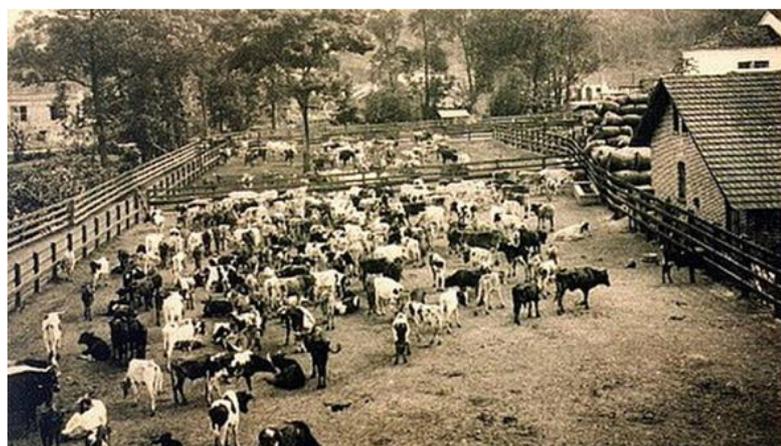


Figura 15: Foto histórica da Rocinha na década de 1930 (Lucena, 2016)

Segundo os dados disponibilizados pela UPP Rocinha (Unidade de Polícia Pacificadora da Rocinha), a população estimada da Região é de mais de 70.000 habitantes, distribuídos em mais de 26 mil domicílios. A área total de todas as 25 comunidades que compõem a Rocinha é de 887.587 m<sup>2</sup> (**Figura 16 e Tabela 11**).

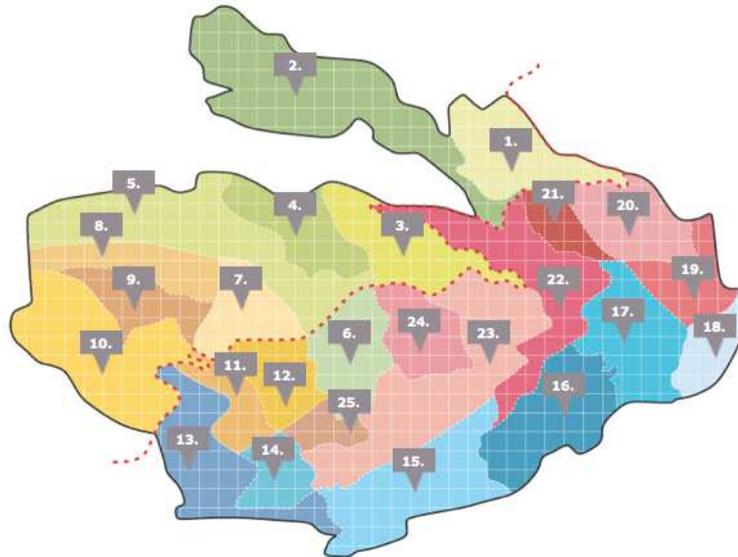


Figura 16: Esquema da Rocinha com seus 25 sub-bairros. (Rio Then, 2014)

Tabela 11: Sub-bairros da Rocinha

Sub-bairros da Rocinha			
1	Vila cruzado	13	Bairro Barcelos
2	Laboriaux	14	Largo do boiadeiro
3	Portão vermelho	15	Roupa suja
4	Vila união	16	Macega
5	Dionéia	17	Terreirão
6	Rua 4	18	Capado
7	Almir	19	Faz depressa
8	Cachopa	20	Setor 199
9	Cachopinha	21	Vila vermelha
10	Vila verde	22	Rua 1
11	UPM MR	23	Rua 2
12	Cidade Nova	24	Rua 3
		25	Campo da esperança

### **3 CONCEITOS DE PROBABILIDADE**

Mapas de suscetibilidade, mapas de risco e mapas de probabilidades de deslizamentos necessitam de constante atualização para que contenham informações realistas sobre as condições geotécnicas dos locais analisados. Com essas informações, o poder público e os profissionais capacitados podem agir de modo a mitigar e evitar catástrofes. Sendo assim, busca-se neste capítulo apresentar uma distribuição de probabilidades com versatilidade tal que seja possível realizar atualizações rápidas e periódicas desses mapas e que contemple os fenômenos abordados nesta pesquisa, os quais resultam em eventos mutuamente exclusivos.

Ao longo deste capítulo serão apresentados os conceitos gerais de probabilidade que culminarão na distribuição de probabilidades que atende aos requisitos desejados: a distribuição beta. Dessa forma, serão abordadas algumas definições gerais de probabilidade (teoria dos conjuntos, espaço amostral, eventos), teoremas de probabilidade e as principais distribuições de probabilidade que embasam este estudo.

#### **3.1 Probabilidade e engenharia civil**

Segundo Harr (1987), a função primordial de todo engenheiro é projetar e construir meios de utilizar adequadamente as forças da natureza através de sistemas para o benefício da humanidade. Esses sistemas devem ser projetados e contruídos de maneira econômica atendendo a determinados níveis de segurança. Além disso, na engenharia civil, os carregamentos aos quais as estruturas estão submetidas nunca são completamente conhecidos, portanto, os sistemas projetados e construídos passam por 4 (quatro) etapas: 1 - a coleta de amostras; 2 - a submissão destas amostras a ensaios padronizados para a obtenção de parâmetros (propriedades); 3 - a utilização desses parâmetros em fórmulas; 4 - a utilização da experiência do engenheiro por meio de fatores de segurança aplicáveis a cada situação.

Portanto, o desempenho de um sistema dependerá da quantidade e da qualidade de informações que se tem disponível para o projeto deste sistema. Logo, o sucesso de um sistema pode ser entendido como a “probabilidade de um sistema desempenhar adequadamente as funções para as quais foi projetado, em um período específico de tempo, sob condições específicas” (Harr, 1987). Esta definição implica em quatro elementos essenciais:

1. O sucesso de um sistema é expresso como uma probabilidade.
2. A qualidade de desempenho é uma expectativa.
3. Essa expectativa é por um período de tempo.
4. Essa expectativa trata do desempenho sob condições específicas.

A probabilidade de ruína e a confiabilidade de um sistema (no projeto e na construção) estão sujeitas à variação de condições. O desafio da engenharia civil é conciliar a experiência adquirida em cenários convencionais, para desenvolver-se em cenários ainda desconhecidos (Harr, 1987).

Portanto, a confiabilidade de um sistema pode ser definida, quantificada, testada e confirmada.

### **3.2 Fenômenos, experimentos e modelos matemáticos**

Inicialmente é preciso ter bem clara a ideia da existência de fenômenos, experimentos e modelos matemáticos. Como já apresentado no capítulo 1, “fenômeno é tudo o que na natureza é momentâneo e sucede poucas vezes” (Aurélio, 2016). Sendo assim, todo fenômeno da natureza pode ser apenas observado, não havendo como ter influência direta sobre ele. Já os experimentos ( $\epsilon$ ) são ensaios elaborados sob condições específicas, visando o entendimento dos fenômenos. Para melhor compreender esses fenômenos, profissionais de diferentes áreas (dentre eles o engenheiro geotécnico) realizam experimentos e elaboram modelos matemáticos para representar e elucidar esses fenômenos, possibilitando a previsão de seus resultados e consequências, a fim de evitar catástrofes.

A escolha de um modelo matemático adequado pode fornecer com precisão os resultados de um fenômeno ou experimento. Certamente que qualquer que seja o modelo adotado, alguns pormenores poderão/deverão ser desprezados, afetando o

resultado. No entanto a qualidade desses resultados estará diretamente relacionada com a importância desses pormenores no entendimento do fenômeno ou experimento. Segundo Neyman (1954), é difícil afirmar se um modelo matemático é adequado a um determinado experimento antes da obtenção de alguns resultados. Além disso, é necessário deduzir uma determinada quantidade de resultados possíveis na aplicação do modelo estudado para compará-los com os resultados reais do fenômeno ou experimento.

### 3.2.1 Modelos matemáticos determinísticos

De maneira sucinta, pode-se afirmar que um experimento determinístico é aquele em que sob as mesmas condições os resultados sempre serão os mesmos e, portanto, nestes experimentos são utilizados modelos matemáticos determinísticos. Como exemplo de modelo matemático determinístico pode-se citar a 2ª Lei de Newton  $F = M \times a$ , onde (F) é a força motora impressa sobre um corpo, sendo esta diretamente proporcional à massa (M) e à aceleração (a) necessária à movimentação desse corpo. Esse modelo é considerado determinístico, pois através dele é possível prever o resultado da força (F), tão logo se possua os valores de (M) e (a), ou seja, se este experimento for realizado diversas vezes sob as mesmas condições básicas, espera-se observar o mesmo resultado para o valor da força (F). Além disso, os pequenos desvios e pormenores desprezados nesse modelo matemático não influenciarão o experimento a ponto de alterar significativamente o resultado esperado (Meyer, 1983).

### 3.2.2 Modelos matemáticos probabilísticos

Por outro lado, nem todos os experimentos e fenômenos da natureza podem ser descritos por modelos determinísticos. Alguns exemplos podem ser citados:

- a. ( $\epsilon_1$ ) No lançamento de um dado, qual será o número mostrado na face superior?
- b. ( $\epsilon_2$ ) Qual a quantidade de peças perfeitas produzidas em uma fábrica durante uma jornada de 8 horas de trabalho?
- c. ( $\epsilon_3$ ) Qual a resistência à compressão diametral de corpos de prova de concreto?

- d. ( $\epsilon_4$ ) Qual a possibilidade de ocorrência de perdas de vidas humanas em um deslizamento gerado por uma chuva que exceda um limiar de 65 mm/h?

Analisando as quatro situações citadas, segundo Meyer (1983), poder-se-iam levantar três características comuns a esses experimentos.

1. Cada uma das situações apresentadas pode ser repetida sob as mesmas condições básicas inalteradas.
2. Embora não seja possível afirmar com precisão qual o resultado do experimento, é possível descrever o conjunto de todos os resultados possíveis de cada experimento.
3. Inicialmente os resultados de cada experimento poderão parecer aleatórios, contudo, ao serem repetidos diversas vezes, surgirá uma regularidade nos resultados desses experimentos. Esta regularidade permitirá a criação de um modelo adequado a cada situação, caracterizando-se como um modelo probabilístico.

Portanto, em linhas gerais, um modelo probabilístico é aquele em que as condições básicas do experimento determinam apenas a lei probabilística que rege o experimento fornecendo resultados prováveis (verossímeis). (Meyer, 1983)

### **3.3 Noções fundamentais da Teoria dos Conjuntos**

#### **3.3.1 Espaço amostral e eventos**

Dado um determinado experimento ( $\epsilon$ ), o conjunto de todos os resultados que sejam possíveis de se obter nesse experimento é chamado de “espaço amostral” (S). Sendo assim, poderiam ser definidos os seguintes espaços amostrais para cada situação anteriormente apresentada como:

- a.  $S_1 = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ .
- b.  $S_2 = \{0, 1, 2, 3, \dots, N\}$ , onde N representa a máxima produção da jornada de 8 horas de trabalho.
- c.  $S_3 = \{C_d / C_d \geq 0\}$ , onde  $C_d$  é a resistência à compressão diametral de um corpo de prova de concreto.

- d.  $S_4 = \{M / M = 0 \text{ ou } M = 1\}$ , sendo M a possibilidade da ocorrência de morte em um determinado deslizamento. Portanto se houver mortes, M assumirá o valor 1 , caso contrário M assumirá o valor 0.

Entende-se como evento (A) um resultado particular que possa ocorrer em determinado espaço amostral. Portanto o evento é um subconjunto de um experimento ( $\epsilon$ ), o qual está associado ao seu espaço amostral (S). Por exemplo, para os experimentos citados poder-se-ia estar interessado em:

- $A_1$ : a ocorrência de um número ímpar, logo,  $A_1 = \{1, 3, 5\}$ .
- $A_2$ : a ocorrência de peças defeituosas, logo,  $A_2 = \{0\}$ .
- $A_3$ : analisando-se 12 corpos de prova, a ocorrência de corpos de prova com resistência superior a 25 MPa, logo,  $A_3 = \{N / 0 \leq N \leq 12\}$ .
- $A_4$ : a ocorrência de morte em um determinado deslizamento, logo,  $A_4 = \{1\}$ .

### 3.3.2 Operações com eventos

No cotidiano do exercício da profissão, engenheiros precisam tomar decisões sobre eventos complexos e estas decisões são embasadas em probabilidades de eventos elementares. De tal modo que um evento complexo pode ser entendido como uma combinação de eventos elementares. Sendo assim, para se trabalhar com modelos matemáticos probabilísticos para eventos complexos, torna-se necessário o conhecimento das operações básicas com eventos.

Para a representação de conjuntos e eventos recorre-se aos Diagramas de Venn, os quais foram desenvolvidos no século XIX pelo filósofo e matemático britânico John Venn, então professor da Universidade de Cambridge. Desenhando-se curvas fechadas simples sobre um plano é possível representar conjuntos e suas relações de pertinência e continência, bem como as devidas operações com eventos (USP-Veduca, 2016).

São quatro as operações básicas com eventos e estas operações fornecerão as bases para o desenvolvimento dos Teoremas da Probabilidade.

### 3.3.2.1 Operação união ( $A \cup B$ )

A operação união se dá quando houver a ocorrência do evento A ou do evento B ou dos dois eventos, sendo representada pela **Figura 17**.

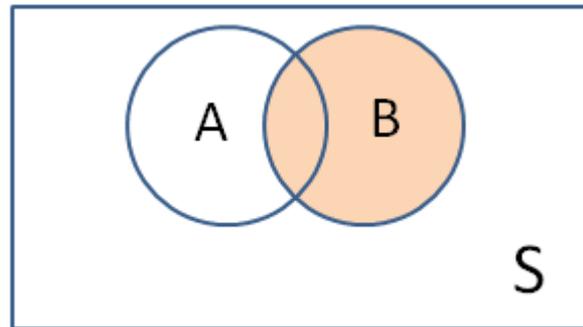


Figura 17: Diagrama de Venn para a operação união dos eventos A e B

### 3.3.2.2 Operação interseção ( $A \cap B$ )

A operação interseção se dá quando há a ocorrência do evento A e do evento B, sendo representada pela **Figura 18**.

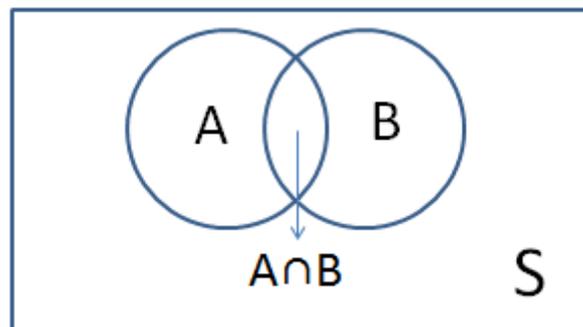


Figura 18: Diagrama de Venn para a operação interseção dos eventos A e B

### 3.3.2.3 Operação complementar ( $\bar{A}$ )

A operação ou evento complementar representa todos os resultados que não pertencem ao evento considerado, referente ao espaço amostral (S), apresentada na **Figura 19**.

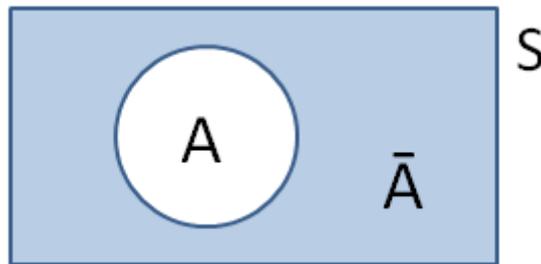


Figura 19: Diagrama de Venn para o evento complementar

### 3.3.2.4 Eventos mutuamente exclusivos ( $A \cap B = \Phi$ ) e eventos independentes

Eventos mutuamente exclusivos (ou excludentes) são aqueles que não podem ocorrer simultaneamente. Ou seja, a interseção entre esses eventos é, necessariamente, o conjunto vazio, como visto na **Figura 20**.

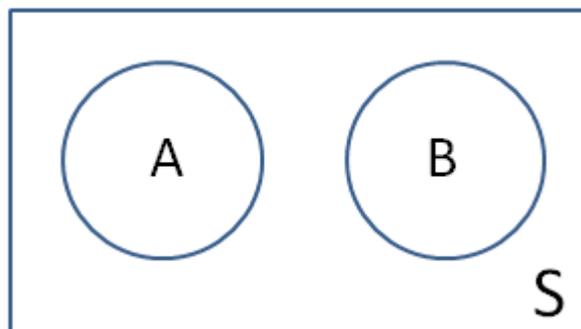


Figura 20: Diagrama de Venn para eventos mutuamente exclusivos

Vale ressaltar também a existência de eventos considerados independentes. Os eventos A e B serão considerados independentes se um deles não influenciar de modo nenhum a probabilidade de ocorrência do outro.

## 3.4 Definições de probabilidade

Dado que o sucesso de uma construção depende de sua confiabilidade, ou seja, de sua “capacidade de atender adequadamente às funções para as quais foi projetada, em um período específico de tempo, sob condições específicas” (Harr, 1987), esta definição implica que a confiabilidade seja expressa em termos de probabilidade. Portanto, serão apresentadas as quatro definições de probabilidade.

### 3.4.1 Definição clássica (Harr, 1987), (USP-Veduca, 2016)

A definição clássica de probabilidade foi desenvolvida pelo matemático Pierre Simon Laplace em 1812. Segundo esta definição, a probabilidade de um evento (A) pode ser descrito na forma da equação (7).

$$P(A) = \frac{M}{N} \quad (7)$$

Onde:

P(A): é a probabilidade de ocorrência do evento A.

M: é o número de casos favoráveis de ocorrência do evento A.

N: é o número de casos possíveis.

Esta definição implica que todos os casos tenham as mesmas possibilidades de ocorrência, em outras palavras, que sejam igualmente verossímeis, como é o caso do lançamento de um dado ou uma moeda não viciados.

### 3.4.2 Definição frequencalista (USP-Veduca, 2016)

A definição frequencalista de probabilidade parte do conceito da medição direta ou quantificação do número de ocorrências de um determinado evento dado um espaço amostral, assemelhando-se à frequência relativa de um determinado evento. Esta definição pode ser expressa por meio da equação (8).

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \frac{M}{N} \quad (8)$$

Onde:

M: é o número de casos favoráveis de ocorrência do evento A.

N: é o número de casos possíveis.

Há duas inconveniências na utilização desta definição. A primeira delas é que, apesar da frequência relativa poder resultar em dados bem próximos à realidade, não está claro qual deva ser a quantidade de vezes que o experimento deverá ser realizado para que se tenha um valor adequado.

A segunda inconveniência desta definição para diversos sistemas de engenharia é que ela exige que os eventos já tenham ocorrido para que haja a mensuração da probabilidade, fato que não é possível esperar acontecer, na maioria dos casos, visto que uma edificação é construída apenas uma vez esperando-se que ela seja eficiente durante toda sua vida útil. Ou seja, ou haverá sucesso ou insucesso na sua execução.

### 3.4.3 Definição axiomática (Harr, 1987), (USP-Veduca, 2016)

Para o perfeito entendimento da definição clássica desenvolvida por Laplace, deve-se compreender os 3 Axiomas da Probabilidade.

**Axioma I:** a probabilidade de ocorrência de um evento encontra-se entre 0 e 1, segundo a equação (9).

$$0 \leq P(A) \leq 1 \quad (9)$$

**Axioma II:** a probabilidade de ocorrência do evento certo, ou seja, entendendo-se o espaço amostral também como um evento, é igual a 1, como visto na equação (10).

$$P(C) = 1 \quad (10)$$

**Axioma III:** a probabilidade de ocorrência da soma de eventos mutuamente exclusivos  $A_1, A_2, A_3, \dots, A_N$  é a soma de cada probabilidade individualmente, como na equação (11).

$$P(A_1, A_2, A_3, \dots, A_N) = P(A_1) + P(A_2) + P(A_3) + \dots + P(A_N) \quad (11)$$

Estes axiomas conduzem a uma importante conclusão do ponto de vista da engenharia, a saber:

$$P(\text{sucesso} + \text{ruína}) = P(\text{sucesso}) + P(\text{ruína}) = 1$$

Uma vez que sucesso ou insucesso são eventos mutuamente exclusivos, simplifadamente pode-se escrever segundo a equação (12).

$$R + q = 1 \tag{12}$$

Onde:

R: é a probabilidade de sucesso da obra.

q: é a probabilidade de ruína da obra.

#### 3.4.4 Definição subjetiva (USP-Veduca, 2016)

Já a definição subjetiva de probabilidade é uma avaliação pessoal baseada no conceito prévio e na experiência de cada um.

Portanto, a partir de todas as definições de probabilidade citadas, pode-se entender que probabilidade é a medida da informação e da crença que se tem sobre a ocorrência de um evento.

### 3.5 Teoremas gerais da Probabilidade

Uma vez entendidas as operações com eventos e as definições de probabilidade com seus axiomas, é possível passar ao entendimento dos Teoremas da Probabilidade. Os axiomas citados nos conduzem aos seguintes teoremas.

#### 3.5.1 Teorema 1: A probabilidade do evento impossível é zero (Meyer, 1983), (USP-Veduca, 2016)

Este teorema pode ser elucidado pela equação (13).

$$P(\Phi) = 0 \tag{13}$$

Onde:

$\Phi$ : Conjunto vazio ou evento impossível.

Este teorema é simples de ser compreendido da seguinte maneira: dado um evento (A) qualquer, pode-se dizer que  $A = A \cup \Phi$ . Como esses eventos são mutuamente exclusivos, tem-se pelo axioma III que:  $P(A) = P(A \cup \Phi) = P(A) + P(\Phi)$ . Vale ressaltar que a recíproca nem sempre é verdadeira, visto que em certas ocasiões atribui-se a probabilidade zero à ocorrência de algum evento.

### 3.5.2 Teorema 2: Teorema do evento complementar ( $\bar{A}$ ) (Meyer, 1983), (USP-Veduca, 2016)

Sabendo que o espaço amostral pode ser descrito como  $S = A \cup \bar{A}$ , e, a partir dos axiomas II e III, pode-se concluir que:  $P(A) + P(\bar{A}) = 1$ , resultando na equação (14) e evidenciado anteriormente no diagrama de Venn da **Figura 19**.

$$P(A) = 1 - P(\bar{A}) \quad (14)$$

Esta forma de escrita do espaço amostral poderá facilitar os cálculos de probabilidades mais complexas, onde se pode optar por calcular a probabilidade do evento complementar e subtraí-la de 1 (espaço amostral).

### 3.5.3 Teorema 3: Teorema da união (Meyer, 1983), (USP-Veduca, 2016)

Dado um espaço amostral com dois eventos A e B quaisquer, como exemplificado no diagrama da **Figura 21**, e, aplicando-se os axiomas II e III é possível desenvolver este teorema até a forma da equação (15).

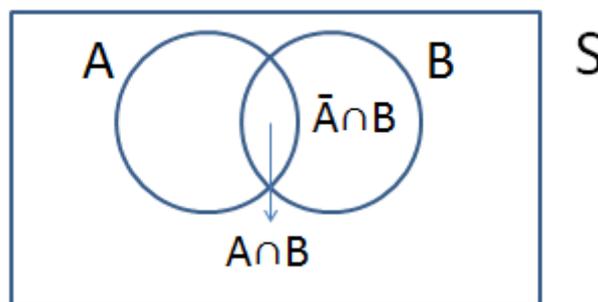


Figura 21: Teorema da união

$$A \cup B = A \cup (B \cap \bar{A}), \text{ e, } B = (A \cap B) \cup (B \cap \bar{A}), \text{ logo,}$$

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B \cap \bar{A}), \text{ e, } P(B) = P(A \cap B) + P(B \cap \bar{A})$$

E subtraindo-se as duas igualdades chega-se à seguinte conclusão:

$$P(A \cup B) - P(B) = P(A) - P(A \cap B), \text{ logo:}$$

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B) \quad (15)$$

É relativamente simples entender a necessidade da subtração do evento  $P(A \cap B)$  quando se observa o diagrama de Venn da **Figura 18**, pois somando-se diretamente os dois eventos a região de interseção entre os eventos A e B estaria sendo contabilizada duas vezes.

**Exemplo 1** (Harr, 1987)

Numa fábrica de parafusos em uma determinada hora foram produzidas 100 peças. Destas, 15 peças estão deterioradas, 8 foram fabricadas fora do padrão e 6 possuem ambos os defeitos. Ao se retirar uma amostra aleatória da produção, qual a probabilidade de se encontrar um parafuso defeituoso?

- **Resolução pelo teorema da união:**

$P(\text{encontrar um parafuso defeituoso}) = P(A) = P(\text{peça deteriorada}) + P(\text{peça fora do padrão}) - P(\text{ambos os defeitos}), \text{ logo:}$

$$P(A) = (15/100) + (8/100) - (6/100) = 0,17 \text{ ou } 17\%$$

- **Resolução pelo Diagrama de Venn, Figura 22:**

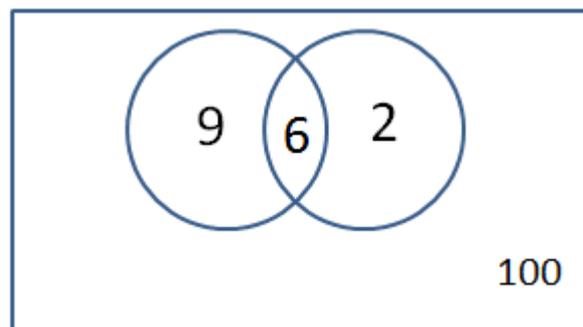


Figura 22: Resolução pelo diagrama de Venn

Afinal, das 15 peças deterioradas, 6 peças também estão fora do padrão, restando apenas 9 peças com o primeiro defeito. E, das oito peças fora do padrão, 6 peças também estão deterioradas, restando apenas duas peças apenas com o segundo defeito. Logo:  $P(A) = ((9+6+2) / 100) = 0,17 = 17\%$ .

Obviamente, para eventos mutuamente exclusivos retorna-se ao axioma III. Além disso, estendendo-se este teorema para três eventos tem-se, como na **Figura 23**, a forma da equação (16) e equação (17) para k eventos.

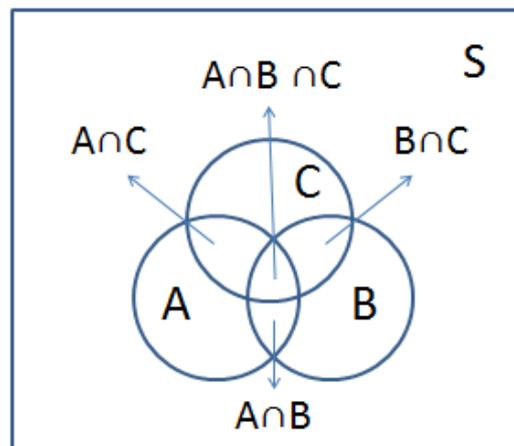


Figura 23: Teorema da união para 3 eventos

$$P(A \cup B \cup C) = P(A) + P(B) + P(C) - P(A \cap B) - P(A \cap C) - P(B \cap C) + P(A \cap B \cap C) \quad (16)$$

Ou para k eventos:

$$P(A_1 \cup A_2 \cup \dots \cup A_k) = \sum_{i=1}^k P(A_i) - \sum_{i < j = 2}^k P(A_i \cap A_j) + \sum_{i < j < r = 3}^k P(A_i \cap A_j \cap A_r) + \dots + (-1)^{k-1} P(A_1 \cap A_2 \cap \dots \cap A_k) \quad (17)$$

### 3.5.4 Teorema 4: Se $A \subset B$ , então $P(A) \leq P(B)$ (Meyer, 1983)

Apesar de intuitivo, vale o desenvolvimento deste teorema, da seguinte forma:

Sabendo que  $B = A \cup (B \cap \bar{A})$ , então  $P(B) = P(A \cup (B \cap \bar{A})) \geq P(A)$ , pois pelo axioma I,  $P(B \cap \bar{A}) \geq 0$ . Este resultado é intuitivo, pois se B deve ocorrer sempre que A ocorra, logo a probabilidade de ocorrência de B é maior que a probabilidade de ocorrência de A.

### 3.5.5 Probabilidade condicionada (Harr, 1987), (Meyer, 1983), (USP-Veduca, 2016)

Outro conceito de grande utilidade é a probabilidade condicionada. Para defini-la, inicialmente utiliza-se apenas a noção intuitiva. Portanto, probabilidade condicionada é a probabilidade de ocorrência de um evento (A) tendo-se a informação preliminar de que outro evento (B) ocorreu. Para ficar mais clara essa ideia, recorre-se a dois exemplos bastante simples.

#### **Exemplo 2** (Harr, 1987), (USP-Veduca, 2016)

- a. Ao se retirar uma carta aleatoriamente de um baralho, qual a probabilidade de que esta carta seja um rei de ouros? Obviamente a resposta seria  $P(A) = 1/52$ .
- b. Ao se retirar uma carta aleatoriamente de um baralho, qual a probabilidade de que esta carta seja um rei de ouros, sabendo que a carta retirada corresponde a uma figura? Neste caso a resposta seria  $P(A/B) = 1/12$ .

Ao analisar cuidadosamente cada situação, percebe-se rapidamente que no evento (A) o espaço amostral corresponde a todas as cartas do baralho, ou seja, 52 cartas, sendo o rei de ouros uma dessas cartas. Já no segundo caso, evento (B), a informação de que a carta retirada corresponde a uma figura altera o espaço amostral a ser analisado, definindo um novo espaço amostral reduzido e aumentando a probabilidade de ocorrência do evento. Este fato está em plena conformidade com a definição de probabilidade feita neste trabalho na seção 3.4.4, que “probabilidade é a medida da informação e da crença que se tem sobre a ocorrência de um evento”.

**Exemplo 3** (Meyer, 1983)

Lançando-se dois dados honestos simultaneamente, registram-se os resultados em pares ordenados  $(x_1, x_2)$ . O espaço amostral (S) deste experimento é o seguinte:

$$S = \left\{ \begin{array}{cccc} (1,1) & (1,2) & \dots & (1,6) \\ (2,1) & (2,2) & \dots & (2,6) \\ \vdots & & & \vdots \\ (6,1) & (6,2) & \dots & (6,6) \end{array} \right\}$$

Considerem-se dois eventos:

$$A = \{(x_1, x_2) / x_1 + x_2 = 10\}; \text{ e,}$$

$$B = \{(x_1, x_2) / x_1 > x_2\}.$$

Com isso têm-se as seguintes probabilidades:

$$P(A) = 3/36 = 1/3$$

$$P(B) = 15/36$$

$P(B/A) = 1/3$ , este valor representa a probabilidade de ocorrência do evento B condicionada à ocorrência do evento A. Em outras palavras, ele representa a probabilidade de ocorrência de B no espaço amostral de A (o qual contém três elementos apenas). De semelhante modo, também se pode calcular  $P(A/B) = 1/15$  (no espaço amostral de B existem 15 elementos).

Além disso, qual seria a probabilidade da ocorrência do evento  $A \cap B$ ? Este evento apenas ocorre se, e somente se,  $x_1 + x_2 = 10$ , e,  $x_1 > x_2$ . Este evento ocorre apenas uma vez com o seguinte par ordenado (6,4). Logo  $P(A \cap B) = 1/36$ .

A partir da definição clássica de probabilidade, Equação (7), e analisando os resultados acima, pode-se concluir que a probabilidade condicionada pode ser escrita conforme a equação (18).

$$P(A/B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)} \quad (18)$$

Sendo  $P(B) > 0$

Ou

$$P(B/A) = \frac{P(A \cap B)}{P(A)}$$

Sendo  $P(A) > 0$

Portanto:

$P(A \cap B)$ : número de casos favoráveis, sendo necessário atender simultaneamente aos eventos A e B.

$P(A)$ : número de casos possíveis dentro do novo espaço amostral A definido pela informação preliminar da ocorrência do evento A.

$P(B)$ : número de casos possíveis dentro do novo espaço amostral B definido pela informação preliminar da ocorrência do evento B.

$P(A/B)$  ou  $P(B/A)$ : é a probabilidade de ocorrência da interseção dos eventos A e B no espaço amostral de um dos dois eventos. Logo, o diagrama de Venn para o caso de probabilidade condicionada é o mesmo utilizado nos casos de interseção evidenciado na **Figura 18**.

Portanto conclui-se que a probabilidade condicionada  $P(A/B)$  pode ser calculada de duas maneiras (Meyer, 1983):

1. De forma direta considerando  $P(A)$  em relação ao espaço amostral reduzido de B.
2. Utilizando a definição desenvolvida, onde  $P(A \cap B)$  e  $P(B)$  estão calculados em relação ao espaço amostral total S.

### 3.5.6 Teorema 5: Teorema do produto (Meyer, 1983), (USP-Veduca, 2016)

O desenvolvimento do conceito da probabilidade condicionada leva a outro importante teorema da probabilidade: o teorema do produto, como mostrado na equação (19).

$$P(A \cap B) = P(A/B) \times P(B)$$

Ou (19)

$$P(A \cap B) = P(B/A) \times P(A)$$

Este teorema é aplicado para o cálculo da probabilidade de ocorrência de dois eventos simultaneamente.

Para o caso de três eventos simultâneos tem-se a equação (20).

$$P(A \cap B \cap C) = \underbrace{P(A) \times P(B/A)}_{P(A \cap B)} \times P(C/A \cap B) \quad (20)$$

No caso de eventos independentes, tem-se que  $P(A/B) = P(A)$ , então o teorema assume a forma da equação (21).

$$P(A \cap B) = P(A) \times P(B) \quad (21)$$

E generalizando para K eventos, o teorema assume a forma da equação (22).

$$P(A \cap B \cap \dots \cap K) = P(A) \times P(B) \times \dots \times P(K) \quad (22)$$

### 3.5.7 Teorema 6: Teorema da probabilidade total (Meyer, 1983), (USP-Veduca, 2016)

Até este momento encarou-se o espaço amostral como um grande conjunto que possui eventos ou subconjuntos “soltos” dentro deste espaço. Fazendo uma analogia com a engenharia química de misturas e soluções, o espaço amostral seria uma “mistura não homogênea”, como por exemplo, a mistura de água e areia. Nesta mistura cada grão visível de areia seria um evento e tudo aquilo que estivesse ao redor deste grão (evento) seria o evento complementar (**Figura 24.a**).

Contudo, também é possível imaginar o espaço amostral como sendo um grande conjunto “maciço” dividido em partes menores que se complementam como um grande mosaico (**Figura 24.b**). Logicamente, todos os eventos que estão fora de cada partição compõem o evento complementar do evento considerado. Esta visão do espaço amostral como sendo um grande bloco partimentado em eventos menores proporciona uma visão mais abrangente do espaço e dos eventos que o constituem.

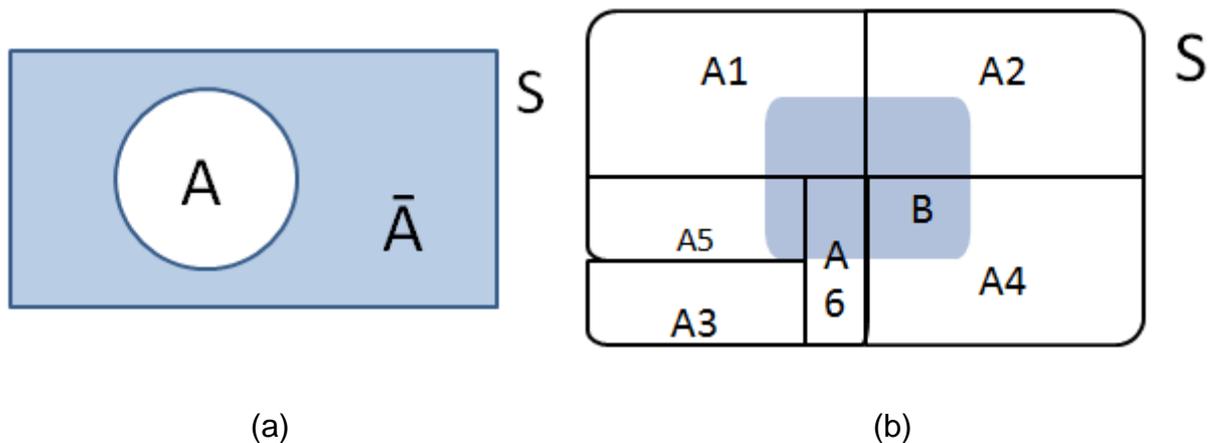


Figura 24: Comparação entre as duas visões do espaço amostral: a) como uma solução não homogênea; b) como um mosaico.

Segundo Meyer (1983), em relação a cada evento  $A_i$ , pode-se dizer que eles representam uma parte do espaço amostral quando atender a 3 (três) condições, a saber:

$$1) \quad A_i \cap A_j = \Phi, \text{ para todo } i \neq j.$$

$$2) \quad \bigcup_{i=1}^k A_i = S$$

$$3) \quad P(A_i) > 0, \text{ para todo } i$$

Dessa forma, quando o experimento ( $\epsilon$ ) é realizado apenas *um, e somente um*, dos eventos  $A_i$  ocorre.

Na **Figura 24.b** ainda pode-se observar a existência de um evento interno (B) que possui interseções com os demais eventos do espaço amostral. Fica fácil visualizar que o evento (B) pode ser descrito como a união de suas interseções com os demais eventos ( $A_i$ ) da seguinte forma:

$$B = (A_1 \cap B) \cup (A_2 \cap B) \cup (A_3 \cap B) \cup \dots \cup (A_n \cap B)$$

Além disso, é evidente que cada evento  $(A_i \cap B)$ , ...,  $(A_n \cap B)$  são dois a dois mutuamente exclusivos, portanto a probabilidade do evento (B) pode ser escrita da seguinte forma:

$$P(B) = P(A_1 \cap B) + P(A_2 \cap B) + P(A_3 \cap B) + \dots + P(A_n \cap B)$$

Como a probabilidade de cada evento  $P(A_i \cap B)$  também pode ser escrito na forma  $P(B/A_i) \times P(A_i)$ , chega-se facilmente ao Teorema da Probabilidade Total descrito na equação (23).

$$P(B) = \sum_{i=1}^n P(A_i \cap B) = \sum_{i=1}^n P(B/A_i) \times P(A_i) \quad (23)$$

Segundo Harr (1987), a parte do evento  $A_i$  que está coberta pelo evento B é chamada de evento *a priori*. Já a parte do evento B que está sobreposta a algum evento  $A_i$ , é conhecida como evento *a posteriori*. Sendo assim, logo percebe-se que a informação sobre a ocorrência do evento  $A_i$  altera a probabilidade de ocorrência do evento B. Um exemplo da eficácia deste teorema é apresentado a seguir.

#### Exemplo 4 (Meyer, 1983)

Numa fábrica foram produzidas 100 peças, sendo 20 defeituosas e 80 não defeituosas. Considere os seguintes eventos:

$A = \{\text{a primeira peça extraída é defeituosa}\},$

$B = \{\text{a segunda peça é defeituosa}\}.$  Qual a probabilidade de que a segunda peça extraída seja defeituosa (com reposição, ou seja, probabilidade incondicional)?

$$P(B) = 20/100 = 1/5.$$

Contudo também pode-se calcular esta probabilidade a partir do teorema da probabilidade total.

$$P(B) = P(B/A) \times P(A) + P(B/\bar{A}) \times P(\bar{A}), \text{ logo:}$$

$$P(B) = [(19/99) \times (1/5)] + [(20/99) \times (4/5)] = 1/5.$$

Apesar de, no exemplo 4, parecer que seja mais simples o cálculo pela definição clássica, vale ressaltar que o intuito do exemplo escolhido é mostrar a veracidade do teorema a partir de cálculos simples.

O teorema da probabilidade total torna-se bastante útil para o cálculo da probabilidade de eventos complexos a partir de eventos simples como pode ser constatado no exemplo 5.

#### Exemplo 5 (Harr, 1987)

Amostras de solo de um determinado perfil de sondagem indicam a composição do solo analisado. Contudo, por diversas razões, nem todas as amostras são representativas. Deseja-se caracterizar o solo em uma determinada profundidade. Qual a probabilidade de uma amostra escolhida aleatoriamente fornecer uma informação confiável? A **Tabela 12** mostra os resultados das amostras.

Deve-se ressaltar que neste exemplo entende-se como confiável uma amostra não amolgada.

Tabela 12: Distribuição percentual de material coletado e confiável

Material	Percentual de material	
	coletado	confiável
Areia	30	27
Silte arenoso	25	10
Silte argiloso	25	30
Argila	20	50

Assim têm-se as seguintes probabilidades simples:

- $P(A_a) = 0,30$ , probabilidade de o material coletado ser areia.
- $P(A_{sa}) = 0,25$ , probabilidade de o material coletado ser silte arenoso.
- $P(A_{sc}) = 0,25$ , probabilidade de o material coletado ser silte argiloso.
- $P(A_c) = 0,20$ , probabilidade de o material coletado ser argila.
- $P(B/A_a) = 0,27$ , probabilidade de o material escolhido ser confiável, dado que é uma areia.
- $P(B/A_{sa}) = 0,10$ , probabilidade de o material escolhido ser confiável, dado que é um silte arenoso.
- $P(B/A_{sc}) = 0,30$ , probabilidade de o material escolhido ser confiável, dado que é um silte argiloso.
- $P(B/A_c) = 0,50$ , probabilidade de o material escolhido ser confiável, dado que é uma argila.

Aplicando-se o teorema da probabilidade total chega-se ao seguinte resultado:

$P(B) = [P(A_a) \times P(B/A_a)] + [P(A_{sa}) \times P(B/A_{sa})] + [P(A_{sc}) \times P(B/A_{sc})] + [P(A_c) \times P(B/A_c)]$ , logo:

$$P(B) = (0,3 \times 0,27) + (0,25 \times 0,10) + (0,25 \times 0,30) + (0,20 \times 0,50) = 0,28 = 28\%$$

O teorema da probabilidade total também será de grande utilidade no desenvolvimento do próximo teorema: o Teorema de Bayes.

### 3.5.8 Teorema 7: Teorema de Bayes (Harr, 1987), (USP-Veduca, 2016)

Ao analisar a ideia da probabilidade condicionada, o teorema do produto e o teorema da probabilidade total, o reverendo e matemático britânico Thomas Bayes da Universidade de Edimburgo desenvolveu um novo teorema que revolucionaria os cálculos probabilísticos. Contudo, seus resultados somente foram publicados em 1763 após a sua morte e denominado de Teorema de Bayes em sua homenagem. Segundo Tribus (1969) *apud* Harr (1987), “historicamente, seu desenvolvimento marcou o início da teoria matemática do pensamento indutivo”.

Como já apresentado na equação (18), partindo da noção de probabilidade condicionada pode-se escrever a equação (18) de duas formas, apresentadas a seguir:

$$P(A_j/B) = \frac{P(A_j \cap B)}{P(B)} \quad \text{Forma I da equação (18)}$$

$$P(B/A_j) = \frac{P(A_j \cap B)}{P(A_j)} \quad \text{Forma II da equação (18)}$$

Portanto o evento interseção entre os eventos A e B, evidenciado pelo Teorema do Produto na equação (19), pode ser escrito de duas maneiras:

$$P(A_j \cap B) = P(A_j/B) \times P(B) \quad \text{Forma I da equação (19)}$$

$$P(A_j \cap B) = P(B/A_j) \times P(A_j) \quad \text{Forma II da equação (19)}$$

Como as formas I e II da equação (18) são semelhantes, opta-se pelo desenvolvimento da primeira, sendo sua resolução estendida para a segunda forma também. Substituindo a forma I da equação (19) na forma I da equação (18), tem-se:

$$P(A_j/B) = \frac{P(A_j/B) \times P(B)}{P(B)}$$

Logo o resultado seria algo óbvio que  $P(A_j/B) = P(A_j/B)$ , não interessando este resultado. Contudo ao se substituir a forma II da equação (19) na forma I da equação (18), tem-se:

$$P(A_j/B) = \frac{P(B/A_j) \times P(A_j)}{P(B)}$$

E aplicando-se o Teorema da Probabilidade Total para definir o denominador  $P(B)$ , tem-se finalmente o Teorema de Bayes na equação (24).

$$P(A_j/B) = \frac{P(B/A_j) \times P(A_j)}{\sum_{i=1}^n P(B/A_i) \times P(A_i)} \quad (24)$$

Onde:  $j = 1, 2, 3, \dots, k$

Analisando a equação (24) e a **Figura 24.b** constatam-se 3 considerações importantes sobre esse teorema, a saber:

1. Esse teorema é bastante aplicado para situações que relacionam causa-efeito.
2. Os eventos da família A são “eventos-causa”. Já os eventos da família B são os “eventos-consequência”.
3. O teorema de Bayes calcula a probabilidade de que tenha sido um particular evento da família A, dada a informação que B ocorreu. Em outras palavras, tem-se a informação sobre a consequência (evento B) e decidi-se voltar e avaliar a probabilidade de que um determinado evento da família A tenha sido a causa do evento B.

O exemplo escolhido a seguir poderá facilitar o entendimento do Teorema de Bayes.

### Exemplo 6

Numa pequena loja de materiais de construção um determinado vendedor possui duas caixas com amostras de granitos de diferentes jazidas,

consequentemente com cores diferentes. A primeira caixa contém duas amostras de cor clara (branca), uma amostra na cor preta e uma amostra de cor acinzentada. Na segunda caixa há uma amostra na cor preta e duas amostras na cor branca. O vendedor passa uma das amostras da primeira caixa para a segunda caixa e logo após retira uma amostra da segunda caixa. Pergunta-se: qual a probabilidade da amostra retirada da 1ª caixa ser preta, dado que a amostra retirada da 2ª caixa foi preta (**Figura 25**)?

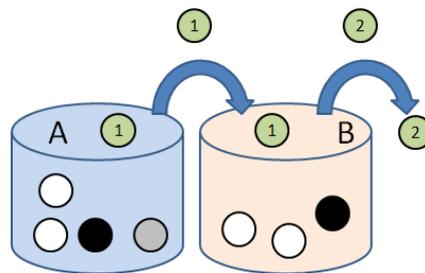


Figura 25: Sequência de eventos na retirada das amostras de granito

Busca-se então a  $P(1^aP/2^aP)$ , ou seja, sabendo o que ocorreu na caixa B, busca-se saber o que ocorreu na caixa A. Portanto aplica-se o teorema de Bayes, evidenciado na equação (18), tem-se:

$$P(1^aP/2^aP) = \frac{P(1^aP \cap 2^aP)}{P(2^aP)}$$

$$P(1^aP \cap 2^aP) = P(2^aP / 1^aP) \times P(1^aP) = (2/4) \times (1/4) = 1/8$$

$$P(2^aP) = [P(2^aP/1^aB) \times P(1^aB)] + [P(2^aP/1^aP) \times P(1^aP)] + [P(2^aP/1^aC) \times P(1^aC)]$$

$$P(2^aP) = \frac{1}{4} \times \frac{2}{4} + \frac{2}{4} \times \frac{1}{4} + \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{5}{16}$$

Portanto:

$$P(1^aP/2^aP) = (1/8) / (5/16) = 2/5 = 0,4 \text{ ou } 40\%$$

Vale uma rápida análise do resultado encontrado.

1. Sem a informação sobre a caixa B, a probabilidade da retirada de uma amostra preta da caixa A é de  $\frac{1}{4} = 25\%$ .
2. Com a informação sobre a caixa B, a probabilidade da retirada de uma amostra preta da caixa A aumenta para  $\frac{2}{5} = 40\%$ .
3. Portanto, sabe-se que na verdade o evento ocorrido na caixa A não depende do ocorrido na caixa B. No entanto, a nova informação sobre o ocorrido da caixa B corrobora para o aumento do grau de certeza sobre o que possa ter ocorrido na caixa A. Há, portanto uma atualização da probabilidade.

### **3.6 Funções, parâmetros e suas propriedades**

#### **3.6.1 Variáveis aleatórias**

Até o momento, no desenvolvimento dos principais teoremas e nos exemplos relacionados a eles fica clara a ideia (quase intuitiva) que a probabilidade deve estar associada a um número que a represente. Certamente que este número será uma consequência das análises realizadas com os eventos associados a ela. Conseqüentemente, é necessário que esses eventos também estejam associados a números que os definam. Sendo assim, pode-se associar cada evento (A) do espaço amostral (S) a esse espaço amostral através de uma variável, chamada de variável aleatória, podendo ser discreta ou contínua, de acordo com a função que a defina.

Meyer (1983) apresenta a seguinte definição para variável aleatória: “Sejam ( $\epsilon$ ) um experimento e (S) um espaço amostral associado ao experimento. Uma função X, que associe a cada elemento  $s \in S$  um número real,  $X(s)$ , é denominada variável aleatória”.

#### **3.6.2 Função probabilidade, função densidade de probabilidade e função repartição (USP-Veduca, 2016)**

A variável que está associada a um conjunto finito ou infinito numerável é chamada de *variável aleatória discreta*. Com esta variável descreve-se a função probabilidade  $p(x)$ , sendo esta regida por duas regras básicas, a saber:

- 1)  $p(x) \geq 0$ .
- 2)  $\sum p(x) = 1$ .

Quando se tem um intervalo infinito não numerável, ou seja, quando a variável pode assumir qualquer valor em um determinado intervalo contínuo, a variável aleatória passa a ser denominada *variável aleatória contínua*. Esta variável obedece a três condições básicas:

- 1)  $f(x) \geq 0$
- 2) 
$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(x) dx = 1$$
- 3) 
$$\int_b^a f(x) dx = P(a < x \leq b), b > a$$

Onde  $f(x)$  é a função densidade de probabilidade.

A função repartição também é conhecida como função acumulada e ela recebe este nome, pois representa a probabilidade de uma variável assumir um valor igual ou menor ao ponto considerado (USP-Veduca, 2016).

No caso das variáveis aleatórias discretas a função assume a forma da equação (25). E no caso das variáveis aleatórias contínuas a forma da equação (26).

$$F(a) = \sum_{x_i \leq a} p(x_i) \quad (25)$$

Onde:

$p(x_i)$ : função probabilidade

$$F(a) = \int_{-\infty}^a f(x) dx \quad (26)$$

Onde:

.f(x): função densidade de probabilidade

A função repartição possui as seguintes propriedades:

- a)  $F(X) \geq 0$
- b)  $F(-\infty) = 0$
- c)  $F(+\infty) = 1$
- d)  $F(x)$  é sempre crescente
- e)  $F(b) - F(a) = P(a < X < b)$ ,  $b > a$

### 3.6.3 Parâmetros e suas propriedades

Dada uma função de probabilidade ou função densidade de probabilidades e suas respectivas distribuições, busca-se a utilização de parâmetros que caracterizem essas distribuições e que sirvam de base para que o engenheiro geotécnico (por exemplo) possa tomar as devidas decisões sobre eventos probabilisticamente simples ou complexos. Esses parâmetros são divididos em duas categorias: os parâmetros de posição e os parâmetros dispersão. Enquanto que os parâmetros de posição caracterizam um determinado ponto (no caso de distribuições discretas) ou uma região (no caso das distribuições contínuas), os parâmetros de dispersão caracterizam a variabilidade dessas distribuições.

### 3.6.4 Parâmetros de posição: média, mediana e moda (USP-Veduca, 2016)

A média corresponde ao centro (“centro de gravidade”) de uma distribuição de probabilidade, sendo expressa de duas formas.

Para o caso de variáveis discretas a média assume a forma da equação (27).

$$\mu = E(X) = \sum_i x_i * p(x_i) \quad (27)$$

Onde:

.  $\mu$  ou  $E(X)$ : média

.  $x_i$ : variável aleatória discreta

. $p(x_i)$ : função probabilidade

E para o caso de variáveis contínuas a média assume a forma da equação (28).

$$\mu = E(X) = \int_{-\infty}^{+\infty} x f(x) dx \quad (28)$$

Onde:

.  $\mu$  ou  $E(X)$ : média

. $x_i$ : variável aleatória contínua

. $f(x)$ : função densidade de probabilidade.

A mediana representa o ponto que divide uma distribuição em duas partes de igual probabilidade. No caso de variáveis aleatórias contínuas a mediana é dada pela equação (29).

$$\int_{-\infty}^{md} f(x) dx = \int_{md}^{+\infty} f(x) dx = 1/2 \quad (29)$$

Onde:

. $md$ : mediana

. $f(x)$ : função densidade de probabilidade.

No caso de variáveis discretas a moda é o ponto (ou conjunto de pontos) de maior probabilidade. Já no caso de variáveis contínuas a moda é a região de maior densidade de probabilidade.

Podem existir situações em que a média não seja representativa de uma distribuição de probabilidade pela existência de pontos extremos que possam distorcer o resultado, ocasionando uma conclusão equivocada. Portanto, a mediana

e a moda podem fornecer maiores informações que auxiliem o engenheiro em suas tomadas de decisão.

### 3.6.5 Parâmetros de dispersão: variância, desvio-padrão e coeficiente de variação (USP-Veduca, 2016)

Conhecidas as medidas de posição de uma variável/distribuição de probabilidade, agora serão apresentadas as medidas que caracterizam como os dados se apresentam em relação à média desta distribuição. Elas fornecerão uma medida de erro e qualidade dos dados que compõem a distribuição analisada.

A variância é o valor que representa os desvios dos dados em relação à média, dada pela equação (30).

$$\sigma^2 (X) = E [(X - \mu)^2] \quad (30)$$

Onde:

$\sigma^2 (X)$ : variância

X: valor do dado

$\mu$ : média

Sendo assim, tem-se no caso discreto a equação (31).

$$\sigma^2 = \sum_k (x_k - \mu)^2 P(X = x_k) \quad (31)$$

Onde:

$\sigma^2$ : variância;

$x_k$ : valor do ponto;

$\mu$ : média;

$P(X = x_k)$ : é o valor da probabilidade de cada valor assumido pela variável.

E no caso contínuo a equação (32).

$$\sigma^2 = \int_{-\infty}^{+\infty} (x - \mu)^2 f(x) dx \quad (32)$$

Onde:

. $\sigma^2$ : variância;

.x: valor do ponto;

.  $\mu$ : média;

.f(x): função densidade de probabilidade.

No entanto, a variância também pode ser escrita de maneira ainda mais simples como na equação (33).

$$\sigma^2 (X) = E (X^2) - [E (X)]^2 \quad (33)$$

Onde:

. $\sigma^2$ : variância;

E(X): esperança (média)

Sendo, portanto, no caso discreto a equação (34).

$$E(X^2) = \sum_i (x_i^2 * px_i) \quad (34)$$

E(X<sup>2</sup>): variância

.x<sup>2</sup>: valor do ponto ao quadrado;

.px<sub>i</sub>: probabilidade do ponto.

E no caso contínuo a equação (35).

$$E(X^2) = \int_{-\infty}^{+\infty} x^2 f(x) dx \quad (35)$$

Onde:

$E(X^2)$ : variância

$x^2$ : valor do ponto ao quadrado;

$f(x)$ : função densidade de probabilidade.

A variância é escrita com seu valor ao quadrado, pois, caso estivesse elevada apenas ao expoente unitário seu valor sempre seria nulo.

Contudo, em termos de análise e compatibilidade dessas medidas, a utilização de uma medida ao quadrado pode dificultar ligeiramente a sua interpretação, por isso, obtem-se o desvio-padrão, sendo este calculado através da raiz quadrada da variância como na equação (36).

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} \quad (36)$$

Onde:

$\sigma$ : desvio-padrão

$\sigma^2$ : variância.

Com o intuito de se obter uma compreensão mais clara sobre as medidas de erro e dispersão dos dados em relação à média, também se calcula a variação do desvio-padrão em relação à média, conhecido como coeficiente de variação, apresentado na equação (37).

$$CV = \frac{\sigma}{\mu} \quad (37)$$

Onde:

.cv: coeficiente de variação;

. $\sigma$ : desvio-padrão

.  $\mu$ : média.

### 3.6.5.1 Propriedades da média

A seguir são apresentadas as propriedades da média para variáveis aleatórias contínuas e discretas.

1.  $E(k) = k$ , se  $k$  for constante; ou seja, a média de uma constante é a própria constante.
2.  $E(X \pm Y) = E(X) \pm E(Y)$ ; ou seja, a média da soma (ou diferença) entre duas variáveis aleatórias é igual à soma (ou diferença) das médias.
3.  $E(kX) = k E(X)$ , se  $k$  for constante; ou seja, a média do produto de uma constante por uma variável aleatória é igual ao produto dessa constante pela média da variável aleatória.
4.  $E(XY) = E(X) E(Y)$ , se  $X$  e  $Y$  forem independentes; ou seja, a média do produto de duas variáveis aleatórias é igual ao produto das médias de cada uma das variáveis aleatórias, se elas forem independentes.

Portanto, se  $\varphi(X)$  é uma função de  $X$ , tem-se no caso discreto a equação (38).

$$E[\varphi(X)] = \sum_k \varphi(x_k) P(X = x_k) \quad (38)$$

E para o caso contínuo a equação (39).

$$E[\varphi(X)] = \int_{-\infty}^{+\infty} \varphi(x) f(x) dx \quad (39)$$

### 3.6.5.2 Propriedades da variância ( $\sigma^2$ ou V)

A seguir são apresentadas as propriedades da variância para variáveis aleatórias discretas e contínuas.

1.  $\sigma^2(X) \geq 0$ ; ou seja, a variância de qualquer variável aleatória é maior ou igual a zero.
2.  $\sigma^2(k) = 0$ , sendo constante; ou seja, a variância de uma constante é zero.
3.  $\sigma^2(X + k) = \sigma^2(X)$ ; ou seja, a variância do produto de uma variável aleatória por uma constante é igual ao produto da constante ao quadrado pela variância da variável aleatória.
4.  $\sigma^2(X \pm k) = \sigma^2(X)$ ; ou seja, a variância da soma (ou diferença) de uma variável aleatória com uma constante é igual à variância da própria variável aleatória.
5.  $\sigma^2(X \pm Y) = \sigma^2(X) + \sigma^2(Y)$ , se X e Y forem independentes; ou seja, a variância da soma (ou diferença) de duas variáveis aleatórias é igual a soma das variâncias de cada uma das variáveis aleatórias, se elas forem independentes.

### 3.7 Principais distribuições de probabilidade

De um modo geral, pode-se dizer que uma distribuição de probabilidades fornece a lista de todos os valores possíveis com suas probabilidades associadas, a partir de um modelo de concepção do experimento analisado. De modo que cada fenômeno ou experimento pode ser descrito por uma distribuição de probabilidades que melhor o represente. As distribuições de probabilidades podem ser dadas por funções, tabelas de valores, dentre outros.

Por exemplo, após um deslizamento de terra pode-se estar interessado em se conhecer a probabilidade da existência de vítimas fatais deste deslizamento. Nesta situação, é evidente que o resultado deste evento é regido por um conceito binomial, ou seja, após o evento cada indivíduo terá sobrevivido ou não (apenas dois resultados mutuamente exclusivos são possíveis). Sendo assim, uma distribuição de probabilidades adequada para descrever todos os valores possíveis com suas

respectivas probabilidades neste parâmetro analisado (vítimas fatais ou não) seria a distribuição binomial.

Há na literatura um acervo consolidado de distribuições com suas devidas propriedades e funcionalidades. O estudo aprofundado de cada distribuição de probabilidades é tema abordado, principalmente, por matemáticos. Portanto, para o desenvolvimento das principais atividades da engenharia, torna-se mais importante o foco no conhecimento das aplicações, propriedades e funções que descrevem essas distribuições.

De modo geral, as distribuições de probabilidade são classificadas em discretas ou contínuas de acordo com o tipo de variável que as caracterizam. Sendo assim, adiante serão abordadas as principais distribuições de probabilidades aplicáveis a este estudo.

### **3.7.1 Distribuições discretas**

#### **3.7.1.1 Distribuição binomial (Harr, 1987)**

A distribuição binomial é utilizada para descrever situações onde apenas dois resultados mutuamente exclusivos são possíveis. A seguir são descritas, segundo Harr (1987), as propriedades desta distribuição.

1. O experimento é repetido  $N$  vezes, onde o resultado de cada tentativa é independente dos demais;
2. Apenas 2 (dois) resultados são possíveis: sucesso ou insucesso, e,  $x$  representa o número de sucessos;
3. A probabilidade de sucesso ( $R$ ) para cada uma das repetições ( $N$ ) é constante para todas as repetições do experimento, sendo  $R + p = 1$ . Onde  $p$  é a probabilidade de insucesso.
4. O experimento é realizado sob as mesmas condições para as  $N$  repetições. Ou seja, é como se fora feito “com reposição”.
5. O importante nesta análise é o número de sucessos (ou insucessos), independentemente da ordem em que ocorram.

Portanto, esta distribuição é caracterizada pela função de probabilidade dada pela equação (40), a média dada pela equação (41) e variância dada pela equação (42).

$$b(x;N,R) = \binom{N}{x} R^x p^{N-x}$$

Sendo: (40)

$$\binom{N}{x} = \frac{N!}{x! (N-x)!}$$

$$\dot{x} = E [ x; \text{binomial} ] = N R \quad (41)$$

$$V = E [ x; \text{binomial} ] = \sigma_x^2 = N R p \quad (42)$$

Onde:

.N: número de repetições do experimento;

.R: probabilidade de sucesso do experimento;

.p: probabilidade de insucesso do experimento;

.x: número de sucessos do experimento.

A seguir um exemplo de utilização da distribuição binomial.

### **Exemplo 7** (Pacheco, 2016)

Um jogador de basquete acerta, em média, 2/3 de seus lances livres. Qual a probabilidade de que esse jogador acerte apenas 1 lance livre em 5 tentativas?

$$.R = 2/3$$

$$.p=1/3$$

$$.N=5$$

$$.x=1$$

Utilizando a equação (40), tem-se:

$$b(1; 5; 2/3) = \binom{5}{1} \left(\frac{2}{3}\right)^1 \left(\frac{1}{3}\right)^{5-1} = 0,041$$

A distribuição binomial também pode ser utilizada para o cálculo da probabilidade de insucesso de um determinado experimento. Nesse caso, x assume o número de insucesso e a função assume a forma da equação (43).

$$b(x; N, p) = \binom{N}{x} p^x R^{N-x} \quad (43)$$

### 3.7.1.2 Distribuição de Poisson (Harr, 1987)

Na engenharia civil existem situações onde a “quantidade de experimentos” é muito grande e a probabilidade de insucesso (ou falha) é muito pequena, como é o caso das grandes estruturas projetadas para suportar grandes catástrofes naturais ou humanas. Nesses casos, o número de “experimentos” (N) tende ao infinito e o valor da probabilidade de insucesso (p) tende a zero. Dessa forma, a distribuição de Poisson é um caso particular da distribuição binomial para casos de insucesso. Obedecidas às condições acima citadas, essa distribuição assume a forma da equação (44), a média assume a forma da equação (45) e a variância a forma da equação (46).

$$b(x; N, p) = P(x_i) = \frac{\mu^{x_i} e^{-\mu}}{x_i!}, \quad (44)$$

$$E [ x_i ; \text{poisson} ] = \mu = N p \quad (45)$$

$$V [ x_i ; \text{poisson} ] = \mu = N p \quad (46)$$

Onde:

.  $x_i = 0, 1, 2, \dots$

.  $\mu$ : média da distribuição de Poisson.

.N: número de repetições do experimento.

.p: probabilidade de insucesso do experimento.

### **Exemplo 8** (Pacheco, 2016)

A probabilidade de ruptura de uma determinada estrutura é estimada em  $p=0,001$ . Ao se contruírem 1.000 estruturas semelhantes, qual a probabilidade de que duas delas entrem em colapso?

1. Passo: cálculo da média

$$. \mu = N p = 1.000 \times 0,001 = 1$$

2. Passo: Cálculo da probabilidade utilizando a equação (44).

$$P_x(2) = \frac{(1^2) \times (e^{-1})}{2!} = 0,1839$$

A distribuição de Poisson, mesmo sendo uma distribuição discreta, também é utilizada quando se está interessado no número de sucessos ocorridos em um determinado intervalo contínuo, podendo ser tempo, comprimento, área, entre outros, sendo mais comumente analisado o intervalo de “tempo”. Portanto, a função da distribuição de Poisson assume a forma da equação (47) e a média é dada pela equação (48).

$$f(x_i) = \frac{(\lambda t)^x e^{-\lambda t}}{x!} \quad (47)$$

$$\mu = \lambda t \quad (48)$$

Onde:

$x_i = 0, 1, 2, \dots$

$\lambda$ : taxa de ocorrência.

$t$ : tempo.

$\mu$ : média da distribuição de Poisson.

### Exemplo 9 (Pacheco, 2016)

Ao longo de 40 anos uma determinada fábrica esteve parada por 240 dias. Qual a probabilidade de não ocorrerem paradas (zero paradas) ao longo de 1 ano?

1. Passo: Cálculo da taxa de interrupções.

$\lambda = 240 / 40 = 6$  dias/ano.

2. Passo: Cálculo da probabilidade.

$$P_x(0) = \frac{(6^0) \times (e^{-6 \times 1})}{0!} = 2,48 \times 10^{-3}$$

Esta distribuição foi assim nomeada em homenagem ao matemático francês Siméon D. Poisson (1781 - 1840), seu desenvolvedor.

### 3.7.2 Distribuições contínuas

A partir desta seção serão apresentadas as principais distribuições de probabilidade relacionadas às variáveis aleatórias contínuas aplicáveis a este estudo. Como já evidenciado nos exemplos anteriores, a utilização de distribuições

de probabilidades é bem direta e simples, por isso, a partir desta seção serão apresentados exemplos apenas para as distribuições mais complexas.

### 3.7.2.1 Distribuição exponencial (USP-Veduca, 2016)

A distribuição exponencial é dada pela função densidade de probabilidade expressa na equação (49) e segue as mesmas hipóteses de uma distribuição de Poisson. A média desta distribuição é dada pela equação (50) a variância pela equação (51).

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, \text{ para } t \geq 0$$

$$f(t) = 0, \text{ para } t < 0 \tag{49}$$

$$E [ x_i ; \text{exp} ] = 1 / \lambda$$

$$E [ x_i ; \text{exp} ] = 1 / \lambda \tag{50}$$

$$V [ x_i ; \text{exp} ] = 1 / \lambda^2 \tag{51}$$

Onde:

.  $\lambda$ : é a frequência de sucessos da distribuição de Poisson

.  $t$ : é o intervalo entre dois sucessos consecutivos.

Além disso, enquanto que a distribuição de Poisson mede o número de sucessos em um determinado intervalo contínuo, a distribuição exponencial mede o intervalo entre dois sucessos.

### 3.7.2.2 Distribuição Normal (USP-Veduca, 2016)

A distribuição normal (ou de Gauss) foi criada pelo matemático, astrônomo e físico alemão Johann Carl Friedrich Gauss (1777 - 1855) e constitui-se como uma das mais importantes distribuições de probabilidade, pois diversos fenômenos naturais podem ser caracterizados por ela.

Sua grande versatilidade ocorre devido à sua descrição pelo Teorema do Limite Central o qual tem a seguinte definição formal segundo Meyer (1983):

“Seja  $X_1, X_2, \dots, X_n, \dots$  uma seqüência de variáveis aleatórias independentes, com média  $E(X_i) = \mu_i$  e variância  $V(X_i) = \sigma_i^2$ ,  $i = 1, 2, \dots$ . Façamos  $X = X_1 + X_2 + \dots + X_n$ . Então, sob determinadas condições gerais (as quais não cabem a este estudo), tem aproximadamente a distribuição  $N(0,1)$ . Isto é, se  $G_n$  for a função densidade da variável aleatória  $Z_n$ , teremos  $\lim_{n \rightarrow \infty} G_n(z) = \Phi(z)$ ”.

$$Z_n = \frac{X - \sum_{i=1}^n \mu_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2}}$$

Apesar desta definição complicada, este teorema pode ser facilmente entendido da seguinte forma:

“A soma de infinitas variáveis independentes segue uma distribuição normal. Ou seja, se existir uma variável aleatória ( $X$ ) que seja o somatório de diversas outras variáveis aleatórias independentes, esta variável aleatória ( $X$ ) terá uma distribuição normal”.

A função de densidade de probabilidades da distribuição normal é dada pela equação (52).

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{x - \mu}{\sigma} \right)^2} \quad (52)$$

Onde:

.  $-\infty < x < +\infty$

.  $x$ : domínio da função;

.  $\sigma$ : desvio-padrão;

.  $\mu$ : média da função.

Contudo, esta função de probabilidade não possui uma integral analítica, fazendo com que para sua resolução se recorra a tabelas padronizadas. Essas

tabelas estão em função da variável padronizada ( $Z$ ), com distribuição normal de média  $\mu = 0$ , e, desvio-padrão  $\sigma = 1$ , de acordo com a equação (53).

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (53)$$

Onde:

. $Z$ : variável padronizada.

. $x$ : ponto considerado.

.  $\mu$ : média da distribuição normal.

Portanto  $(x - \mu)$  fornece a distância entre o ponto considerado e a média da distribuição. Quando se divide esse valor por  $\sigma$ , tem-se a distância entre o valor considerado e a média em unidades de desvio-padrão.

Para uma melhor compreensão desta distribuição aplicar-se-á o seguinte exemplo.

**Exemplo 10** (USP-Veduca, 2016)

Dada uma variável aleatória  $X$  com distribuição normal de média  $\mu = 20$  e desvio-padrão  $\sigma = 4$ , calcular a probabilidade de  $X$  assumir valor igual ou menor a 23.

1. Passo: Cálculo da variável padronizada  $Z$

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma} = \frac{23 - 20}{4} = \frac{3}{4} = 0,75$$

2. Passo: Consultar a Tabela da Distribuição Normal Padronizada (**Figura 26**) (USP-Veduca, 2016)

z	0	1	2	3	4	5
0,0	0,0000	0,0040	0,0080	0,0120	0,0160	0,0199
0,1	0,0398	0,0438	0,0478	0,0517	0,0557	0,0596
0,2	0,0793	0,0832	0,0871	0,0910	0,0948	0,0987
0,3	0,1179	0,1217	0,1255	0,1293	0,1331	0,1368
0,4	0,1554	0,1591	0,1628	0,1664	0,1700	0,1736
0,5	0,1915	0,1950	0,1985	0,2019	0,2054	0,2088
0,6	0,2257	0,2291	0,2324	0,2357	0,2389	0,2422
0,7	0,2580	0,2611	0,2642	0,2673	0,2704	0,2734

Figura 26: Tabela da Distribuição Normal Padronizada (USP-Veduca, 2016)

3. Passo: Cálculo da probabilidade desejada

$$P(X \leq 23) = 0,50 + 0,2734 = 0,7734. \text{ (Figura 27)}$$

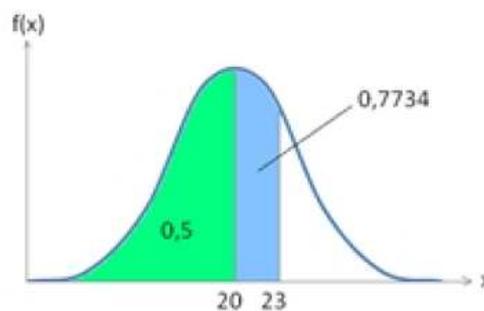


Figura 27: Esquema do cálculo da probabilidade a partir da variável Z (USP-Veduca, 2016)

Certamente que o cálculo inverso também pode ser feito facilmente, dada uma probabilidade com o objetivo de se encontrar o valor da variável aleatória contínua correspondente.

### 3.7.3 Distribuições limitadas

#### 3.7.3.1 Distribuição Lognormal (Pacheco, 2016)

A distribuição normal trabalha com um domínio que varia entre  $-\infty < X < +\infty$ . Contudo, em algumas situações da engenharia pode ser complicado ou até irreal

trabalhar com valores negativos para a variável aleatória contínua  $X$ . Para se resolver este incômodo recorre-se às chamadas Distribuições Limitadas. Uma dessas distribuições é a distribuição Lognormal. Como ela não admite valores negativos para  $X$ , tem-se:  $0 \leq X \leq +\infty$ , fazendo com que ela apresente uma assimetria à direita. Vale ressaltar que para se trabalhar com uma distribuição lognormal, torna-se necessário primeiramente o mapeamento desta distribuição em uma distribuição normal, para que se permita o emprego de tabelas de distribuição normal (amplamente conhecidas e de fácil utilização).

A **Figura 28** corresponde a uma representação esquemática da Distribuição Lognormal e da Distribuição Normal.

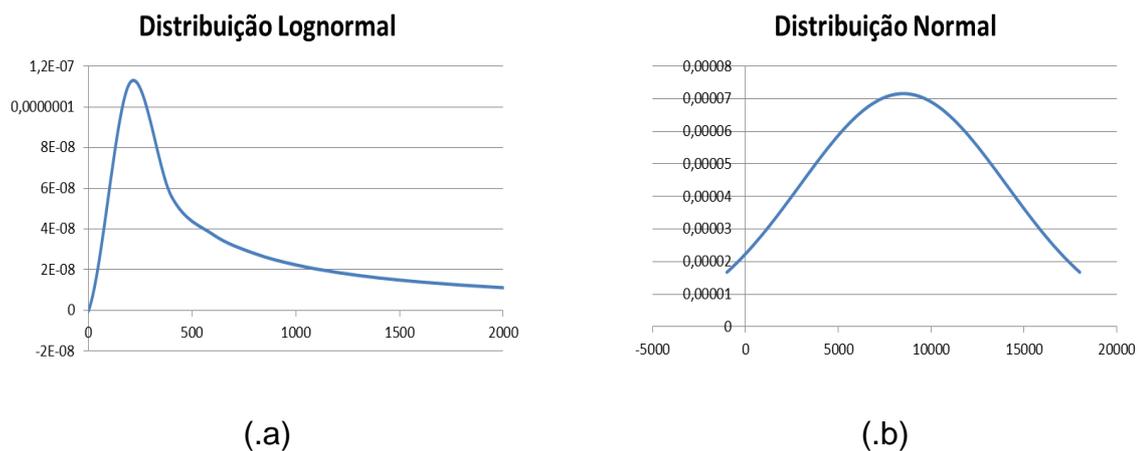


Figura 28: Esquema típico de: a) distribuição lognormal; b) distribuição normal.

Admitindo-se  $f_x(X)$  uma função de variável aleatória contínua ( $X$ ) em uma distribuição lognormal, e,  $f_y(Y)$  a respectiva função da mesma variável aleatória contínua, contudo, descrita numa distribuição normal, o mapeamento da distribuição lognormal para normal se faz convertendo os valores de  $X$ , da média  $\mu_x$  e da variância  $\sigma_x^2$  em seus correspondentes valores na distribuição normal, a saber,  $Y$ , média  $\mu_y$  e variância  $\sigma_y^2$ . A **Tabela 13** apresenta as equações para cálculo e conversão de valores.

Tabela 13: Equações de correspondência entre a distribuição lognormal e a normal

	Distribuição Lognormal	Distribuição Normal	
Média	$E [X] = \exp ( \mu_y + [ (\sigma_y)^2 ] / 2 )$	$\mu_y = \mu_{\ln x} = \ln \mu_x - (V [Y] / 2)$	(54)
Variância	$V [X] = (\mu_x)^2 [ \exp (\sigma_y)^2 - 1 ]$	$\sigma_y^2 = V [Y] = \ln (1 + V_x^2)$	(55)

Onde:

- .E [X]: esperança ou média da variável X;
- .  $\mu_y$ : média da variável Y;
- .  $\mu_{\ln x}$  : média do logaritmo neperiano da variável X;
- .V [X] =  $V_x^2$ : variância da variável X;
- .  $\mu_x$ : média da variável X;
- .  $\sigma_y$ : desvio padrão da variável Y;
- . V [Y] =  $\sigma_y^2$ : variância da variável Y.

Alternativamente, tem-se que a média da distribuição normal é igual ao logaritmo neperiano da mediana da distribuição lognormal – equações (56) e (57) – e com a equação (54) e a equação (55) chega-se à equação (58) e à equação (59), respectivamente.

$$\mu_y = \ln_{md(x)} \quad (56)$$

E, portanto:

$$md(x) = e^{\mu_y} \quad (57)$$

$$md(x) = \frac{\mu_x}{\sqrt{(1 + V_x^2)}} \quad (58)$$

$$\mu_y = \ln_{md(x)} = \ln \frac{\mu_x}{\sqrt{(1 + V_x^2)}} \quad (59)$$

Onde:

. $\mu_y$ : média da variável Y;

. $\mu_x$ : média da variável X;

. $md(x)$ : mediana da variável X;

$V_x^2$ : variância da variável X.

### 3.7.3.2 Outras distribuições limitadas (Pacheco, 2016)

São apresentados a seguir mais alguns exemplos de outras distribuições limitadas retangulares e triangulares, com seus respectivos valores de média e variância. Para todos os casos, tem-se que:

.E [X]: média da variável aleatória X.

. $\Omega_x$ : variância da variável aleatória X.

.a: limite inferior da distribuição;

.b: limite superior da distribuição.

### Distribuição retangular - Figura 29, Equação (60), Equação (61)

$$E [X] = \frac{1}{2} (a + b) \quad (60)$$

$$\Omega_x = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{(b - a)}{(a + b)} \quad (61)$$

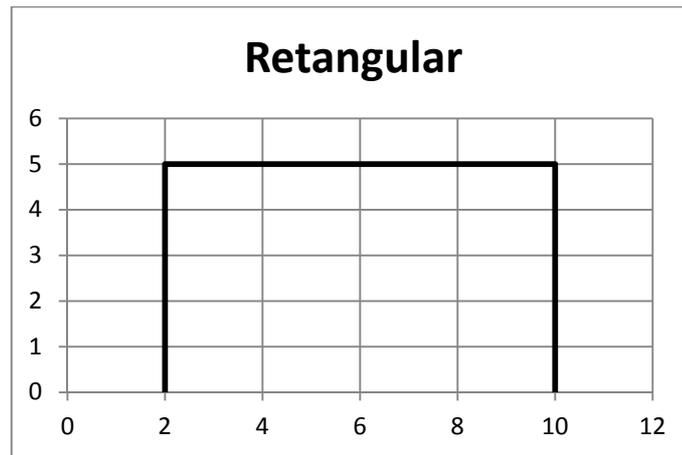


Figura 29: Distribuição retangular

**Distribuição triangular simétrica - Figura 30, Equação (62), Equação (63)**

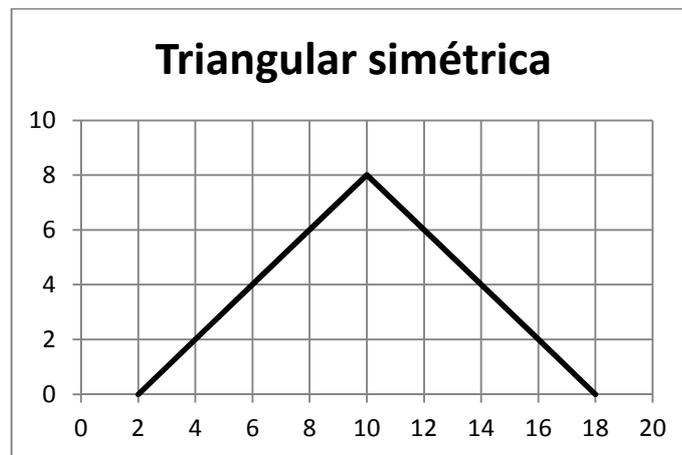


Figura 30: Distribuição triangular simétrica

$$E[X] = \frac{1}{2} (a + b) \quad (62)$$

$$\Omega_x = \frac{1}{\sqrt{6}} \frac{(b - a)}{(a + b)} \quad (63)$$

**Distribuição triangular com assimetria à esquerda - Figura 31, Equação (64), Equação (65)**

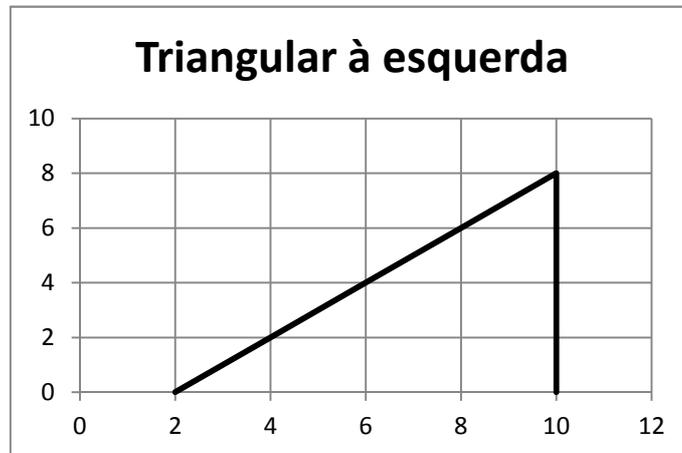


Figura 31: Distribuição triangular com assimetria à esquerda

$$E [X] = \frac{1}{3} (a + 2b) \quad (64)$$

$$\Omega_x = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{(b - a)}{(a + 2b)} \quad (65)$$

**Distribuição triangular com assimetria à direita Figura 32, Equação (66), Equação (67)**

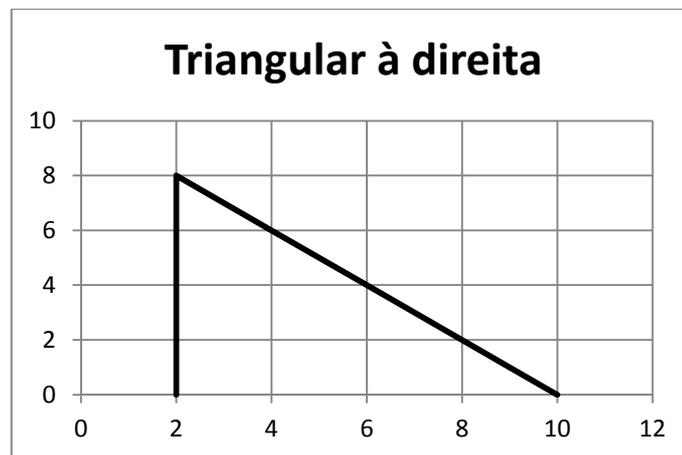


Figura 32: Distribuição triangular com assimetria à direita

$$E [X] = \frac{1}{3} (2a + b) \quad (66)$$

$$\Omega_x = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{(b - a)}{(2a + b)} \quad (67)$$

### 3.7.3.3 Distribuição em “U” (USP-Veduca, 2016)

Outra distribuição que, embora tenha pouca aplicação para a engenharia geotécnica, mas que também pode ser mencionada é a distribuição em U, mais conhecida como distribuição da banheira (**Figura 33**).

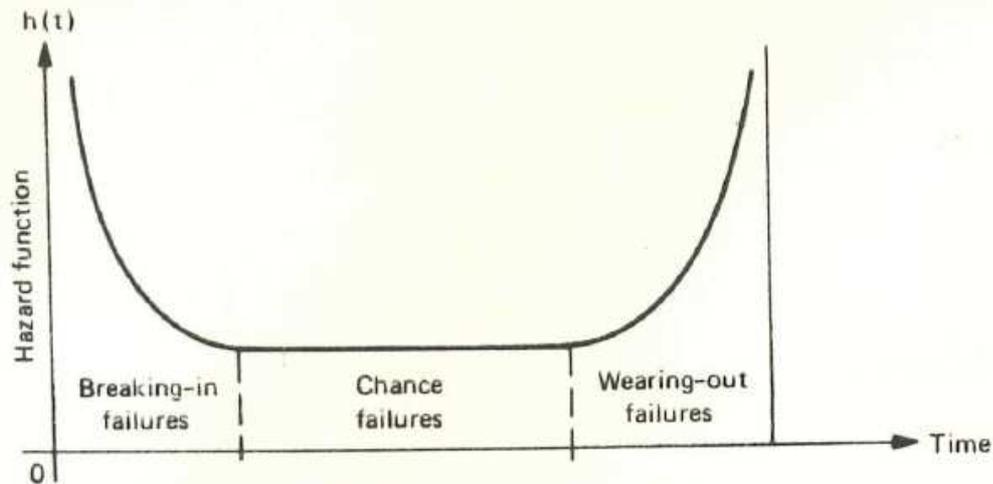


Figura 33: Distribuição da banheira (Harr, 1987)

Esta curva é dividida em 3 fases e descreve um comportamento geral de taxas de falhas ( $\lambda$ ) ou  $h(t)$  em um determinado tempo ( $t$ ).

- Fase A: Período onde ocorrem as falhas precoces dos sistemas, eliminando os mais fracos, restando apenas os mais robustos.
- Fase B: Representa a vida útil de um sistema e segue uma distribuição exponencial razoavelmente constante.
- Fase C: Fase final do sistema, apresentando desgaste acelerado. Apresenta o comportamento de uma distribuição normal.

### 3.7.4 Distribuição Beta (Harr, 1987)

Em seus estudos, Karl Pearson, em 1895, buscava o desenvolvimento de uma distribuição de probabilidades capaz de representar com maior flexibilidade as variações de assimetria nas distribuições contínuas de probabilidade. Baseado no

coeficiente de assimetria ao quadrado e no coeficiente de curtose ele desenvolveu uma série de representações que seriam o início do desenvolvimento da distribuição beta, as quais estão representadas no Mapa de Distribuições de Probabilidade de Pearson (**Figura 36**). Contudo, a metodologia da distribuição beta somente foi adequadamente desenvolvida a partir de 1969 pelos pesquisadores Elderton e Johnson (Harr, 1987).

A distribuição beta de probabilidades é uma distribuição empírica caracterizada em um intervalo  $[a, b]$ , onde  $b > a$ , e definida pela equação (68).

$$f(x) = C(x - a)^\alpha (b - x)^\beta \quad (68)$$

Sendo:

$$C = \frac{(\alpha + \beta + 1)!}{\alpha! \beta! (b - a)^{\alpha + \beta + 1}} \quad (69)$$

Onde:

. $\alpha >$  e  $\beta$  são coeficientes (parâmetros) de forma, inteiros e maiores que -1;

.a e b são os limites da distribuição beta;

Sabendo que a média e a variância representam, respectivamente, os dois primeiros momentos probabilísticos, torna-se igualmente necessário o conhecimento dos outros dois momentos probabilísticos, a saber, o coeficiente de assimetria e o coeficiente de curtose.

A média e a variância da distribuição beta são dadas pela equação (70) e equação (71), respectivamente.

$$E [\text{beta}] = a + \frac{\alpha + 1}{\alpha + \beta + 2} (b - a) \quad (70)$$

$$V [\text{beta}] = \frac{(b - a)^2 (\alpha + 1) (\beta + 1)}{(\alpha + \beta + 2)^2 (\alpha + \beta + 3)} \quad (71)$$

Os parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$  são obtidos a partir da média  $E[\beta] = E[X]$ , e, pelo desvio-padrão  $\sigma = \sigma[X]$ , calculados respectivamente, pela equação (72) e equação (73).

$$\alpha = \frac{X^2}{Y^2} (1 - X) - (1 + X) \quad (72)$$

$$\beta = \frac{\alpha + 1}{X} - (\alpha + 2) \quad (73)$$

Por sua vez os valores de  $X$  e  $Y$  são obtidos a partir da equação (74) e equação (75).

$$X = \frac{(E[X] - a)}{(b - a)} \quad (74)$$

$$Y = \frac{\sigma}{(b - a)} \quad (75)$$

O coeficiente de assimetria  $\beta(1)$  é obtido pela equação (76).

$$\beta(1) = \frac{2(\beta - \alpha)}{(\alpha + \beta + 4)} \frac{\sqrt{(\alpha + \beta + 3)}}{\sqrt{[(\alpha + 1)(\beta + 1)]}} \quad (76)$$

Já o coeficiente de curtose  $\beta(2)$  é obtido pela equação (77).

$$\beta(2) = \frac{3(\alpha + \beta + 3) [ 2(\alpha - \beta)^2 + (\alpha + 1)(\beta + 1)(\alpha + \beta + 4) ]}{(\alpha + 1)(\beta + 1)(\alpha + \beta + 4) + (\alpha + \beta + 5)} \quad (77)$$

Os valores de  $\alpha$  e  $\beta$  também podem ser obtidos graficamente por meio do ábaco da **Figura 34**. O ábaco da **Figura 35** relaciona os valores de  $\alpha$  e  $\beta$  para a obtenção dos valores de  $\beta(2)$  e  $\beta^2(1)$ , necessários à classificação da distribuição beta segundo o Mapa de Distribuições de Probabilidade de Pearson (**Figura 36**).

A **Figura 37** mostra as diversas formas assumidas pela distribuição beta de acordo com seus parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$ , evidenciando sua versatilidade buscada nas

pesquisas iniciais de Pearson. Vale destacar que a linha de simetria corresponde exatamente a uma distribuição normal simétrica.

A distribuição acumulada da função densidade beta é dada por  $P[x \leq F] = K$ , com  $a = 0$ ,  $e$ ,  $b = 1$ . E para um intervalo entre  $a$  e  $b$  pela equação (78). Sendo assim, com esta equação também é possível obter o valor de  $F$  para um determinado ponto de probabilidade acumulada  $x(k)$ .

$$x(k) = a + F(b - a) \quad (78)$$

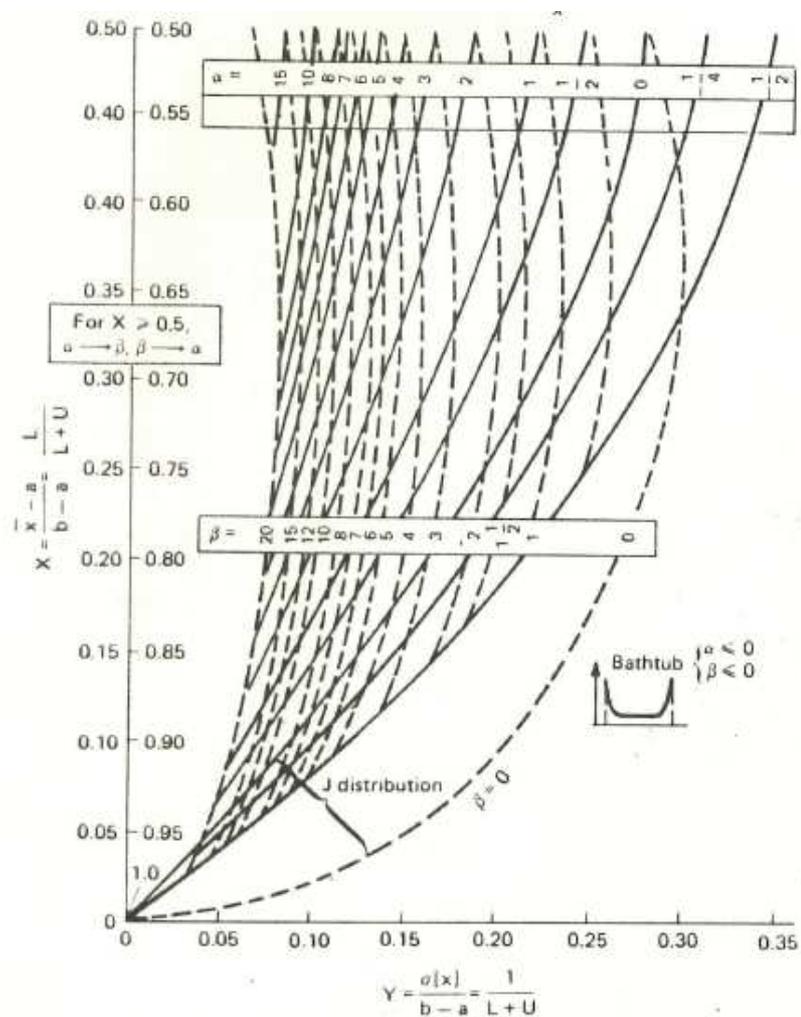


Figura 34: Ábaco para a obtenção de  $\alpha$  e  $\beta$  (Harr, 1987)

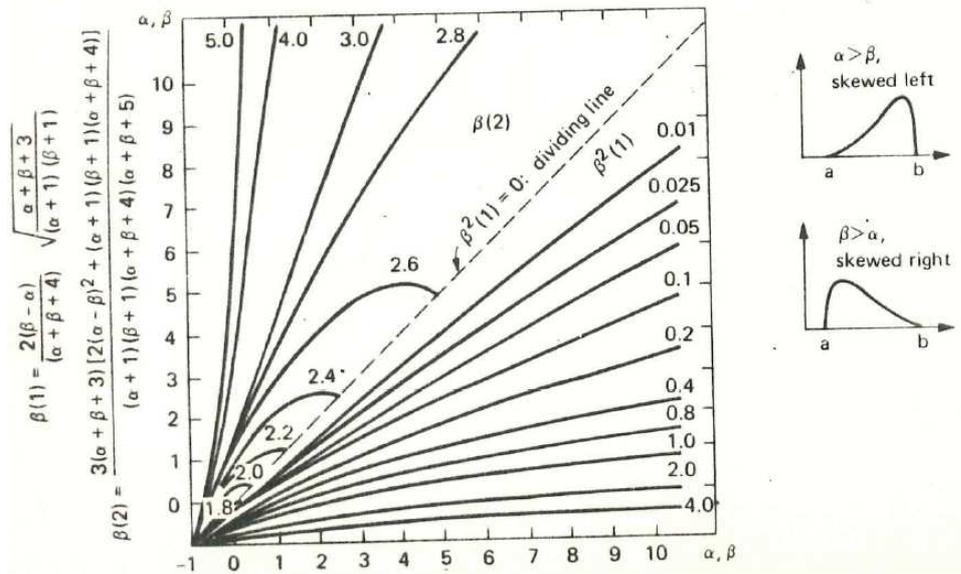


Figura 35: Ábaco para obtenção de  $\beta(2)$  e  $\beta^2(1)$  (Harr, 1987)

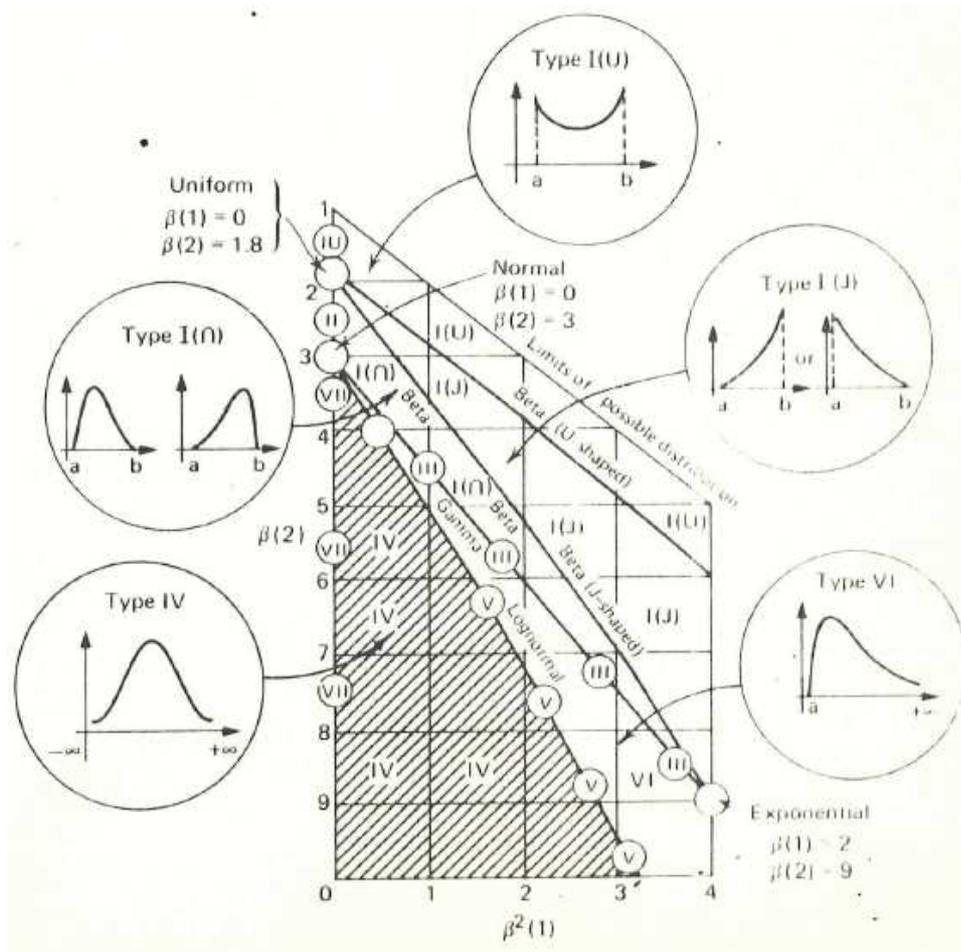


Figura 36: Mapa de distribuições de probabilidades de Pearson (Harr, 1987)

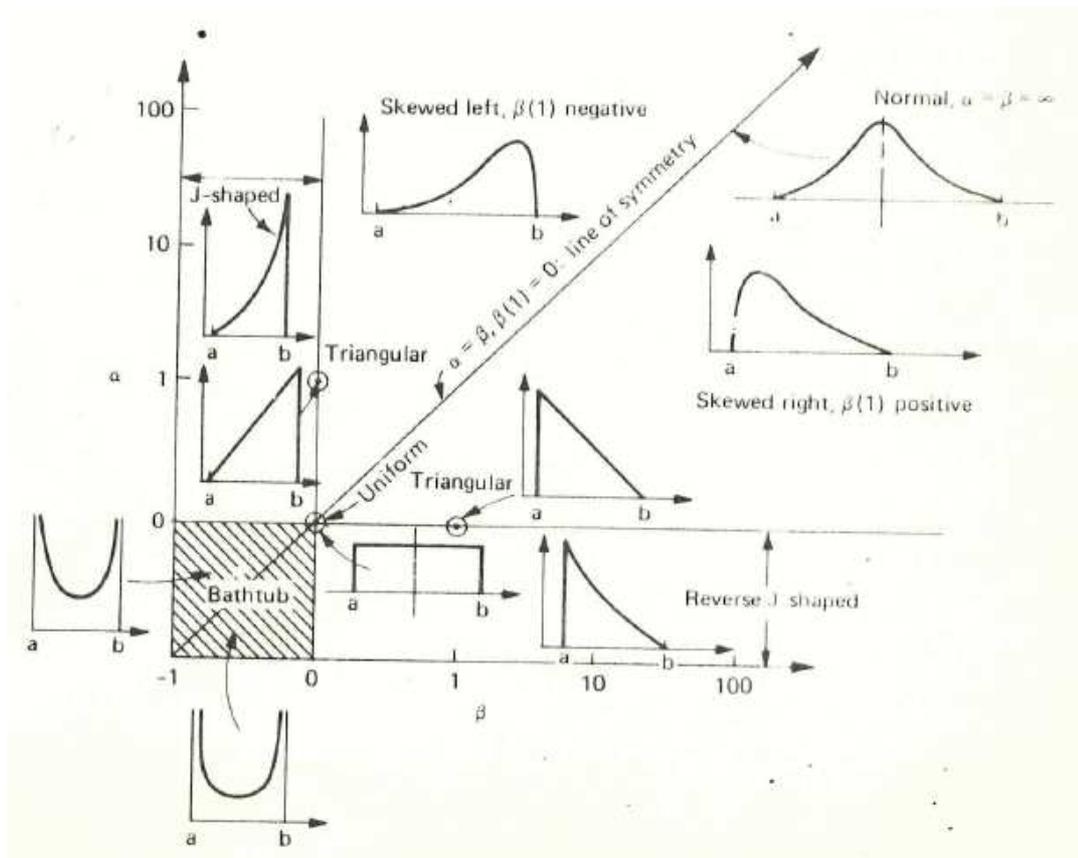


Figura 37: Algumas representações esquemáticas da distribuição beta em função de seus parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$  (Harr, 1987)

### 3.7.5 Atualização de probabilidades (Harr, 1987)

Nesta seção serão unificados os conceitos abordados em todas as seções anteriores de maneira bem prática. Ao se estudar os fenômenos da natureza, é intuitivo que, mesmo os fenômenos mais raros, possuem um tempo de recorrência e quando ocorrem geram consequências por vezes catastróficas, com perdas de vidas humanas. Todo estudo inicial gerará uma probabilidade que, com a observação da recorrência desses eventos, poderá ser atualizada para que forneça resultados probabilísticos mais precisos.

Tendo esse princípio em vista, ao longo da **seção 3.5 - Teoremas gerais da Probabilidade**, foram apresentados os principais teoremas até se chegar ao **Teorema de Bayes**. Com ele é possível verificar como uma nova informação pode alterar a probabilidade calculada inicialmente. Da equação (24), tem-se:

$$P(A_j/B) = \frac{P(B/A_j) \times P(A_j)}{\sum_{i=1}^n P(B/A_i) \times P(A_i)}$$

Como este teorema fornece a probabilidade de que  $A_i$  tenha sido a causa da ocorrência de  $B$ , tem-se que  $A_i$  é a probabilidade inicial e o restante da equação trata-se da nova informação. Sendo assim:

$$P(A_i/B) = P(A) \text{ \{nova informação\}, ou,}$$

$$\text{Probabilidade à } posteriori = (\text{probabilidade à } priori) \times (\text{nova informação})$$

A estimativa da confiabilidade de um sistema de engenharia é uma variável aleatória descrita por algumas distribuições de probabilidade com limites de probabilidade  $R_{\min} = 0$  e  $R_{\max} = 1$ . Conseqüentemente, a média e a variância destas distribuições também são variáveis aleatórias. Portanto, com esses quatro parâmetros  $R_{\min} = 0$ ,  $R_{\max} = 1$ ,  $E[X]$ , e,  $V[X]$ , pelo princípio da máxima entropia, a distribuição a ser utilizada deve ser a distribuição beta. Dessa forma, segundo Harr (1987), a distribuição à priori será dada pela equação (68) e equação (69), resultando na equação (79).

$$\text{beta}(R_0 / \alpha, \beta) = \frac{(\alpha + \beta + 1)!}{\alpha! \beta!} R_0^\alpha (1 - R_0)^\beta \quad (79)$$

Ao olhar novamente a distribuição binomial dada pela equação (40), percebe-se a semelhança entre ambas as distribuições.

$$b(x; N, R) = \frac{N!}{x! (N - x)!} R^x (1 - R)^{N - x}$$

Caso seja adotado  $x = \alpha$  (número de sucessos), e,  $N - x = \beta$  (número de insucessos), a distribuição binomial assumirá a forma da equação (80).

$$b(\alpha; \alpha + \beta, R) = \frac{(\alpha + \beta)!}{\alpha! \beta!} R^\alpha (1 - R)^\beta \quad (80)$$

A distribuição beta possui uma flexibilidade tal que diversas outras distribuições podem ser consideradas como casos particulares da distribuição beta. Com isso, a distribuição binomial também pode ser entendida como uma distribuição particular da distribuição beta.

Segundo Harr (1987), quando a nova informação é uma variável particular com uma distribuição particular, a distribuição *à posteriori* mantém as mesmas características da distribuição *à priori*. Esses pares de distribuição são conhecidos como **distribuições conjugadas**. Portanto, a distribuição *à posteriori* assumirá a forma da distribuição beta pela equação (81).

$$\text{beta}(R; \alpha, \beta) = \frac{(\alpha + \beta + 1)!}{\alpha! \beta!} R^\alpha (1 - R)^\beta \quad (81)$$

Onde:

. $\alpha$ : número de sucessos atualizados;

. $\beta$ : número de insucessos atualizados;

.R: é a probabilidade de sucesso anterior a atual análise em um caso qualquer.

A média e a variância desta distribuição serão dadas pela equação (82) e equação (83), respectivamente, visto que  $a = 0$  e  $b = 1$ .

$$E [\text{beta} (R / \alpha, \beta) ] = \frac{\alpha + 1}{\alpha + \beta + 2} \quad (82)$$

$$V [\text{beta} (R / \alpha, \beta) ] = \frac{(\alpha+1) (\beta+1)}{(\alpha + \beta + 2)^2 (\alpha + \beta + 3)} \quad (83)$$

Será apresentado um exemplo da utilização do conceito desenvolvido nesta seção.

### Exemplo 11 (Harr, 1987)

Para um determinado experimento onde o número de sucessos seja  $\alpha = 4$ , e, o número de insucessos seja  $\beta = 1$  tem-se:

- $R_{\min} = 0$ ;
- $R_{\max} = 1$ ;
- $\bar{R} = E[\text{beta}(R / \alpha, \beta)] = 0,71$ ;
- $\sigma(R) = 0,16$ .

A **Figura 38** apresenta a distribuição beta para o exemplo citado.

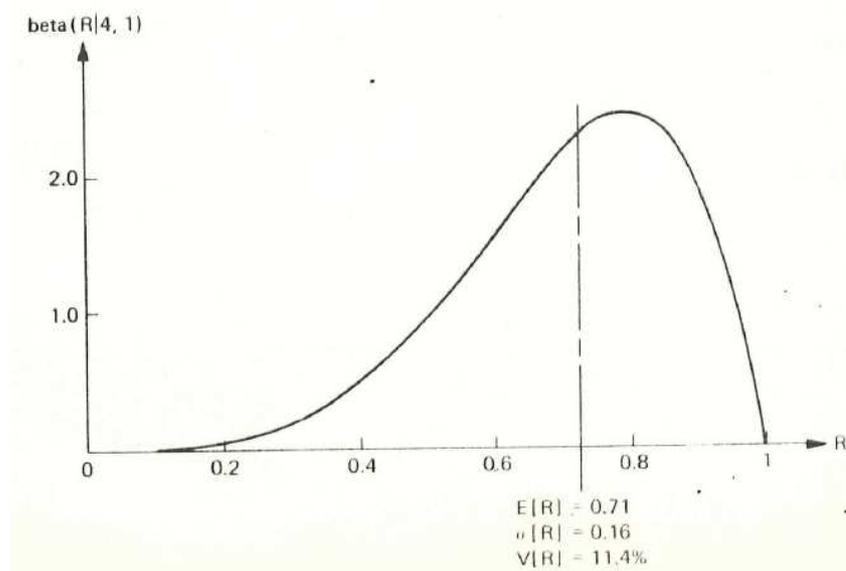


Figura 38: Distribuição beta para o exemplo 8 (Harr, 1987)

Por ser necessária neste estudo a utilização de uma distribuição de probabilidades que tenha grande versatilidade, e, devido ao fato de os fenômenos aqui abordados resultarem em eventos mutuamente exclusivos (eventos classificados como de alto risco ou não), gerando resultados binomiais, 0 ou 1; além de ser necessária a constante atualização dos mapas de probabilidades atualizadas de deslizamentos, conclui-se por meio deste capítulo, que as distribuições escolhidas para o atual estudo são adequadas às análises desenvolvidas.

## **4 METODOLOGIA**

Neste capítulo será apresentada a metodologia utilizada para as frentes analisadas: obras e orçamentos, mapas de probabilidades atualizadas de deslizamentos, evolução da ocupação antrópica e estimativas de risco.

### **4.1 Obras e orçamentos**

Todas as obras vinculadas à GEO-RIO estão obrigatoriamente associadas a um número de processo. Desta forma, foram pesquisados junto à GEO-RIO todos os processos que contivessem informações (contratos, projetos, orçamentos etc) sobre as obras (intervenções) realizadas na comunidade da Rocinha.

De acordo com os processos identificados, as intervenções podem ser agrupadas em 3 principais períodos: intervenções anteriores a 2008 (1 processo); intervenções entre 2008 e 2009 (1 processo); e, intervenções após os eventos chuvosos de 2010 (7 processos). As informações relacionadas aos processos executados a partir de 2008 foram de rápida identificação. Contudo, informações sobre intervenções anteriores a 2008 na Rocinha são escassas, o que dificultou a identificação de obras anteriores a esse ano, não sendo encontrados dados em arquivos físicos ou digitais sobre esse período. Por isso, neste caso específico, a pesquisa baseou-se no relato de profissionais antigos da organização. Sendo assim, para as análises realizadas neste trabalho, as intervenções anteriores a 2008 estão aqui citadas apenas para registro histórico, não podendo ser utilizadas para as análises.

Após a identificação das intervenções, foi realizada a atualização dos orçamentos dessas obras para valores atuais, afim de que se pudesse fazer uma comparação de custo-benefício entre os valores investidos na realização das obras de estabilização e o custo que seria necessário à remoção e indenização das famílias que foram diretamente beneficiadas por essas obras. O mês de novembro de 2016 foi adotado como base para a análise, pois era o mais recente no momento da elaboração do trabalho.

No caso dos processos em que os dados dos orçamentos de suas respectivas obras foram fornecidos, a atualização foi feita através do catálogo eletrônico disponibilizado na página de internet do SCO-RIO (Sistemas de Custos para Obras e Serviços de Engenharia). A seguir, é apresentada a sequência de utilização do sistema SCO-RIO (**Figura 39** à **Figura 43**). Foi escolhido como exemplo o **serviço SE05.05.0100: Perfuração manual de solo, a trado, com diâmetro de 20 cm**, para os períodos de 03/2008 e 11/2016 (mês fixado para as análises desta pesquisa).

**Catálogo de Itens Sco-Rio**

Esta pesquisa permite um acesso flexível ao catálogo de itens do SCO - RIO. Este catálogo é utilizado no sistema SISCOB - Sistema de Acompanhamento de Obras e Serviços, para elaboração de orçamentos de obras e serviços. Faça sua pesquisa e obtenha as informações relacionadas.

Catálogo a partir de 07/2003

- Itens de Serviços
- Itens Elementares
- Ocorrências de Itens de Serviço
- Ocorrências de Itens Elementares
- Tabelas Referenciais

Para somente imprimir o catálogo personalizado utilize o botão abaixo :

**Impressão do Catálogo de Itens de Serviço**

1 - Para visualizar as ementas completas dos itens elementares relativos às composições dos itens de serviço acessar o anexo do SCO RIO do Diário Oficial, publicado mensalmente pela imprensa oficial.

2 - As informações apresentadas por esta pesquisa são obtidas a partir da pesquisa de preços da Fundação Getulio Vargas.

Copyright © 2006 Secretaria Municipal de Obras  
Rua Afonso Cavalcanti, 455/9º andar  
Cidade Nova - CEP: 20211-110  
Telefone: 2976-1669

Figura 39: Página inicial do sistema SCO-RIO (GEO-RIO, 2016)

Neste exemplo foi escolhida a opção “Itens de Serviços”. Em seguida deve-se selecionar o período a ser consultado e o código do serviço (**Figura 40**).

**Pesquisa de Itens de Serviços  
Catálogo SCO-RIO**

Escolha o Mês/Ano de Referência (10 do Serviço): 03/2008

Categoria: Seleccione

Clã:

Família:

Item de Serviço:

Descrição: Contendo Iniciando

Cód. SCO: SE05.05.0100 Ex.: AD05.05.0050 Cód. FGV: Ex.:

000001

Pesquisar Limpar

Principal Ajuda

Copyright © 2006 Secretaria Municipal de Obras  
Rua Afonso Cavalcanti, 455/9º andar  
Cidade Nova - CEP: 20211-110  
Telefone: 2976-1669

Figura 40: Página para a inserção de dados para a consulta do item desejado; período analisado 03/2008. (GEO-RIO, 2016)

Em seguida, o sistema apresenta a descrição do serviço e seu respectivo custo unitário para o período selecionado (**Figura 41**).

**Resultado da Pesquisa de Itens de Serviços**

Pesquisa realizada em 06/08/2017 06:52 hs

Mês/Ano de Referência: 03/2008 imprimir

Item de Serviço	Descrição	Und. de Medida	Custo R\$	Ocorrências
SE 05.05.0100 (/)	Perfuracao manual de solo, a trado, com diametro de 20cm.	m	13,61	

Clique no item de serviço para visualizar a composição.  
A pesquisa retornou 1 item(ns) na página em um total de 1.  
Esta página lista do item 1 ao item 1.

Principal Pesquisa Ajuda

Copyright © 2006 Secretaria Municipal de Obras  
Rua Afonso Cavalcanti, 455/9º andar  
Cidade Nova - CEP: 20211-110  
Telefone: 2976-1669

Figura 41: Descrição do serviço e do custo unitário. (GEO-RIO, 2016)

Para se verificar o custo deste serviço em outro período, basta repetir o mesmo procedimento (**Figura 42** e **Figura 43**).

**Pesquisa de Itens de Serviços**  
**Catálogo SCO-RIO**

Escolha o Mês/Ano de Referência (10 do Serviço): 11/2016 ▾

Categoria: [=Selecione=] ▾

Clã: ▾

Família: ▾

Item de Serviço: ▾

Descrição:   Contendo  Iniciando

Cód. SCO: SE05.05.0100 Ex.: AD05.05.0050 Cód. FGV:  Ex.:  
000001

Principal Ajuda

Copyright © 2006 Secretaria Municipal de Obras  
Rua Afonso Cavalcanti, 455/9º andar  
Cidade Nova - CEP: 20211-110  
Telefone: 2976-1689

Figura 42: Nova pesquisa para o período de 11/2016. (GEO-RIO, 2016)

**Resultado da Pesquisa de Itens de Serviços**

Pesquisa realizada em 06/08/2017 06:51 hs

Mês/Ano de Referência: 11/2016  imprimir

Item de Serviço	Descrição	Und. de Medida	Custo R\$	Ocorrências
SE 05.05.0100 (/)	Perfuracao manual de solo, a trado, com diametro de 20cm.	m	25,32	

Clique no item de serviço para visualizar a composição.  
A pesquisa retornou 1 item(ns) na página em um total de 1.  
Esta página lista do item 1 ao item 1.

Principal Ajuda

[Pesquisa](#)

Copyright © 2006 Secretaria Municipal de Obras  
Rua Afonso Cavalcanti, 455/9º andar  
Cidade Nova - CEP: 20211-110  
Telefone: 2976-1689

Figura 43: Custo unitário do serviço no período de 11/2016. (GEO-RIO, 2016)

Para um dos processos levantados – Processo 06-100934.2010 (GEO-RIO I, 2010) – não foi fornecido o orçamento das obras vinculadas a ele. Neste caso, para a estimativa do orçamento foram utilizados os projetos disponibilizados e a metodologia proposta pela GEO-RIO no Manual de Técnico de Encostas-Volume II (GEO-RIO II, 2014), obedecendo ao seguinte procedimento:

- Levantamento de todas as intervenções vinculadas ao Processo 06-100934-2010;
- Estimativa do valor de cada intervenção em UC (Unidades de Contenção), com base na Tabela A.1.1 do Manual Técnico de Encostas – Volume II (GEO-RIO II, 2014) para UC/un (**Tabela 10**),
- Conversão do valor de UC para a moeda corrente (real), multiplicando-se por R\$ 180,00, obtendo assim a estimativa para as obras arroladas nesse processo.

Para exemplificar o uso desta metodologia, apresenta-se a seguir a estimativa do orçamento de uma estrutura de impacto com 120 metros de extensão e 4 metros de altura. De acordo com a **Tabela 10** deste trabalho, o valor de UC/un é 7,3951. Com isso,  $UC = 120,00 \times 7,3951 = 887,4120$ . Aplicando-se o fator de conversão para moeda corrente, o custo estimado desta obra ( $C_{est}$ ) é:  $C_{est} = 887,4120 \times R\$ 180,00 = R\$ 159.734,16$ .

Com os custos de todas as obras atualizados foi possível analisar a Relação custo-benefício dessas obras, calculando-se o custo *per capita* das obras e comparando com o custo necessário à indenização das populações que seriam removidas das áreas de alto risco (de acordo com a classificação da GEO-RIO em seus laudos de vistoria). O número de moradores beneficiados foi fornecido nas documentações de cada processo. Para fins práticos, essa indenização levou em conta:

- a. O custo *per capita* com aluguel social, o qual é pago às famílias removidas de suas habitações enquanto suas novas residências não lhes são entregues por meio do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC);
- b. O custo para remoção de moradias (o qual envolve entre outros, demolição, retirada de entulhos e indenizações), previsto pela GEO-RIO (**Tabela 10**). (GEO-RIO II, 2014)

Segundo a SEASDH (Secretaria de Estado de Assistência Social e Direitos Humanos), o valor pago como aluguel social para as famílias removidas de áreas de risco no Rio de Janeiro é de até R\$ 500,00. Este auxílio é válido por 12 (doze) meses, sendo renovável pelo período em que a família não for realocada no novo imóvel. As legislações que regem o auxílio são os Decretos nº 42.406/2010, 43.415/2012, 44.052/2013 e Resolução SEASDH nº 422/2012 (SEASDH, 2016). Para esta pesquisa considerou-se um prazo médio de 2 (dois) anos para a construção e entrega de unidades habitacionais do PAC.

#### **4.2 Elaboração dos mapas**

Como já descrito no item 1.2, os mapas de suscetibilidade elaborados pela GEO-RIO são baseados, principalmente, na experiência do profissional (engenheiro e/ou geólogo) que faz a vistoria do local (tendendo a serem mais subjetivos) e por isso foram aqui considerados como mapas de suscetibilidade baseados em métodos empíricos (mapas empíricos de suscetibilidade).

Neste trabalho buscou-se analisar, primariamente, a modificação do risco a deslizamento da Rocinha através dos mapas elaborados pela Fundação GEO-RIO. Após essa análise, foram elaborados novos mapas para a Rocinha utilizando o método probabilístico preconizado por Lima (2017), o qual se embasa na utilização da distribuição beta para o cálculo das probabilidades de deslizamentos. Com esses novos mapas foram realizadas estimativas da modificação das probabilidades de deslizamentos na Rocinha ao longo dos anos.

Os mapas gerados pela GEO-RIO compreendem os anos entre 2011 e 2015. Os mapas de probabilidades atualizadas de deslizamentos criados e utilizados neste trabalho compreendem os anos entre 2008 e 2014, período de realização das obras identificadas nos processos relacionados à Rocinha. O mapa de probabilidades do ano de 2015 não pode ser gerado, pois não foram disponibilizados os laudos de ocorrência referentes a esse ano.

#### 4.2.1 Metodologia para elaboração dos mapas de probabilidades atualizadas de deslizamentos

Para a utilização do método proposto por Lima (2017), as seguintes etapas devem ser seguidas:

1. Levantamento de laudos de ocorrência;
2. Seleção dos laudos com informações relevantes à classificação do nível de risco das ocorrências;
3. Classificação do risco referente a cada laudo selecionado;
4. Setorização dos laudos;
5. Cálculo das probabilidades para risco alto, médio e baixo para cada setor de análise, através da distribuição beta. (Harr, 1987); (Lima, 2017)
6. Criação dos mapas em um programa SIG (Sistema de Informações Geográficas).

##### 4.2.1.1 Etapas 1 e 2 – Levantamento e seleção de laudos

Primeiramente foram levantados os laudos de ocorrência de deslizamentos fornecidos pela Diretoria de Fiscalização e Licenciamento (DLF) da GEO-RIO, datados desde o ano de 1973. Em seguida foram selecionados os laudos que continham a classificação do risco pelo profissional que realizou a vistoria e/ou aqueles que continham informações suficientes que permitissem classificar o risco, a partir da descrição da ocorrência (endereço, descrição do local, volume de terra/rocha mobilizado, quantidade de vítimas fatais, quantidade de pessoas atingidas e quantidade de residências atingidas). Esta seleção foi realizada a fim de desconsiderar os laudos que possuíam dados precários quanto ao georreferenciamento e/ou endereço incerto. Da **Figura 44** a **Figura 51** são apresentados os modelos de laudos adotados pela Defesa Civil do Município do Rio de Janeiro e pela Fundação GEO-RIO.

 <b>PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO</b> Secretaria Municipal de Conservação e Serviços Públicos Subsecretaria de Defesa Civil		 
<b>BOLETIM OCORRÊNCIA Nº</b> /18		
<b>Solicitante:</b> <u>Leonardo (GEO-RIO)</u>		<b>Telefone:</b> <u>980093728</u>
<b>Tipo de Ocorrência:</b> <u>Ameaça desabamento de imóvel</u>		
<b>Endereço:</b> <u>Rua Conselheiro Jobim nº 422 / Casa 01</u>		
<b>Bairro:</b> <u>Engenho Novo</u>		<b>Sub-bairro/Comunidade:</b> <u>São João</u>
<b>Ponto de Referência:</b> <u>Endereço da Associação de Moradores</u>		
<b>Vistoria Restrita à Análise Visual</b>		
<p>Trata-se de imóvel residencial, multifamiliar e com 03 pavimentos.</p> <p>No momento da vistoria verifiquei que o imóvel localiza-se no pé de encosta vertical, composta por maciço rochoso, matacões e blocos de rocha instáveis, onde foi realizada obra de contenção pela GEO-RIO, instalando barreiras fixas e tela de aço, estando o imóvel supracitado no interior da área de risco.</p> <p>Segundo informações de representante da Associação de Moradores, o proprietário não reside mais no imóvel, estando com processo em andamento no programa "Minha Casa Minha Vida", entretanto o local foi objeto de invasão, estando ocupado.</p> <p>É necessária a relocação destes ocupantes e demolição integral do imóvel, em função do risco potencial de rolamento de blocos de rocha e matacões, podendo atingir a edificação.</p> <p>Para acesso ao local é necessário o acompanhamento por parte de representante da Associação de Moradores (Rua Conselheiro Jobim nº 422).</p>		
<b>Providências</b>		
<p>À Secretaria Municipal de Habitação - SMH para análise e providências com urgência.</p> <p>À Secretaria Municipal de Desenvolvimento Social - SMDS para ciência e providências com urgência.</p> <p>À Coordenação de Operações Especiais da Secretaria Municipal de Conservação e Serviços Públicos - SC/COE para demolição integral do imóvel, após a relocação dos ocupantes.</p> <p>À Fundação Instituto de Geotécnica do Município do Rio de Janeiro – GEO-RIO para conhecer.</p>		
<b>Vistoriante:</b> <u>Engº Daniel Guerra Crivano</u>		<b>Data:</b> <u>15/01/16</u>
<b>Matrícula:</b> <u>10/202085-0</u>		<b>Assinatura</b> _____
 Subsecretaria de Defesa Civil Rua Visconde de Santa Isabel, nº 32 - Vila Isabel - CEP: 20.560-130 199 / 2258-8948		

Figura 44: Laudo de vistoria adotado pela Defesa Civil Municipal (Lima, 2017)

**LAUDO DE VISTORIA GEORIO No.: 22/77**

**1 -LOCALIZAÇÃO**  
Logradouro: "3"  
Categoria: Rua  
Complemento:  
Bairro: Rocinha  
Favela: Rocinha  
Estado: Rio de Janeiro

Número: 322/178  
R.A.: XXVII AP: 2  
País: Brasil  
Cidade:Rio de Janeiro

**2 -DATA DO PEDIDO** 04/04/77

**3 -DATA DA VISTORIA** 04/04/77

**4 -ORIGEM DO PEDIDO**

**5 -SOLICITANTE**  
Nome:  
Telefone:

**6 -ASPECTOS REGIONAIS**

**6.1 - Tipo de Ocupação**  
Densidade: Alta

**6.2 - Tipo de Vegetação**  
Densidade: Alta

**6.3 - Tipo de Relevo:** Escarpado

**7 -CARACTERÍSTICAS LOCAIS**

**7.1 - Tipo de Talude**  
Natureza do Material

Figura 45: Página 1 do laudo adotado pela GEO-RIO até 2009 (DLF, GEO-RIO, 1977)

7.2 - Espessura média aproximada do perfil do solo (m):

7.3 - Tipo de Drenagem: Natural

7.3.1 - Condição do Sistema de Drenagem: Satisfatória

7.4 - Condições de Água Subterrânea  
Null

7.5 - Risco  
Tipo: Inexistente  
Grau: Baixo

**8 - CARACTERÍSTICAS DA OCORRÊNCIA**

8.1 - Situação: Com Possibilidade de Ocorrência

8.2 - Data: / /  
Hora Aproximada: :

8.3 - Volume aproximado do material mobilizado (m3):

8.4 - Tipo(s) de Movimento(s)

8.4.1 - Superfície de Deslizamento

8.4.2 - Classificação

8.5 - Conseqüências  
Número de Vítimas Fatais: Null

Figura 46: Página 2 do laudo adotado pela GEO-RIO até 2009 (DLF, GEO-RIO, 1977)

8.6 - Descrição da Ocorrência (explicitar causas prováveis e conseqüências)  
Obs.: Em caso de elaboração de croquis ou descrições ver figura na última página.™

**9 - PROVIDÊNCIAS**

**10 - OBSERVAÇÕES GERAIS**

**11 - RESPONSÁVEL PELA VISTORIA:** Eng. Mauro José Lima Batista

**13 - ANEXOS**  
CD Associado: CD10

---

Obs.: Em caso de elaboração de croquis ou descrições, utilizar os parâmetros a seguir para definir a geometria do talude ou obra de contenção existente.

h - Altura (m)    E - Extensão (m)  
L - Largura (m)    a - Inclinação (º)

Figura 47: Página 3 do laudo adotado pela GEO-RIO até 2009 (DLF, GEO-RIO, 1977)



### LAUDO DE VISTORIA

Folha 01/02

---

**1. LOCAÇÃO - RORAMA**

1.1. **Ponto de Referência:** Ponto 21

2. **Coordenadas UTM:** N = 1467248 E = 679238

2.1. **Datum:** Sirgas 2000

**3. Responsável:** André Pereira Lima

**4. Tipo de Situação:**

Movimento ocorrido

Possibilidade de movimento

Estudo/Problema

Não se trata de problema geotécnico

---

**5.1. Tipo de Ocupação / Densidade**

Área não ocupada

Área urbana estruturada

Estrada

Pavão

Outros: \_\_\_\_\_

**5.2. Tipo de Vegetação / Condições**

Árvore

Arbustiva

Rasteira

Nenhuma

**5.3. Drenagem / Condições**

Natural

Construída

Inexistente

Saturated

Insuficiente

Obstruída

Deteriorada

---

**6. CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS**

6.1. **Local Vistoriado**

Encosta natural

Talude de corte

Talude de aterro

Talvegue

Extração mineral

Outros: \_\_\_\_\_

6.2. **Geometria (Ver Croqui)**

Altura (m): \_\_\_\_\_

Largura (m): \_\_\_\_\_

Inclinação (%): \_\_\_\_\_

6.3. **Obras de Contenção Existentes**

Sim  Pública Tipo: \_\_\_\_\_

Não  Privada Dimensões h x l (m): \_\_\_\_\_ x \_\_\_\_\_

Condições: \_\_\_\_\_

6.4. **Condições de Saturação**

Seco  Com surgência

Úmido  Tubulação rompida

Encharcado  Artesiano

Ver Croqui anexo  Sapiro in natura

**6.4. Parede / Perfil de Encosta**

Escarpado

Abundante

Ondulado

Suave

Côncavo

Convexo

Retilino

---

**7. CARACTERÍSTICAS DA SITUAÇÃO**

7.1. **Movimento Ocorrido**

Data: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ Hora: \_\_\_\_:\_\_\_\_

Volume estimado (m<sup>3</sup>): \_\_\_\_\_

Fluxometria (Últimas 48h) (mm): \_\_\_\_\_

7.1.1. **Consequências**

Vitrões fabric. (m<sup>3</sup>) \_\_\_\_\_

Vitrões não fabric. (m<sup>3</sup>) \_\_\_\_\_

Obstrução de vias

Danos a bens particulares

Danos a bens públicos

Riscos a terceiros

Sem consequências

7.2. **Tipologia do Movimento / Características**

Queda/Rolamento de blocos

Escorregamento

Rasteio

Subsistência

Complexo

Rotacional

Planar

Complexo

Lento

Rápido

7.3. **Existência de Movimentos**

Trincas no solo

Trincas em acessos

Trincas em edificações

Lascas/blocos móveis

Árvore em desequilíbrio

Surgências d'água

Deslocamentos

Processo envolvido/assentamento

7.4. **Superfície de Deslizamento**

Solo-Solo

Solo-Rocha

Rocha-Rocha

Não identificada (Descrever): \_\_\_\_\_

7.5. **Grado de Risco**

Alto

Médio

Baixo

7.6. **Superfície de Deslizamento**

Solo-Solo

Solo-Rocha

Rocha-Rocha

Não identificada (Descrever): \_\_\_\_\_

---

7.2. **Possibilidade de Movimento**

7.2.1. **Grado de Risco**

Alto

Médio

Baixo

7.3. **Tipologia do Movimento / Características**

Queda/Rolamento de blocos

Escorregamento

Rasteio

Subsistência

Complexo

Rotacional

Planar

Complexo

Lento

Rápido

7.2.2. **Numero de Elementos em Risco**

= 10

entre 10 e 20

> 20

Mortais

Hospitais/Escolas

Sifonagens/Estaduas

Estradas

Outros: \_\_\_\_\_

Figura 48: Página 1 das fichas de campo da GEO-RIO (Lima, 2017)



1

Página 2/2

**8. NECESSIDADE DE PROVIDÊNCIAS URGENTES**

Não  Sim (Especificar) ... Investigação, remoção, delimitador de área de risco, limpeza de encosta, demolição

Descrição de Situação (Informações Complementares)

Local com áreas demolidas, abandonadas e ocupadas (apenas %). Área já delimitada com área de proteção ambiental

---

**9. INTERVENÇÕES/RECOMENDAÇÕES RECOMENDADAS**

**9.1. Drenagem**

*Sem intervenções*

	I	U	M	V	R	A
	(20)	(20)	(20)	(20)	(20)	(20)
<input type="checkbox"/> Canais Sotidos						
<input type="checkbox"/> Canais com Linhas						
<input type="checkbox"/> Caixa de Passagem						
<input type="checkbox"/> Dissipador de Energia						
<input type="checkbox"/> Cascalho Profundo						
<input type="checkbox"/> Drenos						
<input type="checkbox"/> Vão de Drenos (VAG)						
<input type="checkbox"/> Vão Drenado						
<input type="checkbox"/> Desobstrução						
<input type="checkbox"/> Recuperação						

**9.2. Contenção**

*Sem intervenções*

	I	U	M	V	R	A
	(20)	(20)	(20)	(20)	(20)	(20)
<input type="checkbox"/> Alvenaria Alçada						
<input type="checkbox"/> Cortinas Alçadas						
<input type="checkbox"/> Cortinas Chumbadas						
<input type="checkbox"/> Cortina Alçada						
<input type="checkbox"/> Estalada com (Chumbadas)						
<input type="checkbox"/> Estalada de Injeção						
<input type="checkbox"/> Cortina Alçada						
<input type="checkbox"/> Muro de Contenção Drenado						
<input type="checkbox"/> Muro Chumbado						
<input type="checkbox"/> Muro de Paredo						
<input type="checkbox"/> Muro de Paredo com Toste						
<input type="checkbox"/> Muro de Drenos						
<input type="checkbox"/> Solo Grampeado						
<input type="checkbox"/> Viga Traqueada						
<input type="checkbox"/> Recuperação estrutural						

**9.3. Proteção Superficial**

*Sem intervenções*

	I	U	M	V	R	A
	(20)	(20)	(20)	(20)	(20)	(20)
<input type="checkbox"/> Concreto Projetado						
<input type="checkbox"/> Grama Armada						
<input type="checkbox"/> Hidrosemadura						
<input type="checkbox"/> Vegetação						

**9.4. Movimento de Terra**

*Sem intervenções*

	I	U	M	V	R	A
	(20)	(20)	(20)	(20)	(20)	(20)
<input type="checkbox"/> Escorço de Valante						
<input type="checkbox"/> Desmonte de rocha						
<input type="checkbox"/> Limpeza a base aberta						
<input type="checkbox"/> Remoção de terreno no topo						
<input type="checkbox"/> Remoção de terreno no talude						
<input type="checkbox"/> Reforço do talude						
<input type="checkbox"/> Escorço						

**9.5. Acessórios Específicos**

	I	U	M	V	R	A
	(20)	(20)	(20)	(20)	(20)	(20)
<input checked="" type="checkbox"/> Remoção						
<input checked="" type="checkbox"/> Delimitador de Área de Risco						
<input type="checkbox"/> Placardes						
<input type="checkbox"/> Limpeza de encosta						
<input type="checkbox"/> Demolição						

**9.6. Investigações Geotécnicas**

*Sem intervenções*

	I	U
	(20)	(20)
<input type="checkbox"/> Sondagem a Tiro		
<input type="checkbox"/> Sondagem a Percussão		
<input type="checkbox"/> Sondagem Rotativa		
<input type="checkbox"/> Corte de Solo Informado		
<input type="checkbox"/> Ensaios de Caracterização		
<input type="checkbox"/> Ensaios de Resistência		

1 - Desaprovado 2 - Não aprovado 3 - Aprovado com ressalvas 4 - Não aprovado 5 - Aprovado 6 - Fiscal

---

**10. FISCALIZAÇÃO**

Aprovado  Aprovado com ressalvas  Não aprovado  Fiscal

Comentários:

---

**11. ANEXOS**

Relatório Preliminar  Fotos

Orçã  Outros (especificar)

Figura 49: Página 2 das fichas de campo da GEO-RIO (Lima, 2017)



**PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO**  
Secretaria Municipal de Obras  
Fundação Instituto de Geotécnica do Município do Rio de Janeiro  
Campo de São Cristóvão, 265 - 1ª e 2ª andares - São Cristóvão  
Telefone: 3675-7575 Fax: 3675-6267 E-mail: geomo@rio.rj.gov.br




**LAUDO DE VISTORIA GEO RIO N.º: 0672/2012**

1- **LOCAL:** Rua Armando de Albuquerque - Rua São Luiz nº 47, casa 10 - Vila Isabel  
 RA: IX AP: 2.2 Favela: Parque Vila Isabel Setor:

1.1 - **PONTO DE REFERENCIA:** 1.2 - UTM (ZONA; SAD 69): 675.410 / 7.485.016

2- **DATA DO PEDIDO:** 04/07/2012 **DATA DA VISTORIA:** 30/10/2012 (2ª vistoria)

3- **ORIGEM/MOTIVO DO PEDIDO:** S/SUBOEC - BO 11.595/2012

4- **SOLICITANTE:** Maria Soraisa Tel: 3522-3492

5- **TIPO DE OCORRÊNCIA:**  Ocorrência Geotécnica  Possibilidade de Ocorrência  
 Data: / Hora:

6 - ASPECTOS REGIONAIS		7 - CARACTERÍSTICAS LOCAIS
<p><b>6.1 - Tipo de ocupação:</b></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Favela  <input type="checkbox"/> Área urbana estruturada  <input type="checkbox"/> Área de preservação ambiental  <input type="checkbox"/> Área não ocupada  <input type="checkbox"/> Loteamento irregular  <input type="checkbox"/> Interface de favela  <input type="checkbox"/> Outras:</p>	<p><b>6.1.2 - Densidade Ocupacional:</b></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Alta  <input type="checkbox"/> Média  <input type="checkbox"/> Baixa</p>	<p><b>7.1 - Sítio visitado:</b></p> <p><input type="checkbox"/> Encosta natural  <input checked="" type="checkbox"/> Taludes de corte  <input type="checkbox"/> Talude de aterro  <input type="checkbox"/> Talvegue  <input type="checkbox"/> Escavação  <input type="checkbox"/> Extração mineral  <input type="checkbox"/> Outros:</p>
<p><b>6.2 - Tipo de Vegetação:</b></p> <p><input type="checkbox"/> Arbórea  <input type="checkbox"/> Arbustiva  <input type="checkbox"/> Rasteira  <input checked="" type="checkbox"/> Nenhuma</p>	<p><b>6.2.1 - Densidade:</b></p> <p><input type="checkbox"/> Alta  <input type="checkbox"/> Média  <input type="checkbox"/> Esparsa</p>	<p><b>7.2 - Geometria:</b>                  Altura (m): 2,0   Largura (m): 8,0                  Inclinação (°): 90</p> <p><b>7.3 - Obras de contenção:</b></p> <p><input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Pública <input type="checkbox"/> Privada  <input checked="" type="checkbox"/> Não</p>
<p><b>6.3 - Drenagem:</b></p> <p><input type="checkbox"/> Natural  <input type="checkbox"/> Construída  <input checked="" type="checkbox"/> Inexistente</p>	<p><b>6.3.1 - Condições:</b></p> <p><input type="checkbox"/> Satisfatória  <input type="checkbox"/> Insuficiente  <input type="checkbox"/> Obstruída  <input type="checkbox"/> Dificiada</p>	<p><b>7.4 - Condições de umidade:</b></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Seco  <input type="checkbox"/> Umido  <input type="checkbox"/> Saturado  <input type="checkbox"/> Com suspensão  <input type="checkbox"/> Tubulação rompida</p>
<p><b>6.4 - Relevo</b></p> <p><input type="checkbox"/> Escarpado  <input type="checkbox"/> Montanhoso  <input type="checkbox"/> Ondulado  <input checked="" type="checkbox"/> Suave</p>	<p><b>6.4.1 - Perfil da encosta</b></p> <p><input type="checkbox"/> Côncavo  <input type="checkbox"/> Côncavo  <input type="checkbox"/> Convexo  <input type="checkbox"/> Retilíneo</p>	<p><b>7.5 - Natureza do Material</b></p> <p><input type="checkbox"/> Rocha <input type="checkbox"/> S3  <input type="checkbox"/> Alterada  <input type="checkbox"/> Fraturada  <input checked="" type="checkbox"/> Solo <input type="checkbox"/> com trincas  <input type="checkbox"/> Semi trincas                  Espessura estimada (m):  <input type="checkbox"/> Sólido Tipo de apoio:                  Forma:                  Volume:  <input checked="" type="checkbox"/> Talus <input type="checkbox"/> Entulho  <input type="checkbox"/> Lascas <input type="checkbox"/> Lixo  <input type="checkbox"/> Aterro</p>

Laudo 0672/2012 1/2

Figura 50: Página 1 dos laudos da GEO-RIO (Lima, 2017)

		PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO Secretaria Municipal de Obras Fundação Instituto de Geotécnica do Município do Rio de Janeiro Campus de São Cristóvão, 268 - 1º e 3º andares - São Cristóvão. Telefone 3878-7878 - Fax:3878-6397 E-mail:geolo@rio.rj.gov.br																							
<b>8 - CARACTERÍSTICAS DA OCORRÊNCIA OU SITUAÇÃO</b>																									
<b>8.1 - Situação</b> <input checked="" type="checkbox"/> Possibilidade de ocorrência com atingimento de moradas, prédios ou bens públicos. <input type="checkbox"/> Possibilidade de ocorrência sem atingimento de moradas, prédios ou bens públicos. <input type="checkbox"/> Ocorrência		<b>8.1.1 - Grau de Risco</b> <input checked="" type="checkbox"/> Alto <input type="checkbox"/> Médio <input type="checkbox"/> Baixo <input type="checkbox"/> Inexistente		<b>8.1.2 - Número de pessoas beneficiadas:</b> 02  <b>8.1.3 - Número de interdições:</b> <input checked="" type="checkbox"/> Unidade habitacional: 1 <input type="checkbox"/> Acessos: <input type="checkbox"/> Outros:		<b>8.1.4 - Nº de solicitações para Demolição:</b> 01																			
<b>8.2 - Tipologia da ocorrência</b> <input type="checkbox"/> Escorregamento de solo <input type="checkbox"/> Escorregamento de bloco/entulho <input type="checkbox"/> Escorregamento de rocha <input checked="" type="checkbox"/> <b>Expansão de talude/colúvia</b> <input type="checkbox"/> Ruptura de talude cone <input type="checkbox"/> Ruptura de talude atero <input type="checkbox"/> Ruptura de obras de contenção <input type="checkbox"/> <b>Desloc. de blocos ou lajeas</b> <input type="checkbox"/> Corridos de massa <input type="checkbox"/> Processo erosivo <input type="checkbox"/> Outros:		<b>8.3 - Possível ocorrência</b> <input type="checkbox"/> Escorregamento de solo <input type="checkbox"/> Escorregamento de bloco/entulho <input type="checkbox"/> Escorregamento de rocha <input checked="" type="checkbox"/> <b>Expansão de talude/colúvia</b> <input type="checkbox"/> Ruptura de talude cone <input type="checkbox"/> Ruptura de talude atero <input type="checkbox"/> Ruptura de obras de contenção <input type="checkbox"/> <b>Desloc. de blocos ou lajeas</b> <input type="checkbox"/> Corridos de massa <input type="checkbox"/> Processo erosivo <input type="checkbox"/> Outros:		<b>8.4 - Superfície de deslizamento</b> <input checked="" type="checkbox"/> Sobre solo <input type="checkbox"/> Sobre rocha <input type="checkbox"/> Sem superfície definida		<b>8.5 - Consequências</b> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Ocorr.</th> <th>Possib.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ostrução de vias</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Danos a bens públic</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Danos a bens públ.</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Riscos para terceiros</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Sem danos</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> </tbody> </table>			Ocorr.	Possib.	Ostrução de vias	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Danos a bens públic	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Danos a bens públ.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Riscos para terceiros	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Sem danos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Ocorr.	Possib.																							
Ostrução de vias	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																							
Danos a bens públic	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>																							
Danos a bens públ.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																							
Riscos para terceiros	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																							
Sem danos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																							
				<b>8.6 - Vítimas</b>		<b>Nº</b>																			
				<input type="checkbox"/> Vítimas Fatais		<input type="checkbox"/> Vítimas não fatais																			
<b>8.7 - Descrição da Ocorrência ou Situação</b> Casa térrea em alvenaria de tijolo de meia vez localizada no topo da escadaria (Travessa São Luiz nº 47) que se encontra em péssimo estado de conservação. Paredes fora do prumo, piso rachado e aturdado e telhado deformado. Encontra-se afastada 1,0m da crista de um pequeno corte com altura de 2,0m que já sofreu fuga de material. O risco de queda da moradia é iminente.																									
<b>9 - PROVIDÊNCIAS:</b> 9.1 - À S/SEDUC para: a) interditar a moradia da Rua São Luiz, nº 47, casa 10; b) encaminhar à SMH para relocação dos moradores da casa interdita; 9.2 - À GEO-RIO/GAB para oficializar à SECONSERVA para, após a relocação, promover a demolição da moradia.																									
<b>10 - OBSERVAÇÕES GERAIS:</b>																									
<b>11 - RESPONSÁVEL PELA VISTORIA:</b> Eng.º José Guilherme <del>Martins</del> de Melo																									
<b>12 - ANEXOS:</b> <input type="checkbox"/> FOTOS <input checked="" type="checkbox"/> GEQUIL <input type="checkbox"/> OUTROS																									
Rio de Janeiro, 25 de dezembro de 2012.																									
Versão: 001 / 12 / 2012																									

Figura 51: Página 2 dos laudos da GEO-RIO (Lima, 2017)

#### 4.2.1.2 Etapa 3 – Classificação dos riscos das ocorrências

Para a classificação do risco de cada ocorrência foi utilizada como base a **Tabela 14**. Nesta tabela, para que uma ocorrência seja classificada como de risco alto, basta que ela se enquadre em pelo menos uma das características associadas à descrição de risco alto. O mesmo procedimento de classificação é válido para os demais níveis de risco (médio e baixo).

Tabela 14: Critérios para a classificação dos riscos das ocorrências com base na avaliação dos laudos de ocorrência da GEO-RIO (Lima, 2017)

Classificação do Risco		Característica
1	Alto	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Item 7.5 (laudo antigo) ou item 7.2.1 (laudo novo): risco alto preenchido pelo vistoriador;</li> <li>- volume de solo mobilizado &gt; 100m<sup>3</sup>;</li> <li>- possibilidade de ruptura global junto à área ocupada;</li> <li>- local com histórico de escorregamentos ou desprendimento de blocos;</li> <li>- ocorrências junto a talvegues;</li> <li>- taludes que apresentam trincas de tração ou qualquer outra evidência de movimentação;</li> <li>- áreas de taludes desprotegidos/desmatados com declividade acentuada, e capa de solo coluvionar/residual maduro sobre superfície rígida de solo residual jovem/rocha;</li> <li>- taludes com concentração de blocos instáveis à montante de logradouros públicos ou moradias;</li> <li>- demais situações que podem ser classificadas de modo qualitativo como de perigo humano ou dano material relevante, à critério do engenheiro ou geólogo responsável pela vistoria.</li> </ul>
2	Médio	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Item 7.5 (laudo antigo) ou item 7.2.1 (laudo novo): risco médio preenchido pelo vistoriador;</li> <li>- quaisquer ocorrências associadas a danos humanos ou materiais que não estejam enquadradas nas características da classe 1.</li> </ul>
3	Baixo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Item 7.5 (laudo antigo) ou item 7.2.1 (laudo novo): risco baixo preenchido pelo vistoriador;</li> <li>- quaisquer ocorrências não associadas a danos humanos ou materiais e que não estejam enquadradas nas características da classe 1 e 2.</li> </ul>

Para ocorrências envolvendo mais de um local (mais de uma residência), a quantidade de locais envolvidos constituiu-se como um fator majorador para a gravidade dessas ocorrências.

#### 4.2.1.3 Etapa 4 – Setorização dos laudos

Em alguns laudos de ocorrências muito antigas não há a informação das coordenadas geográficas, fato que tornaria impossível a espacialização dos pontos de ocorrência. Sendo assim, de acordo com Lima (2017), foram reconhecidos locais na Rocinha onde havia maiores concentrações de ocorrências ao longo dos anos. Estes pontos foram denominados de Locais/Setores ( $L_n$ ), onde  $n$  varia de 1 a 27, possuindo coordenadas planas conhecidas. Dessa forma, cada laudo pode ser aproximado a um ponto de concentração conhecido. Vale ressaltar que esses pontos não correspondem necessariamente a um sub-bairro da Rocinha, mas sim, a locais de concentração de ocorrência, fazendo com que possa haver mais de um local ( $L_n$ ) para um mesmo sub-bairro. Por exemplo, os Locais  $L_6$  e  $L_{23}$  estão aproximadamente na região do sub-bairro Macega. Os laudos com localização duvidosa não foram considerados nos cálculos.

De acordo com Lima (2017), os Locais ( $L_n$ ) estão distribuídos de acordo com a **Figura 52** e a **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, que apresenta as coordenadas planas de cada Local ( $L_n$ ). Como Lima (2017) concentrou-se nos eventos ocorridos nos anos de 1996, 2010 e no período compreendido entre 2011 e 2014, a demarcação dos Locais ( $L_n$ ) foi concebida da seguinte forma:

- Os pontos em verde correspondem a Locais onde houve concentração de ocorrências no período de 2011 a 2014;
- Os pontos em amarelo correspondem a Locais onde houve concentração de ocorrências repetidamente nos anos de 2010 e no período de 2011 a 2014;
- Os pontos em vermelho correspondem a Locais onde houve concentração de ocorrências repetidamente nos anos de 1996, 2010 e no período de 2011 a 2014.

No objetivo de tornar os resultados probabilísticos mais refinados, no presente trabalho houve a necessidade de setorizar também os laudos compreendidos entre os anos de 1973 a 1995, e, 1997 a 2009. Analisando laudo por laudo constatou-se que todos eles poderiam ser setorizados entre os mesmos 27 locais ( $L_n$ ) anteriormente georreferenciados no trabalho de Lima (2017). Portanto o

georreferenciamento de Lima (2017) foi adotado (Erro! Fonte de referência não encontrada. e **Figura 52**).

Tabela 15: Coordenadas dos Locais/Setores ( $L_n$ ) (Lima, 2017)

Sub-bairro	Local	Coordenadas	
	$L_n$	X	Y
Laboriaux	$L_1$	679432	7457140
Laboriaux	$L_2$	679768	7456996
Laboriaux	$L_3$	679810	7457118
Terreirão	$L_4$	679915	7456781
Terreirão	$L_5$	680176	7456813
Macega	$L_6$	679939	7456524
Cachopa	$L_7$	679236	7456814
Trampolim/Vila Verde	$L_8$	679064	7456557
Largo do Boiadeiro	$L_9$	679247	7456357
Talvegue	$L_{10}$	679572	7456562
Roupa Suja	$L_{11}$	679650	7456326
Laboriaux	$L_{12}$	679361	7457198
Laboriaux	$L_{13}$	679592	7457137
Terreirão	$L_{14}$	680054	7456965
Cachopa	$L_{15}$	678862	7456890
Portão Vermelho	$L_{16}$	679237	7456919
Portão Vermelho	$L_{17}$	679498	7456790
Portão Vermelho	$L_{18}$	679682	7456891
Trampolim/Vila Verde	$L_{19}$	678871	7456678
Cachopa	$L_{20}$	679246	7456734
Laboriaux	$L_{21}$	679845	7457094
Trampolim/Vila Verde	$L_{22}$	679028	7456480
Macega	$L_{23}$	679790	7456545
Laboriaux	$L_{24}$	679943	7456994
Portão Vermelho	$L_{25}$	679499	7456907
Laboriaux	$L_{26}$	679827	7456911
Cachopa	$L_{27}$	679352	7456634

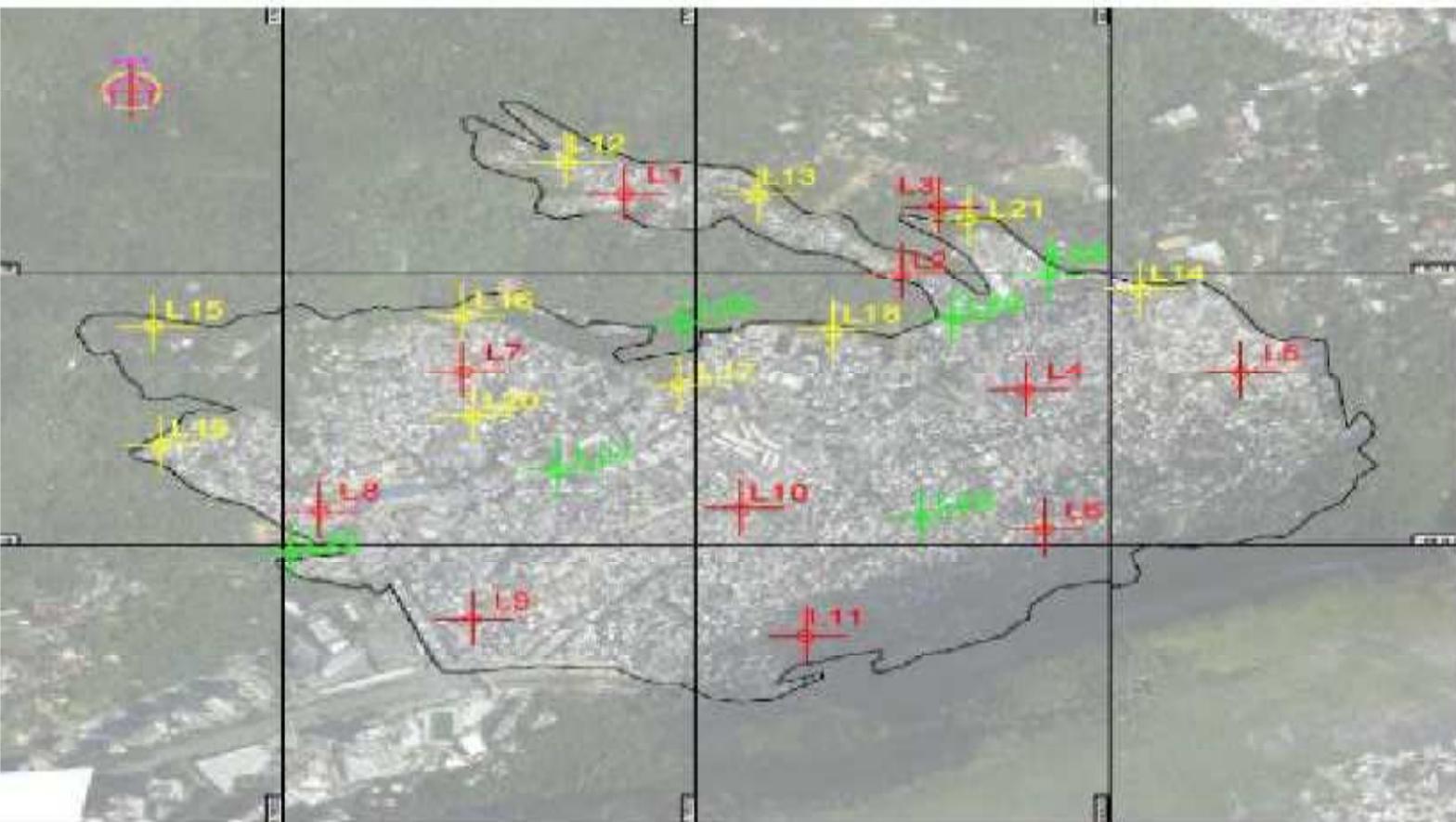


Figura 52: Locais ( $L_n$ ) para o período de 1973 a 2014 (Lima, 2017 - adaptado)

#### 4.2.1.4 Etapa 5 – Cálculo das probabilidades

Para a utilização da distribuição beta são necessários apenas 2 parâmetros de entrada: número de sucessos ( $\alpha$ ) e número de insucessos ( $\beta$ ). Portanto, a probabilidade de sucesso pode ser dada pela confiabilidade, expressa pela equação **(82)** [ (Harr, 1987), (Lima, 2017)] e a probabilidade de ruína pela **equação (84)**, ou seja, a probabilidade de ruína é dado por 1 menos a confiabilidade.

$$P_{\text{ruína}} = 1 - \text{Confiabilidade} = 1 - \frac{\alpha + 1}{\alpha + \beta + 2} \quad (84)$$

A seguir será apresentado um exemplo prático deste conceito. A **Tabela 16** apresenta os dados acumulados de ocorrência entre os anos de 1973 e 2008, os valores de  $\alpha$  e  $\beta$  e as probabilidades calculadas para cada nível de risco, em cada local  $L_n$ . Esses dados foram utilizados para a geração do mapa de probabilidades atualizadas a deslizamentos do ano de 2008, o qual será apresentado no capítulo de resultados.

Tomando-se como exemplo o local  $L_1$  da **Tabela 16**, será exemplificado o cálculo da probabilidade de ruína para cada nível de risco. Neste caso pode-se observar:

- $N_1$ : número de ocorrências classificadas como risco alto.
- $N_2$ : número de ocorrências classificadas como risco médio.
- $N_3$ : número de ocorrências classificadas como risco baixo.
- $\beta_1$ : número de insucessos para o risco 1. Neste caso, número de insucessos é aquele que representa a quantidade de ocorrências em que houve o risco 1, ou seja, que se enquadrou em algum dos itens relacionados a risco alto pelos critérios da **Tabela 14**.
- $\alpha_1$ : número de sucessos para o risco 1. Neste caso, o número de sucesso é aquele que representa a quantidade de ocorrências em que não houve risco 1, ou seja, o somatório do número de ocorrências

caracterizadas como risco médio (2) e baixo (1), pelos critérios da **Tabela 14**.

- $P_{r1}$ : probabilidade de ruína em risco 1.
- Analogamente têm-se os conceitos para  $\alpha_2$ ,  $\beta_2$ ,  $P_{r2}$ ,  $\alpha_3$ ,  $\beta_3$  e  $P_{r3}$ .

Sendo assim:

- $\alpha_1 = 2 + 0 = 2$
- $\beta_1 = 3$

Logo, de acordo com a equação (84):

$$P_{r1}(L_1) = 1 - \frac{\alpha_1 + 1}{\alpha_1 + \beta_1 + 2}$$

$$P_{r1}(L_1) = 1 - \frac{2 + 1}{2 + 3 + 2} = 0,57143$$

Analogamente calculam-se as probabilidades  $P_{r2}(L_1)$  e  $P_{r3}(L_1)$ .

Tabela 16: Planilha utilizada para cálculo de probabilidades de ruína para ocorrências acumuladas entre 1973 e 2008 (Lima, 2017 – adaptado).

$L_n$	Nº ocorrências			Probabilidades para cada nível de risco acumulado entre 1973 e 2008								
	$N_1$	$N_2$	$N_3$	$\alpha_1$	$\beta_1$	$Pr_1$	$\alpha_2$	$\beta_2$	$Pr_2$	$\alpha_3$	$\beta_3$	$Pr_3$
$L_1$	3	2	0	2	3	0,57143	3	2	0,42857	5	0	0,14286
$L_2$	6	2	0	2	6	0,7	6	2	0,3	8	0	0,1
$L_3$	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0,5	0	0	0,5
$L_4$	10	5	3	8	10	0,55	13	5	0,3	15	3	0,2
$L_5$	2	0	0	0	2	0,75	2	0	0,25	2	0	0,25
$L_6$	3	4	2	6	3	0,36364	5	4	0,45455	7	2	0,27273
$L_7$	1	1	0	1	1	0,5	1	1	0,5	2	0	0,25
$L_8$	15	5	1	6	15	0,69565	16	5	0,26087	20	1	0,08696
$L_9$	7	5	2	7	7	0,5	9	5	0,375	12	2	0,1875
$L_{10}$	0	1	0	1	0	0,33333	0	1	0,66667	1	0	0,33333
$L_{11}$	1	0	2	2	1	0,4	3	0	0,2	1	2	0,6
$L_{12}$	2	3	4	7	2	0,27273	6	3	0,36364	5	4	0,45455
$L_{13}$	4	0	1	1	4	0,71429	5	0	0,14286	4	1	0,28571

L <sub>14</sub>	12	2	17	19	12	0,39394	29	2	0,09091	14	17	0,54545
L <sub>15</sub>	12	3	4	7	12	0,61905	16	3	0,19048	15	4	0,2381
L <sub>16</sub>	15	10	7	17	15	0,47059	22	10	0,32353	25	7	0,23529
L <sub>17</sub>	10	1	5	6	10	0,61111	15	1	0,11111	11	5	0,33333
L <sub>18</sub>	24	16	15	31	24	0,4386	39	16	0,29825	40	15	0,2807
L <sub>19</sub>	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0,5	0	0	0,5
L <sub>20</sub>	0	0	1	1	0	0,33333	1	0	0,33333	0	1	0,66667
L <sub>21</sub>	2	1	0	1	2	0,6	2	1	0,4	3	0	0,2
L <sub>22</sub>	2	0	3	3	2	0,42857	5	0	0,14286	2	3	0,57143
L <sub>23</sub>	1	0	0	0	1	0,66667	1	0	0,33333	1	0	0,33333
L <sub>24</sub>	6	1	1	2	6	0,7	7	1	0,2	7	1	0,2
L <sub>25</sub>	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0,5	0	0	0,5
L <sub>26</sub>	0	1	0	1	0	0,33333	0	1	0,66667	1	0	0,33333
L <sub>27</sub>	5	2	1	3	5	0,6	6	2	0,3	7	1	0,2

Analisando todos os laudos utilizados nesta pesquisa observou-se que houve a prevalência de ocorrências de risco alto até o ano de 2009. A partir do ano de 2010, ocorrências de risco médio prevalecem na Rocinha, mesmo após os eventos catastróficos resultantes das chuvas daquele ano. Essa modificação decorre da ação das obras realizadas entre os anos de 2008 e 2010 pela Fundação GEO-RIO.

Portanto, para os anos de 2008 e 2009 foram adotadas as probabilidades de ruína  $P_{r1}$  (risco alto) para a composição da coordenada Z, necessária à geração dos mapas de probabilidades atualizadas pelo ArcGis. Já para os anos de 2010 a 2014, foram adotadas as probabilidades de ruína  $P_{r2}$  (risco médio) para a geração dos mapas.

A **Tabela 17** apresenta o percentual de ocorrências classificadas como risco alto, médio e baixo de todos os laudos utilizados nesta pesquisa, acumulados desde o ano de 1973 até o ano apresentado em cada coluna da tabela. De tal forma que, de todos os laudos classificados desde o ano de 1973 até o ano de 2008, 52% dos laudos foram classificados como ocorrências de risco alto, 23% de nível médio e 25% de nível baixo. Da mesma forma, de todos os laudos classificados desde o ano de 1973 até o ano de 2009, 50% dos laudos foram classificados como ocorrências de risco alto, 26% de nível médio e 24% de nível baixo. Interpretação análoga se aplica aos demais anos apresentados.

Tabela 17: Evolução do percentual acumulado de ocorrências de acordo com os níveis de risco desde o ano de 1973

Níveis de risco	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
1	52%	50%	36%	35%	33%	31%	30%
2	23%	26%	48%	49%	50%	52%	53%
3	25%	24%	16%	16%	17%	17%	17%
Totais	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

#### 4.2.1.5 Etapa 6 – Criação dos mapas de probabilidades atualizadas

Uma vez que os locais ( $L_n$ ) estão devidamente georreferenciados e calculadas as probabilidades  $P_{r1}$ ,  $P_{r2}$  e  $P_{r3}$ , esses valores são lançados em um programa de base SIG para a geração dos mapas de probabilidades atualizadas de deslizamentos. O programa utilizado neste trabalho foi o ArcGis.

De acordo com Lima (2017), as coordenadas dos locais ( $L_n$ ) estão georreferenciadas pela UTM (Universal Transversa de Mercator), vinculadas ao sistema geodésico brasileiro SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico das Américas). Sabendo que as coordenadas UTM são planas, as componentes norte (N) e leste (L) são associadas diretamente a coordenadas x,y, e, a coordenada z foi associada às probabilidades de ruína  $P_{r1}$ ,  $P_{r2}$  e  $P_{r3}$ .

Como as probabilidades de ruína calculadas são discretas, faz-se necessário interpolar para fazer a previsão de toda área. No presente trabalho optou-se pelo processo de krigagem, pois apresenta estimativas não tendenciosas e com mínima variância, conforme constatado por Lima (2017). Maiores detalhes sobre o processo de interpolação por krigagem recomenda-se recorrer ao trabalho de Lima (2017).

### 4.3 Evolução da ocupação antrópica

Para a obtenção do número de habitantes, da área oficial da comunidade da Rocinha, da densidade demográfica e do número de domicílios buscou-se os dados dos censos realizados e disponibilizados pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) para os anos de 1991, 2000 e 2010.

O censo de 1991 não apresentou dados setorizados para a comunidade da Rocinha. Portanto, a população da Rocinha foi estimada através de progressão geométrica com base nos dados do censo 2000 e pela taxa de crescimento populacional da cidade do Rio de Janeiro para o período compreendido entre 1991 e 2000. Segundo o IPP (Instituto Pereira Passos) a densidade demográfica da Rocinha no ano de 1991 era de 300 hab/ha (Oliveira, 2008). Como a área para o bairro da Rocinha somente veio a ser definida em 1993, seus dados de área, de densidade demográfica e de população não foram considerados numericamente nas análises desta pesquisa.

A estimativa da população da Rocinha para os anos de 2008 e 2009, bem como para o período compreendido entre 2011 e 2015, foi realizada através de progressão geométrica, utilizando dados mais precisos contidos no censo 2010. Os dados de área e população da Rocinha para os anos de 2000 e 2010 foram considerados os mesmos divulgados pelos respectivos censos.

A área da Rocinha para os anos de 2011 a 2015 foi obtida diretamente pelos mapas de suscetibilidade divulgados pela Fundação GEO-RIO, para assim considerar a dinâmica de modificação da ocupação antrópica ao longo dos anos, considerando remoções e/ou novas moradias que poderiam alterar a área real ocupada por moradias.

A média de moradores por domicílio para os anos de 2008 e 2009 foi considerada como 3,32 (IBGE, 2000) e para o período de 2011 a 2015 foi considerada constante e igual a 2,83 (IBGE, 2010). Os valores foram considerados constantes de maneira conservadora, visto que, o crescimento populacional registrado pelos censos com a relativa conservação dos limites oficiais da área da Rocinha, aponta para uma expansão vertical de seus limites, como em diversas outras comunidades do Rio de Janeiro. Este fato é evidenciado pela substituição gradual dos chamados “puxadinhos” pela construção de pequenos edifícios.

#### **4.4 Estimativa de risco com base em mapas de probabilidades atualizadas de deslizamentos**

Risco é concebido como o produto da probabilidade de ocorrência de deslizamento e as consequências sociais e/ou econômicas potenciais. A Fundação

GEO-RIO também define que o risco, para perda de vida, é “a probabilidade **anual** de que pessoas em risco poderão perder suas vidas, levando em conta o perigo de deslizamento bem como a probabilidade espaço-temporal e a vulnerabilidade da pessoa” (GEO-RIO I, 2014). Matematicamente o risco pode ser estimado pela equação (85).

$$R = N \times P \times V \quad (85)$$

Onde:

R: risco;

N: número de pessoas em risco;

P: representa a probabilidade de ocorrência de deslizamentos, neste caso, obtida pela distribuição beta;

V: vulnerabilidade.

Contudo, a vulnerabilidade real de um determinado elemento de risco é um dado de difícil estimativa, devendo ser levado em conta sua vulnerabilidade temporal e espacial. Como não há dados numéricos históricos ou atuais sobre a vulnerabilidade na Rocinha, a estimativa da redução do risco em vidas foi inicialmente estimada em termos máximos (vulnerabilidade = 1), apenas para uma estimativa geral. Deve-se ressaltar que o autor está consciente que o valor real do risco deve levar em conta a vulnerabilidade real dos elementos em risco, sejam humanos ou materiais. Mesmo que este valor esteja superestimado ele não interfere na geração dos mapas de probabilidades, apenas na quantidade máxima de vidas afetadas, pois os mapas propostos apresentam as regiões com altas, médias e baixas probabilidades de deslizamentos com base nos dados históricos da região, para que a partir desses mapas, de quantitativos populacionais e de dados das vulnerabilidades calcular o risco. Ainda assim, este valor máximo é importante para a concepção de políticas públicas de gestão e delimitação dos locais de risco de deslizamento.

## 5 RESULTADOS

### 5.1 Intervenções identificadas e atualização de orçamentos

Nesta seção serão apresentadas descrições das intervenções realizadas, fotografias de antes e depois da execução dos serviços e seus respectivos custos.

#### 5.1.1 Intervenções anteriores a 2008

Foi identificada a existência de uma canaleta de concreto em console na escarpa do Morro Dois Irmãos com data de construção anterior a 1996. Como não foram encontrados dados precisos sobre sua construção, buscou-se informações por meio de relatos de profissionais mais antigos da GEO-RIO. Chegou-se a duas possíveis datas para a construção dessa canaleta: 1992 ou 1996. Baseado na existência de duas cartas de setorização de riscos históricas: uma de junho de 1991 (para a cidade do Rio de Janeiro) e outra de janeiro de 1992, mais detalhada da comunidade da Rocinha, considerou-se neste trabalho que a construção dessa canaleta tenha ocorrido entre os anos de 1991 e 1992, visto que é de costume da GEO-RIO elaborar um novo mapa de suscetibilidade sempre que novas obras de grande importância são executadas.

A **Figura 53** apresenta uma vista para a canaleta da escarpa do Morro Dois Irmãos, com os detalhes dos consoles. Segundo as informações levantadas, a estrutura possui dimensões padrão conforme a especificação prevista no Manual Técnico de Encostas-Volume II, DR-15 (GEO-RIO II, 2014), para canaleta sem degraus em console-95x50 cm - forma e armadura (**Figura 54**). Seu comprimento foi estimado através do programa Google Earth, no valor de 562,85 m (**Figura 55**).



Figura 53: Vista da canaleta da escarpa do Morro Dois Irmãos (Lima, 2017)

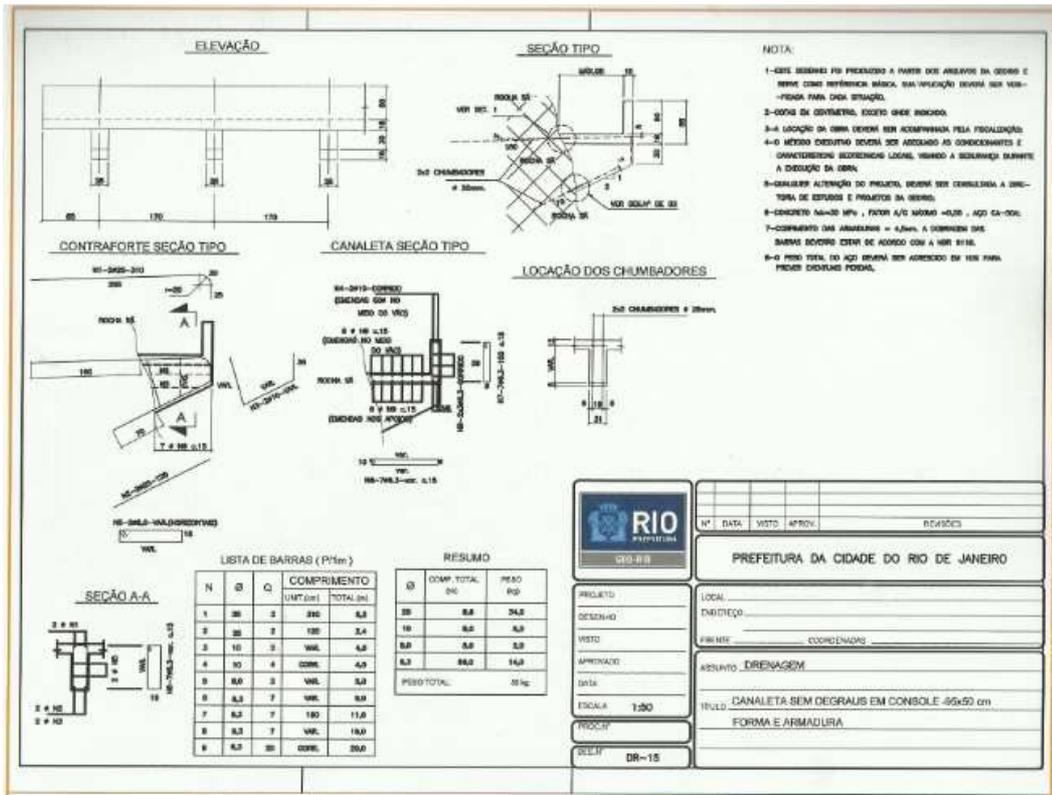


Figura 54: Detalhe típico de canaleta sem degraus em console-95 x 50 cm (GEO-RIO II, 2014)

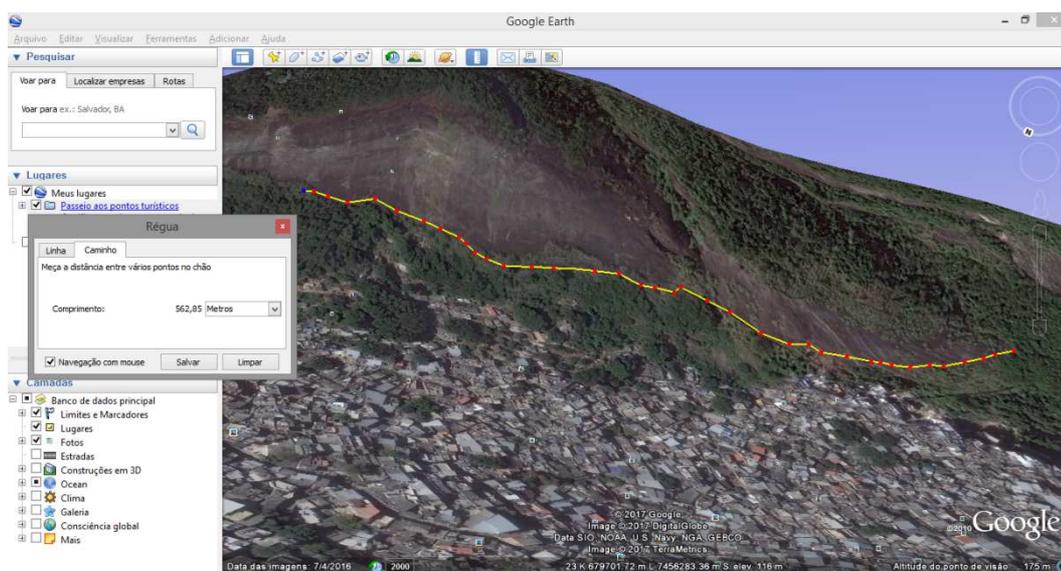


Figura 55: Estimativa de comprimento para Canaleta da escapa do Morro Dois Irmãos (Google Earth, 2016)

### 5.1.2 Intervenções no período 2008 – 2009

No período de 2008 a 2009 foram realizadas obras em diversos locais do Rio de Janeiro vinculadas ao Processo 06-100597-2008 (GEO-RIO, 2008). A **Tabela 18** apresenta um resumo das obras desse processo executadas na Rocinha com seus locais, custos à época das obras e seus respectivos percentuais em relação ao valor total do contrato.

Tabela 18: Intervenções realizadas entre 2008 e 2009 na Rocinha sob o Processo 06-100597-2008 (GEO-RIO, 2008)

Processo 06-100597-2008	Percentual do contrato	Valor em Março de 2008
Local - Escarpa do Morro Dois Irmãos	2,90	R\$ 13.047,07
Local - Rocinha - Rua 1 - Travessa 13	27,90	R\$ 125.521,80
Local - Rocinha - Estrada da Gávea, 199	1,80	R\$ 8.098,18
Local - Rocinha - Rua 1 - Travessa 23	30,30	R\$ 136.319,38
Total do Processo	100,00	R\$ 449.898,93
Custo total de intervenções na Rocinha	62,90	R\$ 282.986,43

✓ **Escarpa do Morro Dois Irmãos – Canaleta de drenagem**

Serviços executados: remoção de detritos e materiais depositados ao longo da calha (**Figura 56** e **Figura 57**).



Figura 56: Remoção da vegetação (GEO-RIO, 2008)

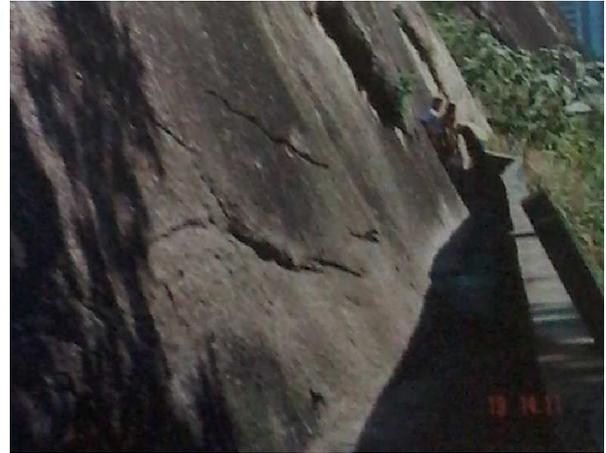


Figura 57: Limpeza do trecho concluído (GEO-RIO, 2008)

✓ **Rua 1 - Travessa 13**

Serviços executados: estabilização do talude com muro de concreto armado, revestimento com concreto projetado e melhorias na drenagem (**Figura 58** e **Figura 59**).



Figura 58: Serviço iniciado (GEO-RIO, 2008)



Figura 59: Serviços em andamento (GEO-RIO, 2008)

✓ **Estrada da Gávea, 199**

Serviços executados: construção de muro de concreto ciclópico, reaterro e revestimento de talude em concreto projetado (**Figura 60 e Figura 61**).



Figura 60: Local antes da estabilização do talude (GEO-RIO, 2008)



Figura 61: Local após a estabilização do talude (GEO-RIO, 2008)

✓ **Rua 1 - Travessa 23**

Serviços executados: construção de muro de concreto estaqueado, revestimento de talude com concreto projetado, construção de canaletas de drenagem e remoção de detritos e entulhos (**Figura 62 e Figura 63**).



Figura 62: Vista do local antes da obra (GEO-RIO, 2008)



Figura 63: Vista do local após as obras (GEO-RIO, 2008)

### 5.1.3 Intervenções a partir de 2010

Segundo os dados disponibilizados pela GEO-RIO, as principais obras foram iniciadas no ano de 2010, após os eventos deflagrados pelas intensas chuvas que atingiram a cidade do Rio de Janeiro naquele ano. A **Tabela 19** apresenta dados gerais dos processos iniciados no ano de 2010.

Tabela 19: Principais processos com obras na Rocinha após os eventos chuvosos de 2010

Processo	Início das obras	Prazo (dias)	Término das obras (início da influência das obras nos mapas)	Local
06-100934-2010	ago/10	180	jan/11	Vila Verde
06-102343-2010	dez/10	180	mai/11	Setor 199
06-101815-2011	dez/11	180	jun/12	Macega / Roupa Suja
06-101816-2011	dez/11	180	jun/12	Vila Verde / Dionéia
06-101817-2011	dez/11	180	jun/12	Laboriaux
06-101171-2012	jun/12	90	ago/12	Laboriaux
06-101286-2013	nov/13	180	mai/14	Laboriaux

#### 5.1.3.1 Processo 06-100934-2010 (GEO-RIO I, 2010)

Nesse processo foram encontrados apenas os projetos. Os projetos indicaram as seguintes intervenções: construção de cortina atirantada e barreira de impacto, muretas estaqueadas, canaletas de drenagem, dissipadores de energia, remoção de moradias, desmonte de blocos de rocha e preenchimentos em concreto ciclópico. A descrição de cada intervenção deste processo e seus respectivos custos encontram-se na **Tabela 20**.

Ressalta-se que para as estimativas de custo desses projetos não foram considerados os acréscimos relacionados à distância entre o canteiro e o local de cada intervenção, pois não foram encontrados os dados relativos à localização do canteiro de obras. Não foram disponibilizadas imagens das obras deste processo.

Tabela 20: Intervenções do Processo 06-100934.2010 (GEO-RIO I, 2010)

Intervenção	Descrição	Extensão (m)	Altura (m)	Área (m²)	Volume (m)	Custo (11/2016)
1	Cortina atirantada	26,22	4,00	104,88	-	R\$ 194.239,86
1.1*	Estrutura de impacto	120,00	4,00	-	-	R\$ 159.734,16
2	Mureta Estaqueada	30,00	0,60 a 1,20	30,00	-	R\$ 19.127,88
3	Canaleta com degraus apoiada em solo 60 X 60 cm	30,00	-	-	-	R\$ 40.516,20
4	Dissipador de energia - 1 unidade	-	-	10,56,00	-	R\$ 1.021,36
5	Remoção de moradias - 12 unidades	-	-	-	-	R\$ 194.400,00
6	Blocos de rocha a serem totalmente demolidos	-	-	-	40,00	R\$ 9.935,28
7	Mureta estaqueada	15,00	0,60 a 1,20	15,00	-	R\$ 9.563,94
8	Canaleta com degraus apoiada em solo 80 X 80	40,00	-	-	-	R\$ 69.708,96
9	Dissipador de energia - 1 unidade	-	-	10,56	-	R\$ 1.021,36
10	Canaleta sem degraus apoiada em solo 40 X 40	60,00	-	-	-	R\$ 58.091,04
11A, 11B, 11C	Preenchimento em ciclópico	40,00	-	-	20,00	R\$ 16.317,72
					Total	R\$ 773.677,76

### **5.1.3.2 Processo 06-102343-2010 (GEO-RIO II, 2010)**

Foi estabelecido em consequência do acidente geotécnico ocorrido após as intensas chuvas que atingiram a região no início do mês de abril de 2010. Houve escorregamento do talude situado a montante das casas localizadas no nº 200 da Tv. 17, com danos irreparáveis para algumas moradias, deixando desabrigadas mais de 24 pessoas que ali residiam. (GEO-RIO II, 2010)

O serviço teve como objetivo a remoção de material escorregado, demolição de estruturas de concreto armado e alvenaria, construção de viga estaqueada, construção de canaleta de drenagem, estabilização de talude com solo grampeado e revestimento do talude com concreto projetado. (GEO-RIO II, 2010).

Não foram disponibilizadas imagens das obras deste processo.

### **5.1.3.3 Processo 06-101815-2011 (GEO-RIO I, 2011)**

Foi estabelecido em consequência da identificação de pontos vulneráveis com alto risco de serem atingidos por deslizamentos ou rolamentos de blocos de rocha, dado à proximidade do verão. Esses pontos somente se tornaram acessíveis devido à ação dos órgãos de segurança pública na Rocinha, para a reintegração desse espaço urbano ao restante da cidade (GEO-RIO I, 2011).

Os serviços gerais executados em todos os pontos constam de remoção de entulho e lixo, acerto de talude, aplicação de revestimento de concreto projetado, construção de viga estaquada e/ou chumbada, melhorias no sistema de drenagem e aplicação de biomanta vegetal (GEO-RIO I, 2011). Além dos serviços gerais, em cada ponto foram executados serviços específicos que estão discriminados em cada item a seguir. As nomenclaturas de cada local são as mesmas utilizadas nas documentações do processo fornecido pela GEO-RIO.

#### **✓ Área em torno da birosca do Sr. Chico Bigode (Figura 64 e Figura 65)**

Serviços específicos executados: instalação de estruturas metálicas para demarcação de áreas de risco



Figura 64: Limpeza, retirada de lixo e regularização de talude (GEO-RIO I, 2011)



Figura 65: Trecho com concreto projetado e viga de concreto armado estaqueada, concluídos (GEO-RIO I, 2011)

✓ **Área em torno da casa do Sr. Moacyr (Figura 66 e Figura 67)**

Serviços específicos executados: instalação de estruturas metálicas para demarcação de áreas de risco, instalação de drenos profundos, construção de cortina atirantada, muro de arrimo em “L” atirantado e chumbado, construção de contrafortes ancorados e demolição de blocos de rocha.



Figura 66: Vista da área à montante da casa do Sr. Moacyr antes das intervenções. (GEO-RIO I, 2011)



Figura 67: Vista da área à montante da casa do sr. Moacyr após as intervenções (GEO-RIO I, 2011)

✓ **Macega – Rua 1, junto à padaria do baiano (Figura 68 e Figura 69)**

Serviços específicos executados: construção de cortina atirantada.



Figura 68: Vista do local antes das intervenções. (GEO-RIO I, 2011)



Figura 69: Vista do local durante a finalização das intervenções (GEO-RIO I, 2011)

✓ **Macega – Rua 1, junto à birosca do Sr. Leonardo (Figura 70 e Figura 71)**

Serviços específicos executados: construção de prisma de concreto armado para condução de águas pluviais, instalação de estruturas metálicas para demarcação de áreas de risco e demolição de blocos de rocha.

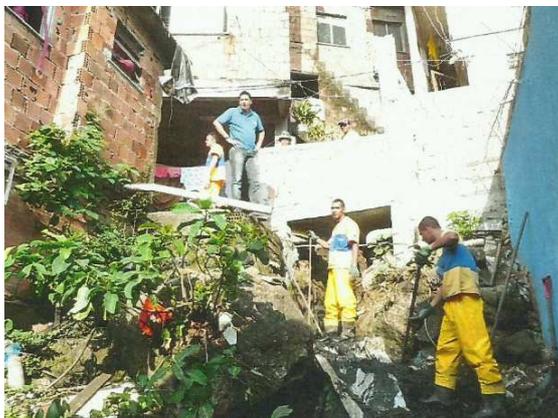


Figura 70: Vista do local antes das intervenções (GEO-RIO I, 2011)

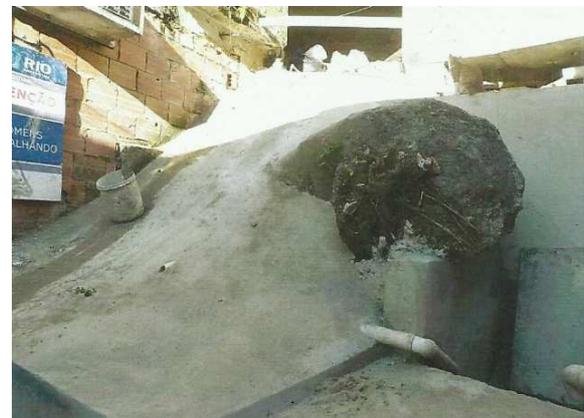


Figura 71: Vista do local após as intervenções (GEO-RIO I, 2011)

✓ **Roupa Suja – Travessa Esperança (Figura 72 e Figura 73)**

Serviços específicos executados: instalação de estruturas metálicas para demarcação de áreas de risco, instalação de drenos profundos, construção de cortina atirantada e demolição de blocos de rocha.



Figura 72: Vista do local antes das intervenções (GEO-RIO I, 2011)

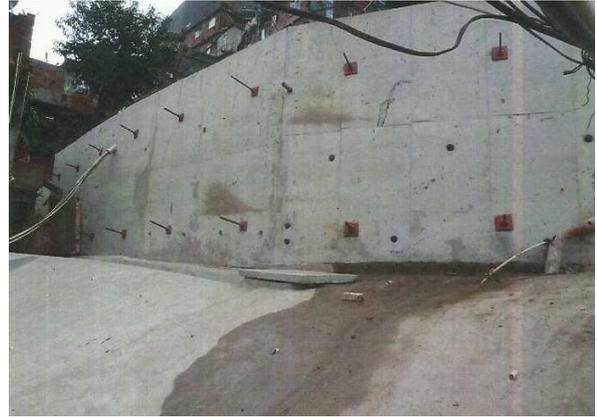


Figura 73: Vista do local na finalização das obras (GEO-RIO I, 2011)

✓ **Roupa Suja – A montante do túnel Zuzu Angel (Figura 74 e Figura 75)**

Serviços específicos executados: instalação de estrutura de impacto.



Figura 74: Vista do talude à montante do túnel antes das intervenções (GEO-RIO I, 2011)



Figura 75: Vista do local após as intervenções. (GEO-RIO I, 2011)

✓ **Rua 2 – Vala de drenagem da Macega (Figura 76 e Figura 77)**

Serviços específicos executados: construção de prisma de concreto para a condução de águas pluviais e demolição de blocos de rocha.



Figura 76: Vista do local antes das intervenções. (GEO-RIO I, 2011)

Figura 77: Vista do local após a remoção de lixo e detritos (GEO-RIO I, 2011)

✓ **Rua 2 – Estrada da Gávea, nº 310:**

Serviços específicos executados: construção de prisma de concreto para a condução de águas pluviais, demolição de blocos de rocha e construção de canaleta de concreto armado sob as moradias. Não foram fornecidas imagens destas intervenções.

**5.1.3.4 Processo 06-101816-2011 (GEO-RIO II, 2011)**

A caracterização dos pontos vulneráveis desse processo se deu sob as mesmas condições descritas no **Processo 06-101815-2011 (item 5.1.3.3)**, por deslizamentos ou rolamentos de blocos de rocha, dado à proximidade do verão. Além disso, assim como no **Processo 06-101815-2011 (item 5.1.3.3)**, somente com a ação dos órgãos de segurança pública na Rocinha esses pontos se tornaram acessíveis.

Serviços executados: cortina ancorada, canaleta chumbada em rocha, drenagem superficial e desmonte de rocha (**Figura 78** e **Figura 79**).



Figura 78: Portão Vermelho – vista de trecho para construção de cortina e contrafortes atirantados – início da execução das intervenções (GEO-RIO II, 2011)

Figura 79: Portão Vermelho – vista geral da cortina atirantada – após as intervenções (GEO-RIO II, 2011)

#### 5.1.3.5 Processo 06-101817-2011 (GEO-RIO III, 2011)

O processo foi estabelecido a partir da necessidade de estabilização de encosta, drenagem e recuperação ambiental para garantia de integridade e eliminação de risco para moradores da área do Laboriaux, à jusante da Rua Maria do Carmo. (GEO-RIO III, 2011)

O serviço teve como objetivo a execução de estruturas de contenção em muro de concreto ciclópicos, cortina ancorada com canaleta de drenagem, muro de arrimo, muro com contrafortes e pavimentação, e, demolição de moradias (**Figura 80** e **Figura 81**).



Figura 80: Perfuração de tirantes (GEO-RIO III, 2011)



Figura 81: Cortina atirantada finalizada (GEO-RIO III, 2011)

#### 5.1.3.6 Processo 06-101171-2012 (GEO-RIO I, 2012)

O serviço teve como objetivo a demolição e retirada de entulhos provenientes das construções situadas em áreas de risco geotécnico, ao longo da Rua Maria do Carmo, no Laboriaux – Rocinha – XXVII AR – AP.2.1.

Custo total orçado: R\$ 1.497.245,00

Custo em valor presente (11/2016): R\$ 1.530.076,15

Quantidade de pessoas beneficiadas: 3.500

Relação custo-benefício em valor presente: R\$ 437,16

Não foram fornecidos maiores detalhes sobre este processo.

#### 5.1.3.7 Processo 06-101286-2013 (GEO-RIO I, 2013)

O serviço teve como objetivo a estabilização de encosta e implantação de drenagem ao longo da Rua Maria do Carmo para redução de risco geotécnico, na área do Laboriaux – Rocinha – XXVII – AR – AP-2.1.

Custo total orçado: R\$ R\$ 4.961.051,83

Custo em valor presente (11/2016): R\$ 5.176.492,89

Quantidade de pessoas beneficiadas: 3.500

Relação custo/benefício em valor presente: R\$ 1.479,00

Não foram fornecidos maiores detalhes sobre este processo.

A **Tabela 21** apresenta um resumo com o custo orçado e atualizado das obras levantadas.

Tabela 21: Resumo de processos e obras levantadas

Processo	Local	Valor orçado (R\$)	Valor atualizado em 11/2016 (R\$)	Qnt de pessoas beneficiadas
Canaleta-1992	Escarpa do Morro Dois Irmãos.	-	1.563.950,19	202
06-100597-2008	Calha da escarpa do Morro Dois Irmãos / Rua 1, Tv 13 / 199 / Rua 1, Tv 23	282.844,94	446.517,96	3.678
06-100934-2010*	Vila Verde		773.677,76	1.115
06-102343-2010	Setor 199	585.475,66	896.332,94	3.000
06-101815-2011	Macega / Roupa Suja	7.797.951,31	12.385.569,26	2.000
06-101816-2011	Vila Verde / Dionéia	5.768.239,94	7.761.342,80	1.500
06-101817-2011	Laboriaux	9.657.795,88	13.180.869,88	3.500
06-101171-2012	Laboriaux	1.497.245,00	1.530.076,15	3.500
06-101286-2013	Laboriaux	4.961.051,83	5.176.492,89	3.500
		30.550.604,56	43.714.829,83	21.995

## 5.2 Comparação entre os mapas da GEO-RIO e os mapas de probabilidades atualizadas de deslizamentos gerados neste trabalho

Todos os mapas fornecidos pela GEO-RIO são de base empírica e se referem aos anos de 1991, 1992 e para o período de 2011 a 2015. Após os desastres ocorridos na Rocinha devido aos eventos chuvosos de 2010, a GEO-RIO passou a atualizar o mapa de suscetibilidade a movimentos de massa da Rocinha todos os anos. Já os mapas de probabilidades atualizadas de deslizamentos foram produzidos pelo autor deste trabalho, sendo também um para cada ano do período compreendido entre 2008 e 2014, período onde se concentraram as obras levantadas.

A **Figura 82** apresenta o mapa de suscetibilidade mais antigo documentado e fornecido pela Fundação GEO-RIO. Apesar de ser um mapa de suscetibilidades, foi denominado de “Carta de setorização de risco do município do Rio de Janeiro” para o ano de 1991 (GEO-RIO, 1991) e trata-se de uma visão geral para todo o município do Rio de Janeiro. Dado o seu baixo detalhamento para a Rocinha e pelo fato de que os limites do bairro da Rocinha somente foram estabelecidos em 1993, este mapa não pode ser utilizado para as análises, sendo apresentado neste trabalho apenas para fins de registro histórico.

A **Figura 83** apresenta o mapa de suscetibilidade denominado “Carta de setorização de risco da favela da Rocinha” de janeiro de 1992 (GEO-RIO, 1992) e se propõe a apresentar de maneira mais detalhada a região da Rocinha. Contudo esta carta também não pode ser considerada nas análises pelas mesmas razões já apresentadas em relação à carta de 1991.

Da **Figura 84** a **Figura 88** são apresentados os mapas de suscetibilidade da Rocinha elaborados pela GEO-RIO para o período de 2011 a 2015 utilizados nas análises deste trabalho. A GEO-RIO denomina esses mapas de suscetibilidade como Inventário de Risco - Rocinha. Da **Figura 89** a **Figura 95** são apresentados os mapas de probabilidades atualizadas de deslizamentos elaborados nesta pesquisa para cada ano do período de 2011 a 2014.

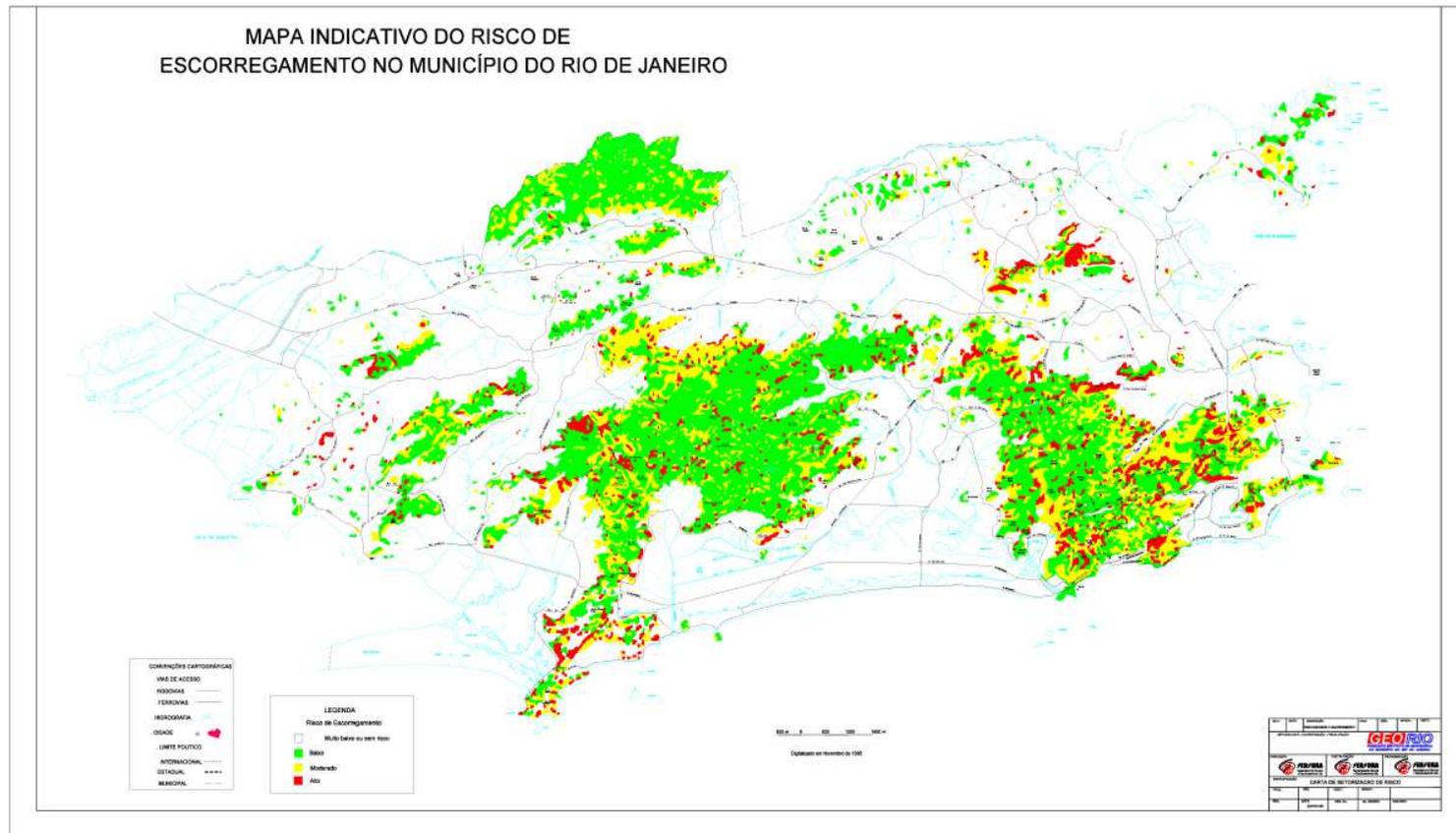


Figura 82: Carta de setorização de risco do município do Rio de Janeiro – 1991 (GEO-RIO, 1991)

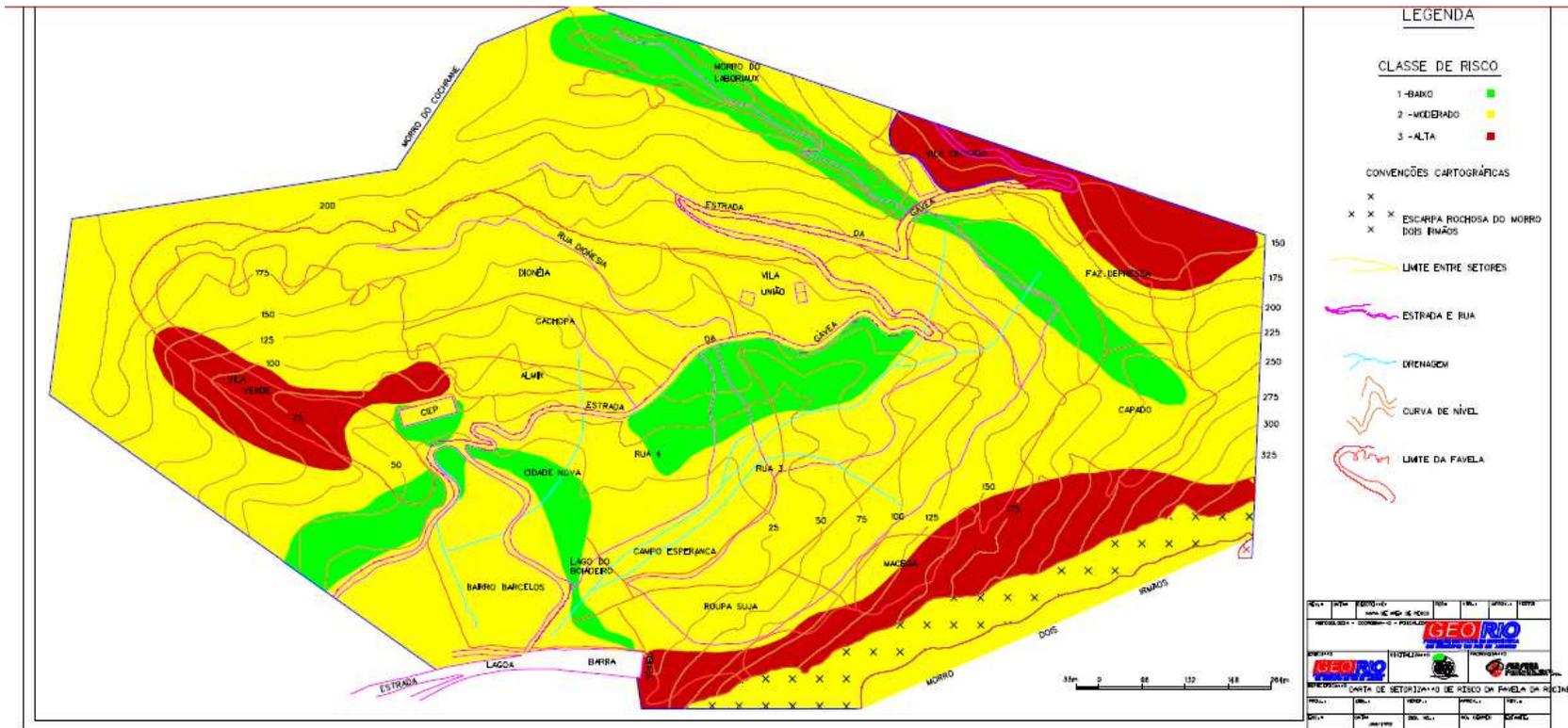


Figura 83: Carta de setORIZAÇÃO de risco da favela da Rocinha – 1992 (GEO-RIO, 1992)

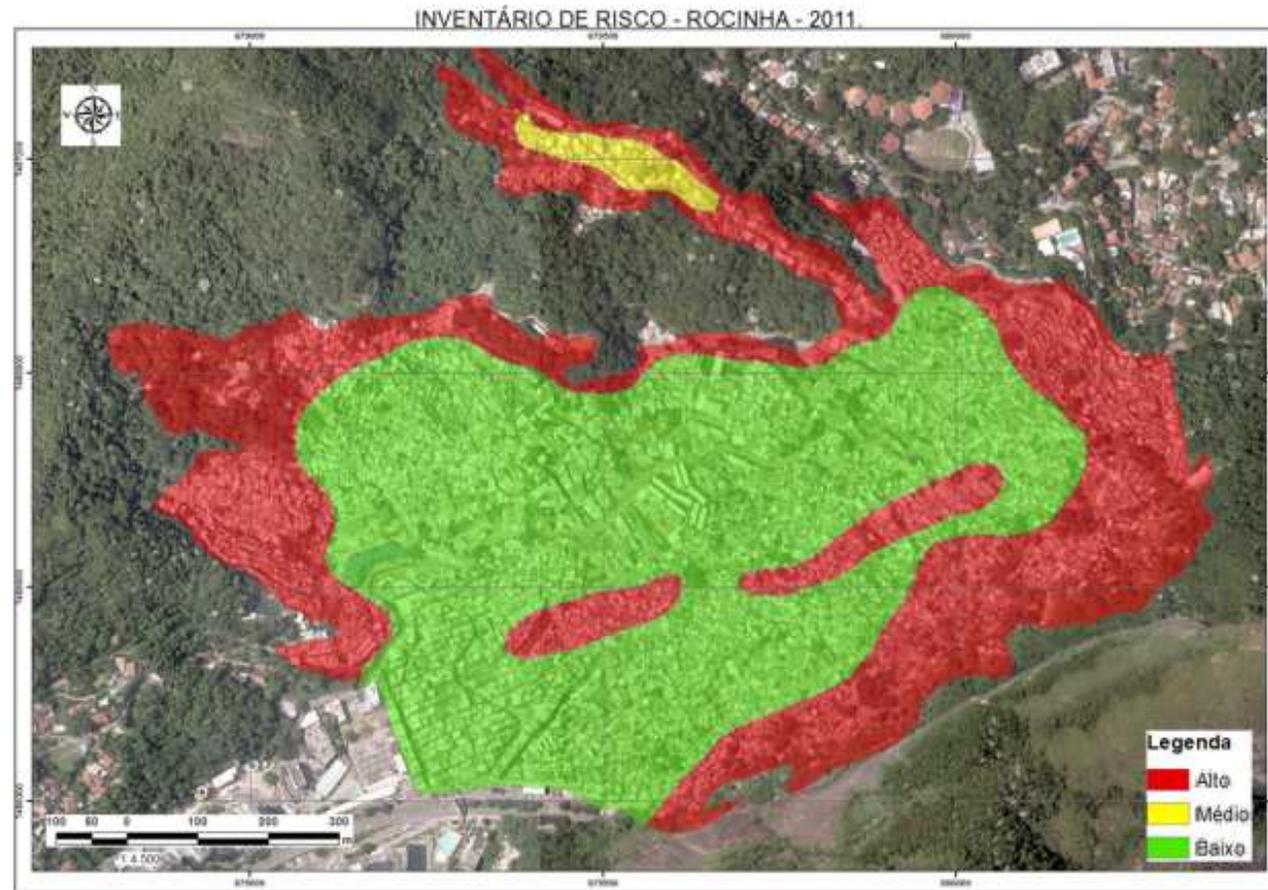


Figura 84: Mapa de suscetibilidade da Rocinha – 2011 (GEO-RIO IV, 2011)

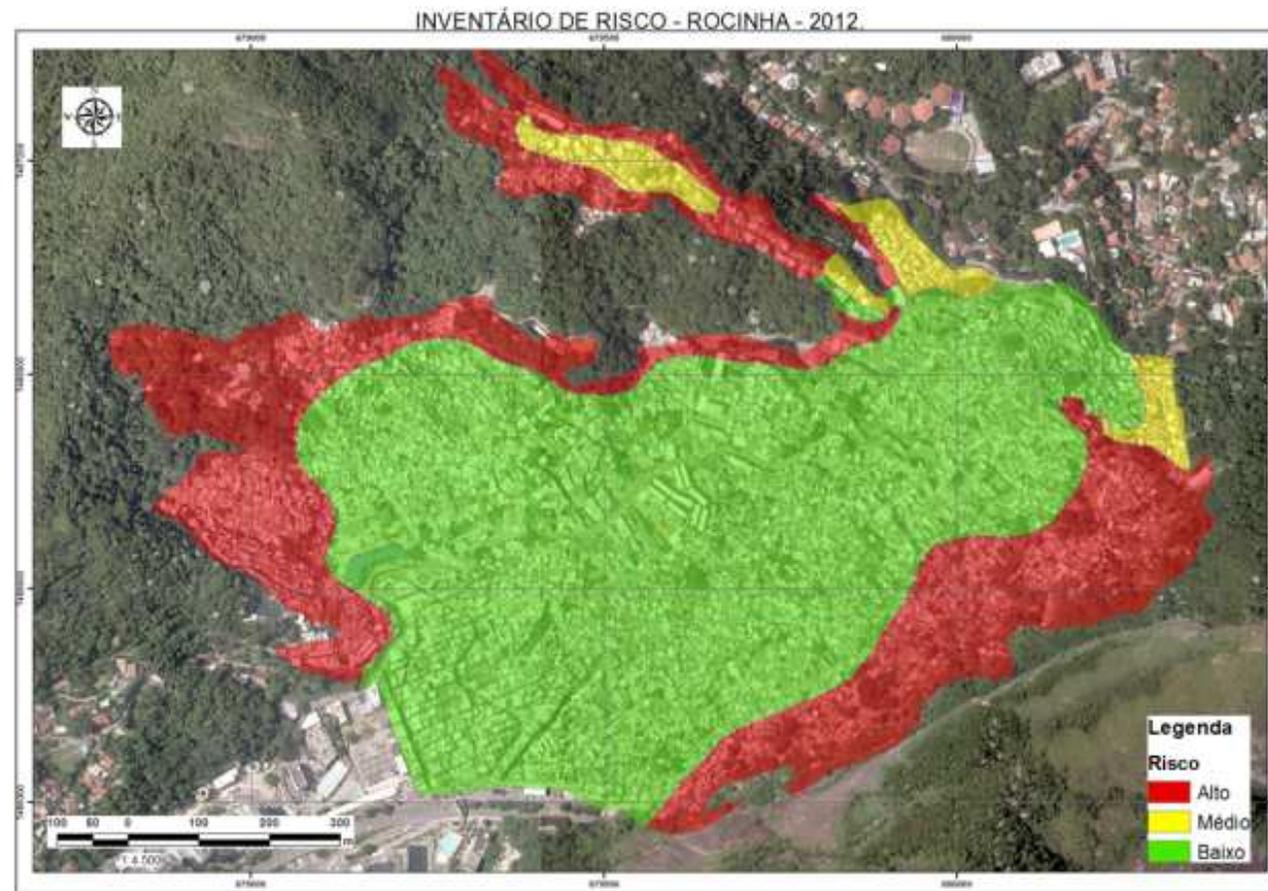


Figura 85: Mapa de suscetibilidade da Rocinha – 2012 (GEO-RIO II, 2012)

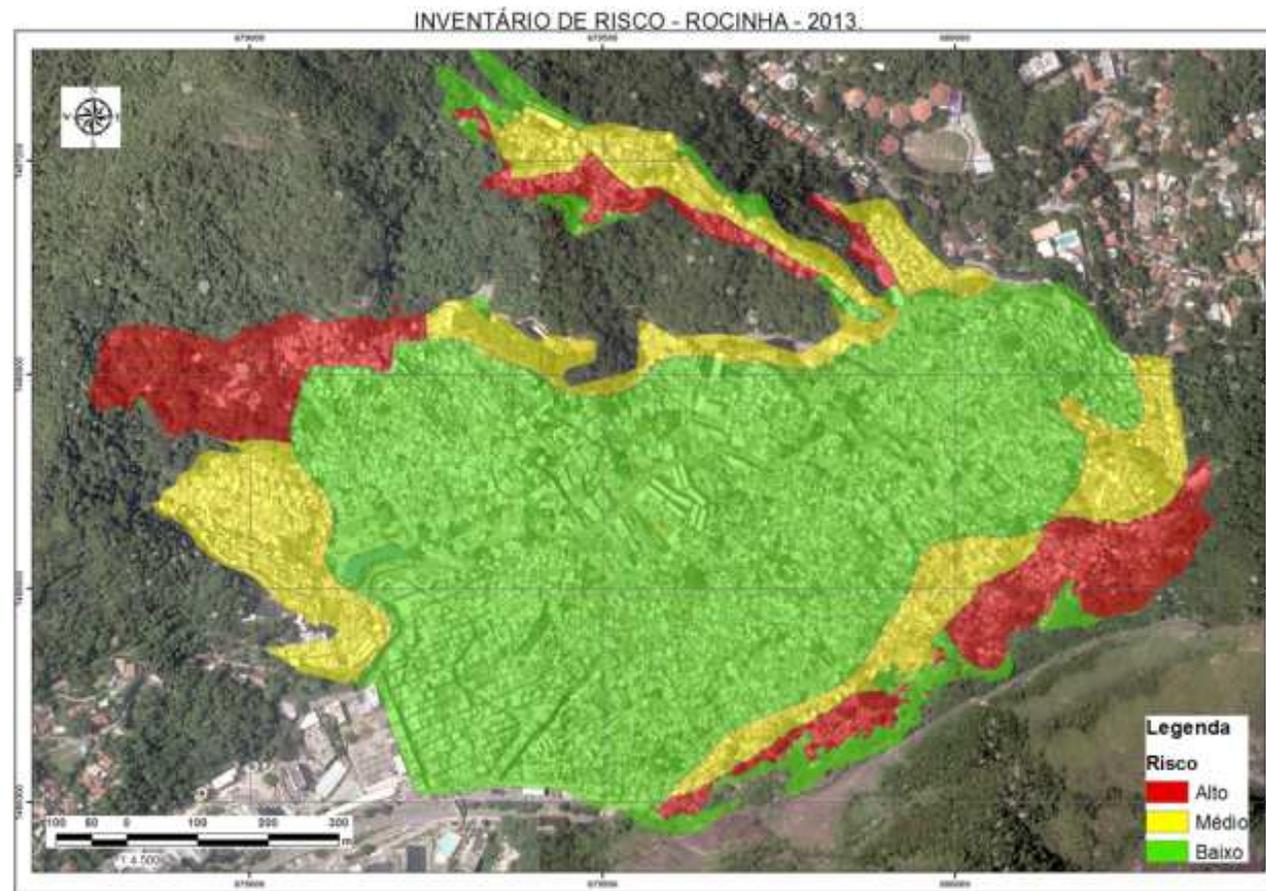


Figura 86: Mapa de suscetibilidade da Rocinha – 2013 (GEO-RIO II, 2013)



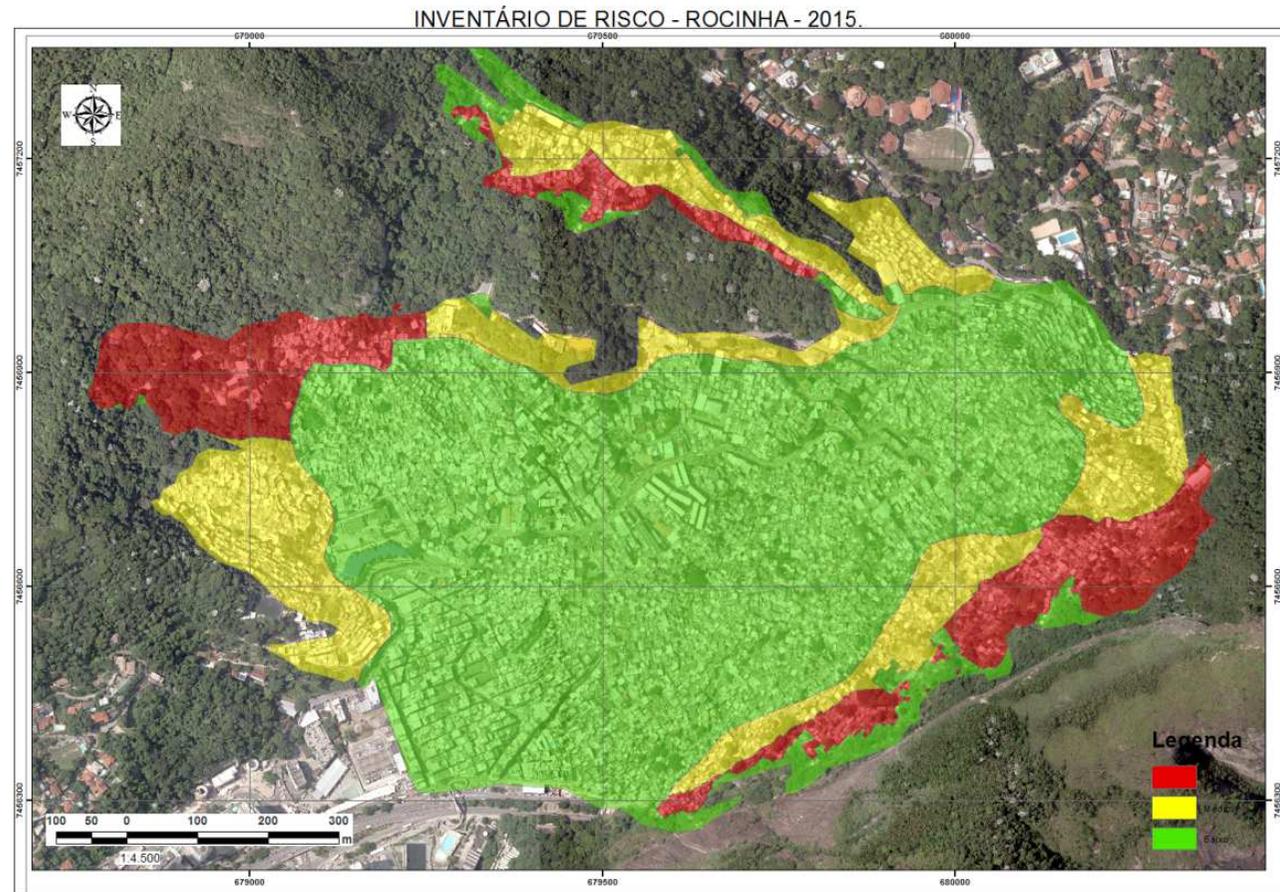


Figura 88: Mapa de suscetibilidade da Rocinha – 2015 ( Fonte: GEO-RIO, 2015)

Mapa de probabilidades atualizadas de deslizamentos da Rocinha em 2008

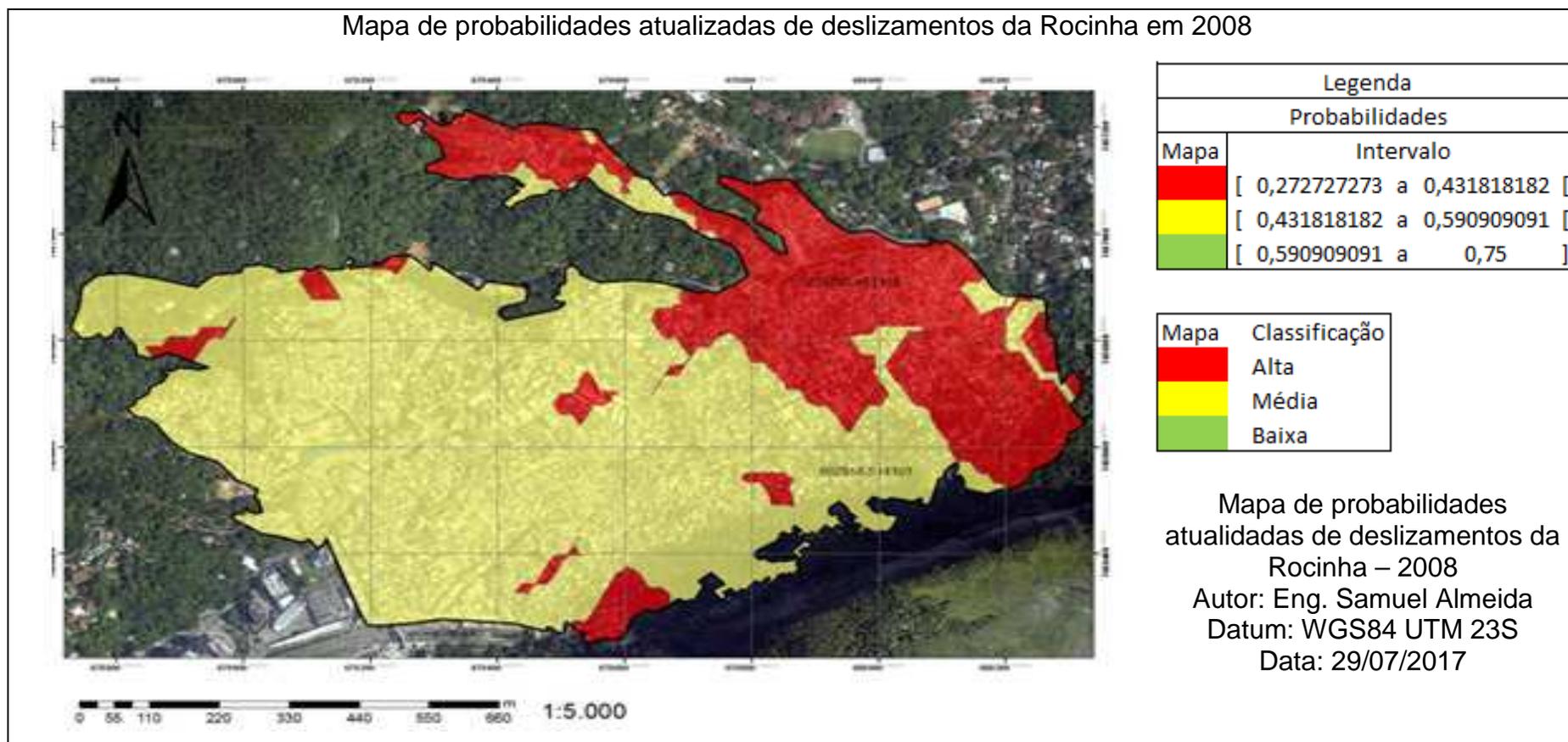


Figura 89: Mapa de probabilidades atualizadas de deslizamentos da Rocinha – 2008 (O próprio autor, 2017)

Mapa de probabilidades atualizadas de deslizamentos da Rocinha em 2009

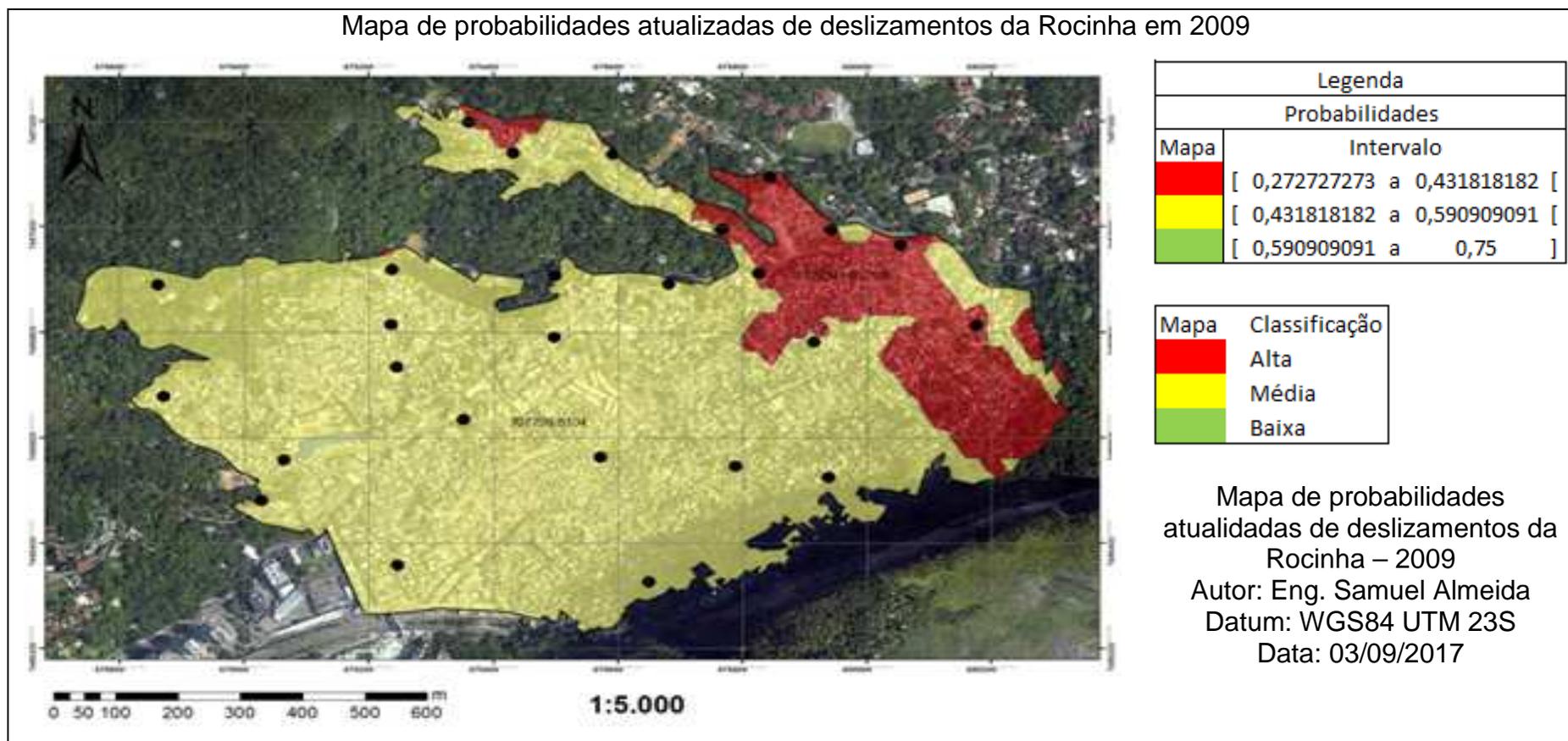


Figura 90: Mapa de probabilidades atualizadas de deslizamentos da Rocinha – 2009 (O próprio autor, 2017)

Mapa de probabilidades atualizadas de deslizamentos da Rocinha em 2010

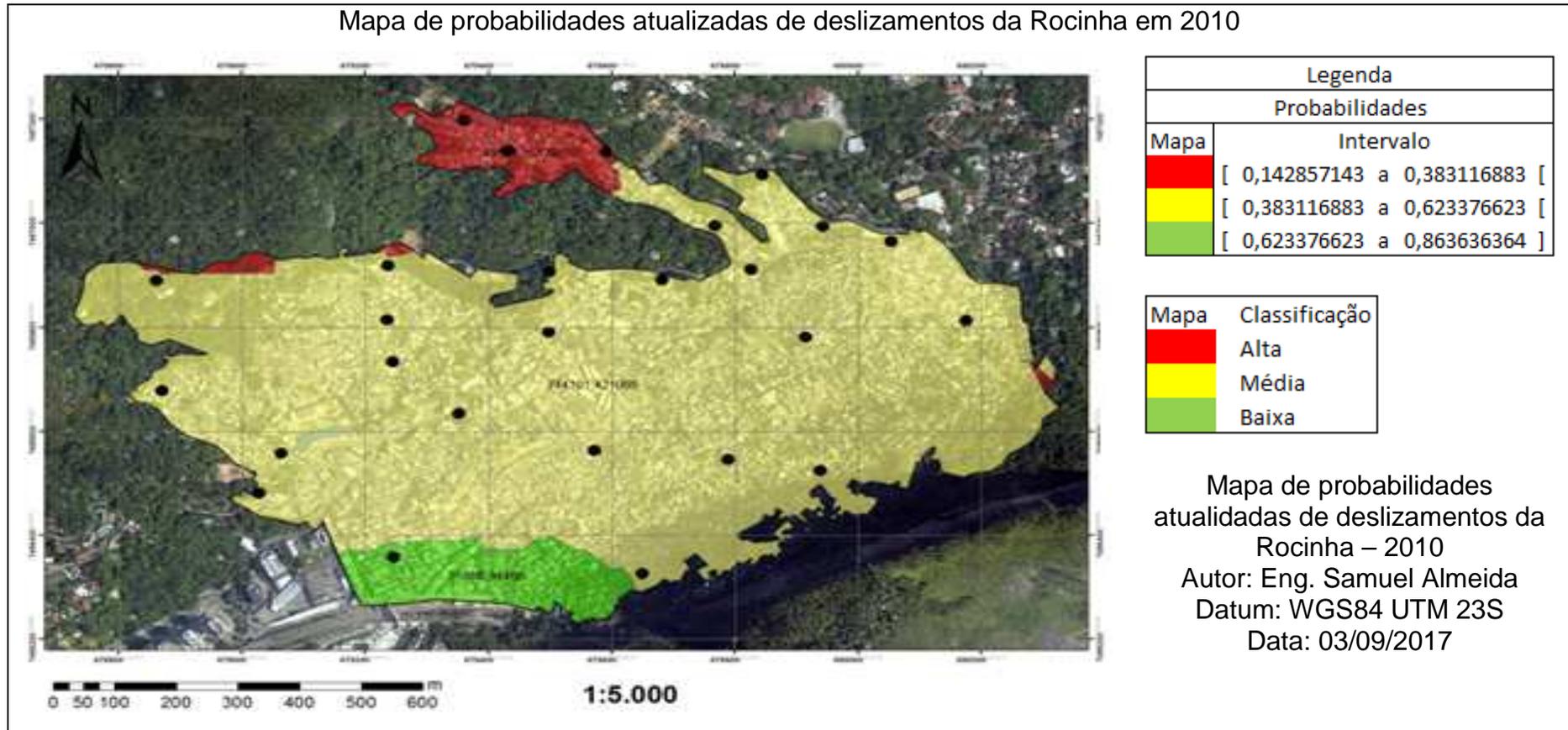


Figura 91: Mapa de probabilidades atualizadas de deslizamentos da Rocinha – 2010 (O próprio autor, 2017)

Mapa de probabilidades atualizadas de deslizamentos da Rocinha em 2011

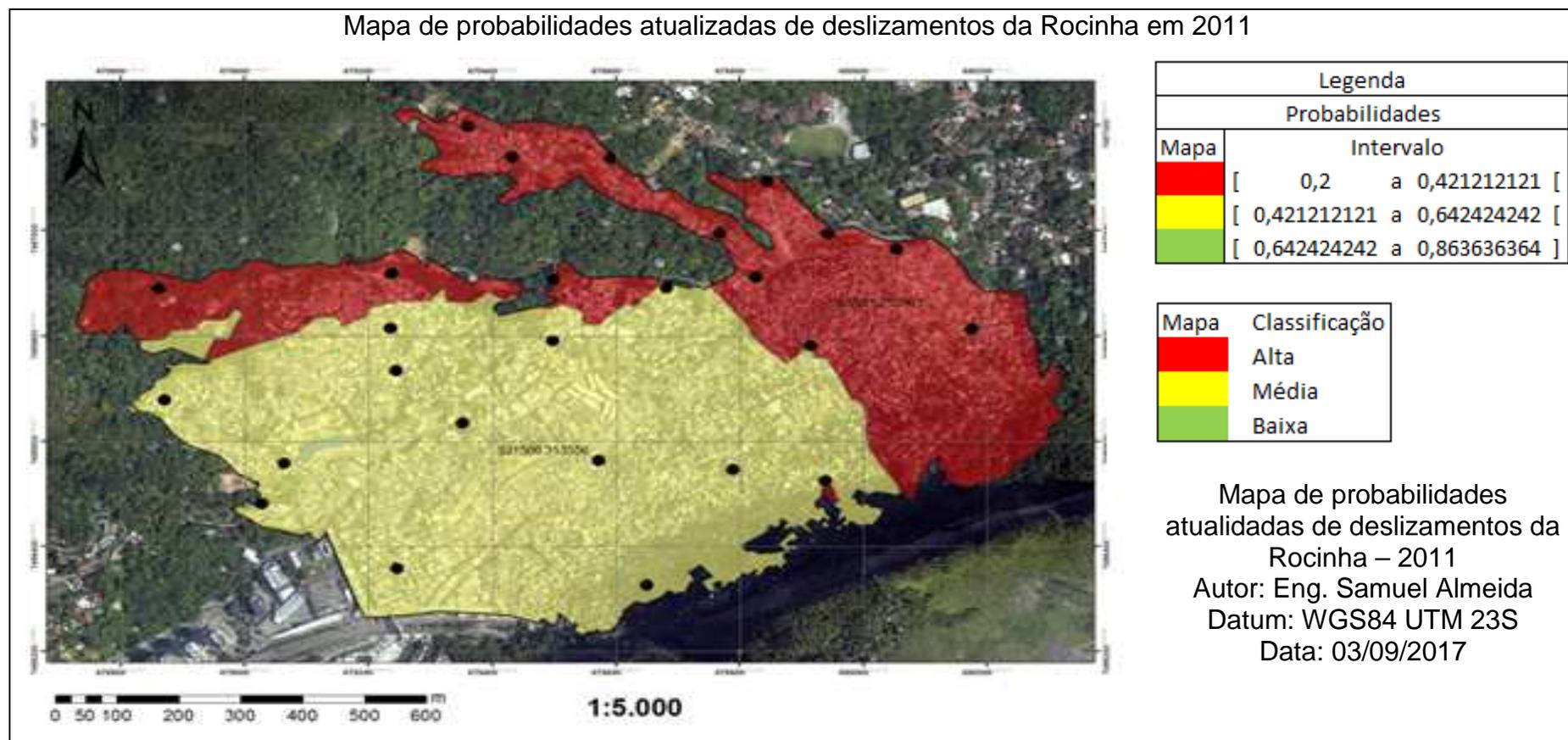


Figura 92: Mapa de probabilidades atualizadas de deslizamentos da Rocinha – 2011 (O próprio autor, 2017)

Mapa de probabilidades atualizadas de deslizamentos da Rocinha em 2012

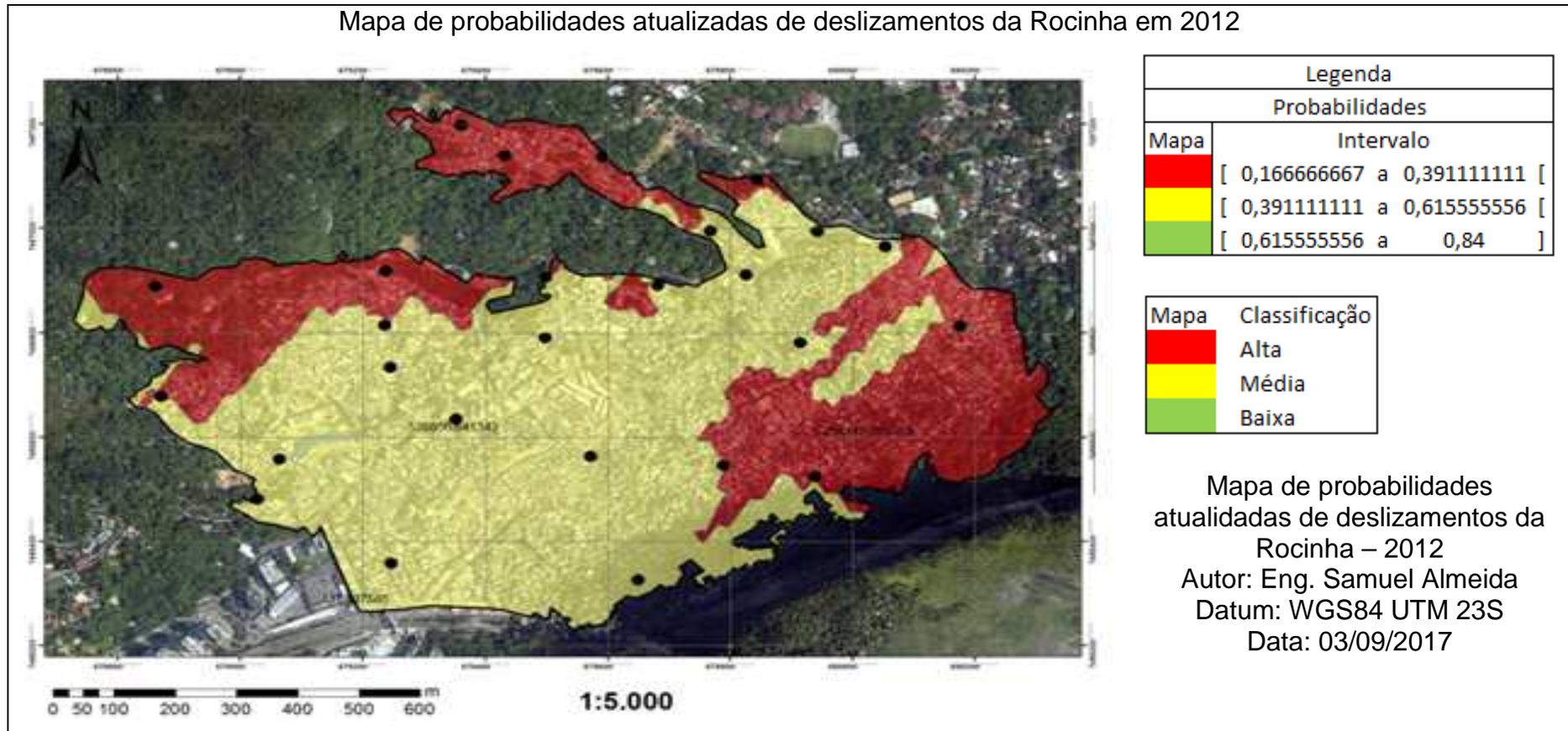


Figura 93: Mapa de probabilidades atualizadas de deslizamentos da Rocinha – 2012 (O próprio autor, 2017)

Mapa de probabilidades atualizadas de deslizamentos da Rocinha em 2013

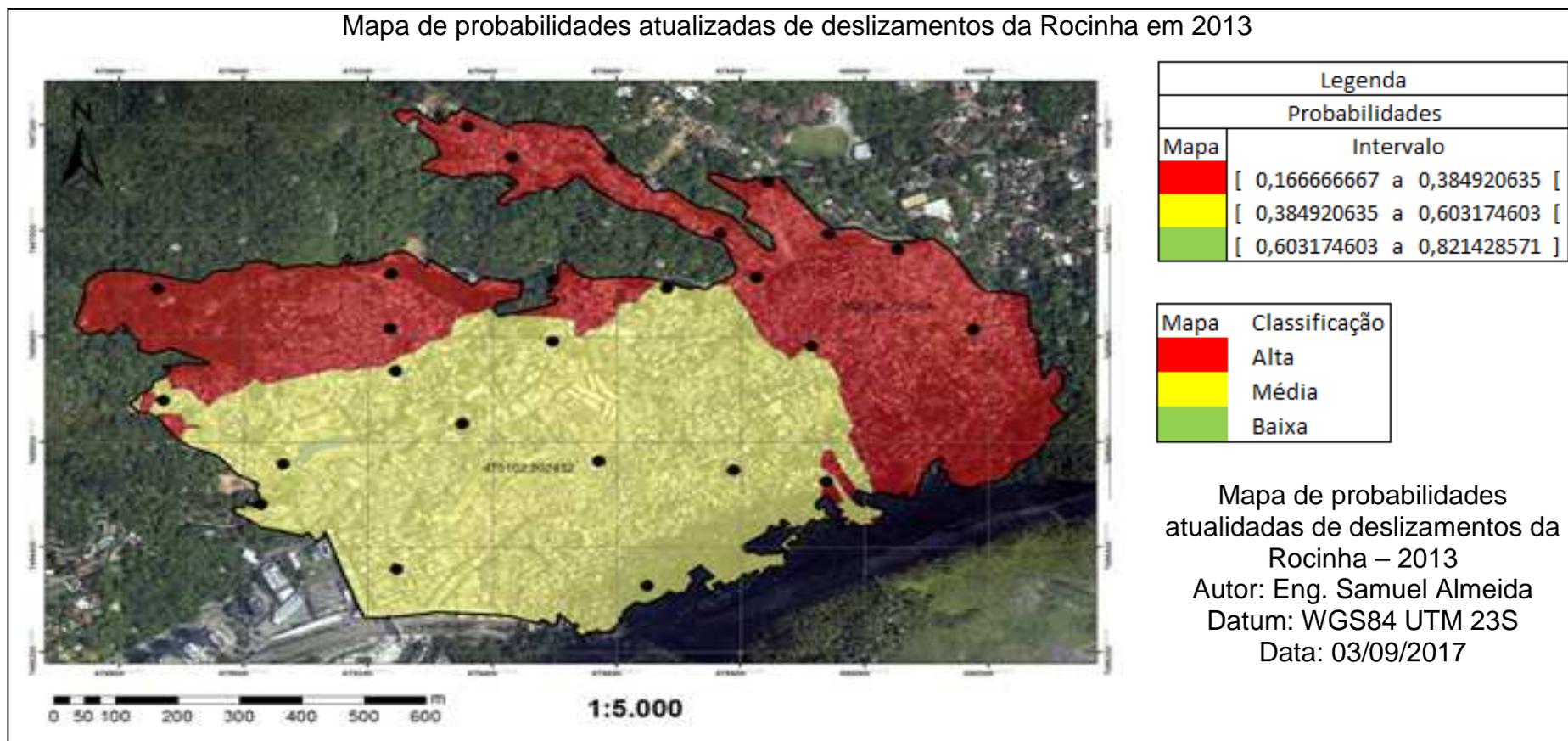


Figura 94: Mapa de probabilidades atualizadas de deslizamentos da Rocinha – 2013 (O próprio autor, 2017)

Mapa de probabilidades atualizadas de deslizamentos da Rocinha em 2014

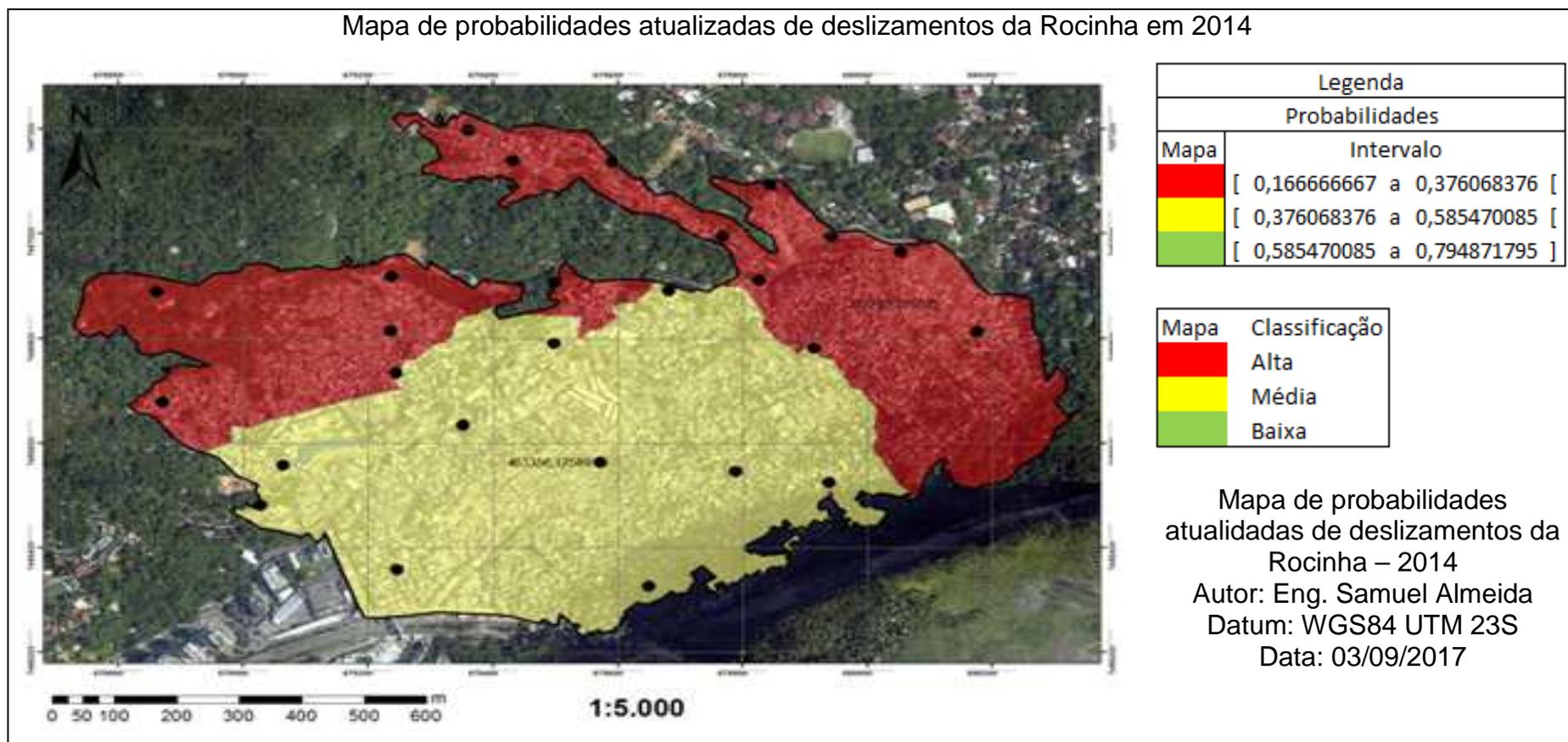


Figura 95: Mapa de probabilidades atualizadas de deslizamentos da Rocinha – 2014 (O próprio autor, 2017)



Tabela 22: Dados gerais estimados para a Rocinha entre 1991 e 2015

Ano	População	Quantidade de domicílios	Área m <sup>2</sup> Obtida pelos Mapas de Risco
1991*	52.711	-	-
1992*	53.102	-	-
2000	56.338	16.731	877.575,00
2008	66.205	19.941	887.587,00
2009	67.762	20.410	887.587,00
2010	69.356	24.543	887.587,00
2011	71.109	25.163	869.674,20
2012	72.906	25.799	869.674,20
2013	74.749	26.451	878.196,78
2014	76.638	27.120	878.196,78
2015	78.575	27.805	878.196,78

#### 5.4 Análise dos resultados

Com base nas estimativas de população e das áreas (**Tabela 22**), dos custos das obras atualizados (**Tabela 21**) e dos mapas apresentados, calculou-se:

- A redução das áreas classificadas como de suscetibilidade alta de deslizamento pelos mapas da GEO-RIO;

- A redução das áreas classificadas como de probabilidades altas de deslizamento pelos mapas de probabilidades propostos nesta pesquisa;
- A redução da quantidade de pessoas que habitam as áreas de suscetibilidade alta a deslizamentos (dados estimados pelos mapas da GEO-RIO);
- A redução da quantidade de pessoas que habitam as áreas de probabilidades altas de deslizamentos (dados estimados pelos mapas de probabilidades propostos neste trabalho);
- O custo da redução do risco (custo absoluto e o custo por m<sup>2</sup>);
- O custo das obras em valor presente;
- A relação custo-benefício das obras *per capita*;
- O custo estimado para indenizações de pessoas que foram beneficiadas pelas obras não havendo a remoção;

Esses resultados estão apresentados da **Tabela 23** à **Tabela 25**.

A **Tabela 23** apresenta a modificação das áreas com alta, média e baixa suscetibilidades de deslizamentos entre os anos de 2011 e 2015, levando em consideração os mapas de base empírica da GEO-RIO. A **Tabela 24** apresenta a modificação das áreas com alta, média e baixa probabilidades atualizadas de deslizamentos entre 2008 e 2014, levando em consideração o estudo probabilístico realizado. Os valores negativos nessas tabelas indicam que houve crescimento das áreas com alta suscetibilidade a deslizamento (**Tabela 23**) ou aumento nas áreas de alta probabilidade de deslizamentos (**Tabela 24**). A **Tabela 25** apresenta o custo *per capita* de cada processo estudado e uma comparação entre a relação custo-benefício do total das intervenções realizadas na Rocinha com o custo que seria necessário à remoção e indenização das famílias que seriam removidas das áreas de alta suscetibilidade a deslizamentos.

Tabela 23: Modificação das áreas de suscetibilidade alta a deslizamentos baseada nos mapas de base empírica da GEO-RIO

Ano	Suscetibilidade alta		Redução da área de suscetibilidade alta			Custo de redução da área de alta suscetibilidade	
	Área (m <sup>2</sup> )	População	Absoluta (m <sup>2</sup> )	Percentual	Risco em vidas	Absoluto	Relativo (custo/m <sup>2</sup> )
2011	387.380,0349	31.674,1346	-	-	-	-	-
2012	298.863,2125	25.054,1720	88.516,8224	22,85%	6.619,9626	R\$ 34.857.858,09	R\$ 393,7992
2013	124.512,9763	10.598,0758	174.350,2362	58,34%	14.456,0962	R\$ 0,00	R\$ 0,0000
2014	124.512,9763	10.865,9347	0,0000	0,00%	- 267,8589	R\$ 5.176.492,89	R\$ 0,0000
2015	120.646,7045	10.794,6362	3.866,2718	3,11%	71,2985	R\$ 5.176.492,89	R\$ 1.338,8849

Tabela 24: Modificação das áreas de alta probabilidade de deslizamentos baseada nos mapas de probabilidades atualizadas

Ano	Probabilidade alta		Redução da área de probabilidade alta			Custo de redução da área de Probabilidade alta	
	Área (m <sup>2</sup> )	População	Absoluta (m <sup>2</sup> )	Percentual	Risco em vidas	Absoluto	Relativo (custo/m <sup>2</sup> )
2008	234.285,0134	17.562,0402	-	-	-	-	-
2009	129.341,9171	9.874,4878	104.943,0963	44,79%	7.687,5524	R\$ 446.517,96	R\$ 4,2549
2010	91.596,6243	7.157,3552	37.745,2928	29,18%	2.717,1325	R\$ 773.677,76	R\$ 20,4973
2011	305.581,2140	24.985,8527	- 213.984,5897	- 233,62%	- 17.828,4975	R\$ 896.332,94	- R\$ 4,1888
2012	298.147,7586	24.994,1944	7.433,4554	2,43%	- 8,3417	R\$ 34.857.858,09	R\$ 4.689,3210
2013	362.038,7251	30.815,3733	- 63.890,9665	- 21,43%	- 5.821,1789	R\$ 0,00	R\$ 0,0000
2014	373.785,3516	32.619,3088	- 11.746,6265	- 3,24%	- 1.803,9355	R\$ 5.176.492,89	R\$ 0,0000

Tabela 25: Comparação de custos per capita

Processo	Valor atualizado 11/2016	Qnt de pessoas beneficiadas	Relação Custo- Benefício	Custo com aluguel social <i>per capita</i>	Custo com remoção de moradias <i>per capita</i>
Canaleta-1992	R\$ 1.563.950,19	202	-	-	
06-100597-2008	R\$ 446.517,96	3.678	R\$ 121,40	R\$ 3.614,46	R\$ 4.879,52
06-100934-2010*	R\$ 773.677,76	1.115	R\$ 693,77	R\$ 4.246,44	R\$ 5.732,69
06-102343-2010	R\$ 896.332,94	3.000	R\$ 298,78	R\$ 4.246,44	R\$ 5.732,69
06-101815-2011	R\$ 12.385.569,26	2.000	R\$ 6.192,78	R\$ 4.246,44	R\$ 5.732,69
06-101816-2011	R\$ 7.761.342,80	1.500	R\$ 5.174,23	R\$ 4.246,44	R\$ 5.732,69
06-101817-2011	R\$ 13.180.869,88	3.500	R\$ 3.765,96	R\$ 4.246,44	R\$ 5.732,69
06-101171-2012	R\$ 1.530.076,15	3.500	R\$ 437,16	R\$ 4.246,44	R\$ 5.732,69
06-101286-2013	R\$ 5.176.492,89	3.500	R\$ 1.479,00	R\$ 4.246,44	R\$ 5.732,69
TOTAIS	R\$ 43.714.829,83	21.995	R\$ 25.905,42	R\$ 33.339,53	R\$ 45.008,36
*Custo estimado pelo método da GEO-RIO				R\$ 78.347,89	
				Comparador	23,18%

A análise dos mapas de suscetibilidade da GEO-RIO apresenta uma redução média do perfil de risco da Rocinha de 26,76% entre 2011 e 2015. Já a análise considerando o estudo probabilístico apresentou um aumento médio das áreas de probabilidade alta de deslizamentos de 30,31%. O custo das obras no ano de 2013 foi considerado nulo, pois não foram finalizadas obras nesse ano. Considerou-se que os resultados apresentados pelo estudo probabilístico mostram-se mais precisos, pois levam em consideração todas as ocorrências históricas da Rocinha, além de não ser diretamente influenciado pela subjetividade do profissional que gera o mapa. A subjetividade contida no estudo probabilístico está presente apenas na classificação do risco presente nos laudos de vistoria, fator imprescindível para a correta geração dos mapas de probabilidades atualizadas.

Analisando-se a **Tabela 25**, conclui-se que o custo *per capita* das obras ao longo do período analisado representou apenas 23,18% do custo *per capita* para a remoção e indenização das famílias que habitavam as áreas de alta suscetibilidade a deslizamentos, o que tornou as obras economicamente viáveis em relação à remoção total das famílias que foram diretamente beneficiadas pelas intervenções. A quantidade de pessoas beneficiadas diretamente pelas obras consta nos processos arquivados da GEO-RIO, como já foi apresentado na **Tabela 21**.

Como a área da Rocinha somente foi delimitada no ano de 1993 através da Lei 1995, os dados de área, densidade demográfica e população referentes aos anos anteriores a 1993 não foram considerados numericamente nas análises. Os mapas de 1991 e 1992 apresentados têm por objetivo apenas uma análise visual da redução da suscetibilidade ao deslizamento. Analisando a Carta de setorização de risco da Rocinha de janeiro de 1992, nota-se claramente algumas inconsistências quanto à definição e delimitação das áreas alta, média e baixa suscetibilidade, como por exemplo, na região do Laboriaux. Mesmo sendo densamente povoada, altamente escarpada e sem nenhuma obra de estabilização, ela foi considerada de baixo risco. Este fato mostra a elevada imprecisão, subjetividade e deficiência na classificação de risco concebida para esta carta à época de sua criação, mostrando o lado negativo da elaboração de mapas simplesmente baseados na experiência do vistoriador.

Deve-se ressaltar que os quantitativos populacionais apresentados na **Tabela 23** e na **Tabela 24** referem-se à estimativa da quantidade total de pessoas que habitam em todas as áreas consideradas de alta suscetibilidade a deslizamentos (**Tabela 23**) ou de probabilidades altas de deslizamentos da Rocinha (**Tabela 24**) e não ao risco real em vidas. A obtenção deste número é de grande importância para estudos e estimativas do poder público para elaboração de políticas públicas de mitigação e eliminação dos riscos.

Vale ressaltar também que o risco real deve levar em consideração a vulnerabilidade real dos elementos em risco dessas regiões consideradas de alta suscetibilidade ou probabilidade alta de deslizamentos. Por exemplo, mesmo que um indivíduo habite uma região de alta suscetibilidade o risco pode não ser necessariamente considerado alto, dependendo de sua vulnerabilidade. Cabe ressaltar, entretanto, que o estudo de vulnerabilidade não foi contemplado no escopo desta dissertação.

Nos gráficos da **Figura 97** e da **Figura 98** são apresentadas, respectivamente, a evolução da quantidade de habitantes em áreas de probabilidades altas de deslizamentos e a evolução dessas mesmas áreas ao longo do tempo. Analisando esses gráficos, constata-se que entre os anos de 2008 e 2010 houve redução das áreas de probabilidades altas de deslizamentos e aumento das áreas de probabilidades médias de deslizamentos, claramente proporcionado pelas obras realizadas até o ano de 2010. A partir do ano de 2010, novamente há o crescimento da população em áreas de alta probabilidade de deslizamentos, com uma taxa de crescimento semelhante ao crescimento da população geral da Rocinha. Isto parece apontar para um fato comum nas comunidades carentes do Rio de Janeiro, onde mesmo após remoções e obras de estabilização, muitos moradores acabam voltando a ocupar as áreas com probabilidades altas de deslizamentos, locais de onde foram removidos, e outros ainda ampliam suas moradias com a construção de novos pavimentos, resultando no aumento das populações em áreas de alta probabilidade de deslizamentos, por meio do crescimento vertical, sendo este mais um comportamento observado no crescimento das comunidades carentes do Rio de Janeiro.

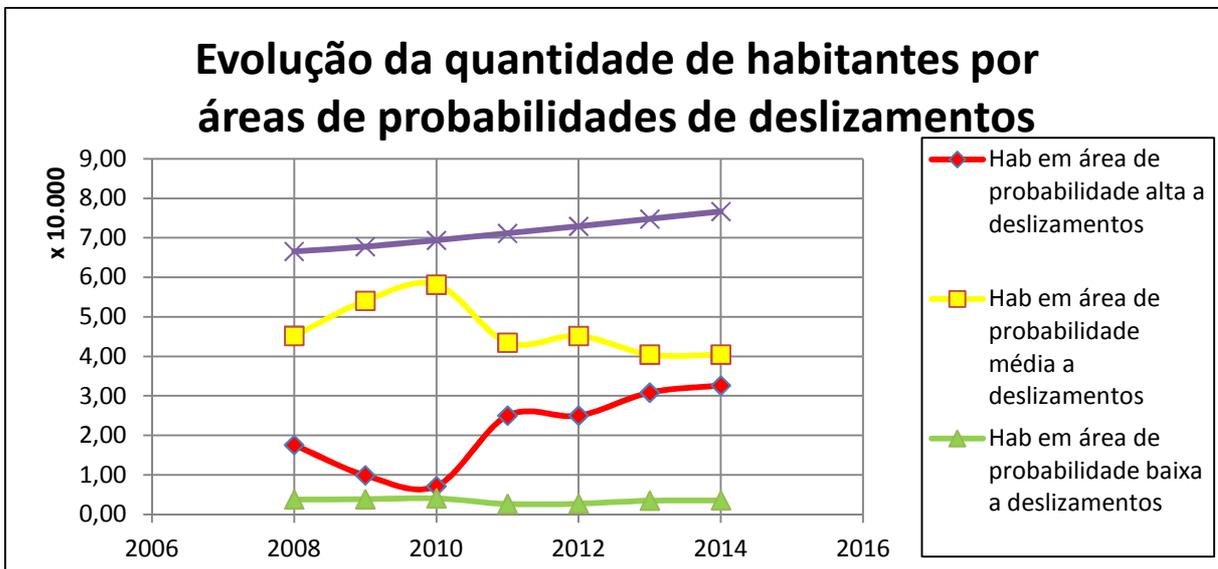


Figura 97: Evolução da quantidade de habitantes por áreas de probabilidades alta, média e baixa de deslizamentos

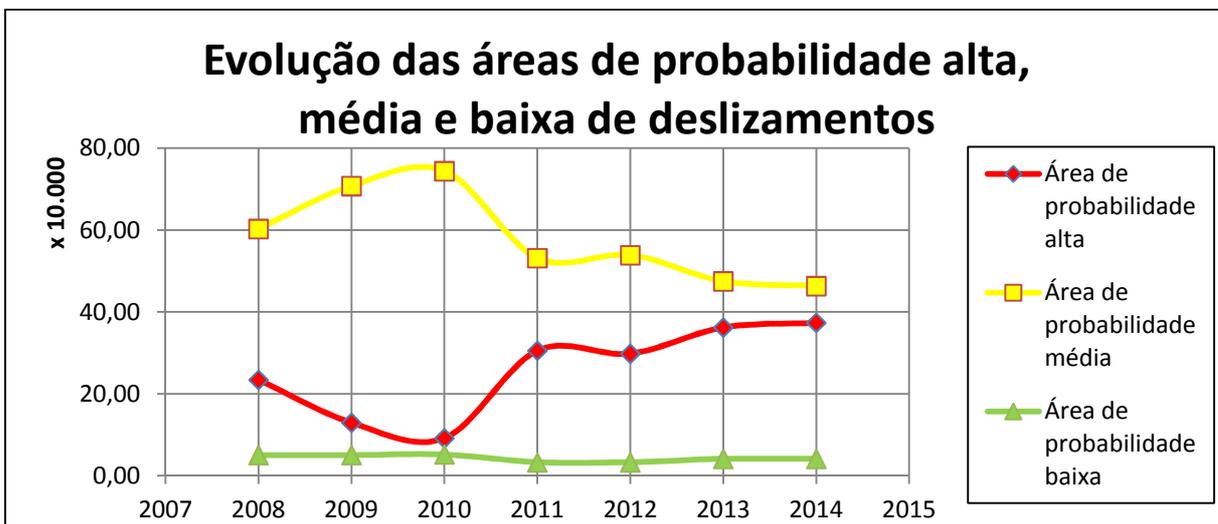


Figura 98: Modificação das zonas de probabilidade alta, média e baixa de deslizamentos ao longo do tempo

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 6.1 Conclusões

O principal objetivo deste trabalho foi analisar o efeito temporal das obras e da ocupação antrópica na modificação do risco a movimentos de massa na comunidade da Rocinha. Para isso buscou-se nos arquivos disponibilizados pela GEO-RIO as principais obras que pudessem gerar algum impacto significativo nesses perfis. Com o auxílio de profissionais experientes da GEO-RIO e com a utilização do programa ArcGis, foi possível elaborar mapas de probabilidades atualizadas a deslizamentos (com base nos laudos de vistoria levantados desde o ano de 1973) para a Rocinha, utilizando a distribuição beta. Constatou-se que as principais obras na comunidade foram executadas no ano de 2008 e também a partir do ano de 2010, após as grandes chuvas que atingiram a cidade do Rio de Janeiro.

A partir da aplicação do teorema de Bayes e devido ao fato de as distribuições binomial e beta serem conjugadas, mostrou-se nesta dissertação que a distribuição beta permite calcular as probabilidades de deslizamento de maneira simples, fornecendo apenas o número de eventos classificados em cada nível de risco, seja baixo, médio ou alto. Isto é realizado através de apenas 2 parâmetros ( $\alpha$ : número de sucessos; e,  $\beta$ : número de insucessos). Portanto, a técnica apresentada permite criar mapas de probabilidades atualizadas de deslizamentos utilizando apenas os dados dos laudos, diminuindo significativamente os esforços com visitas adicionais aos locais de deslizamentos, visto que muitos desses locais são de difícil acesso e, em alguns deles, embora haja a presença das UPPs, ainda há presença do poder paralelo. Afinal, os laudos de ocorrência já apresentam todas as informações necessárias ao mapeamento de suscetibilidade de uma região. Dessa forma, pode-se diminuir a influência da subjetividade da experiência do profissional que elaborará o mapa.

Analisando-se todos os laudos utilizados nesta pesquisa, observou-se que houve a prevalência de ocorrências classificadas pela GEO-RIO como de risco alto até o ano de 2009. A partir do ano de 2010, as ocorrências de risco médio

prevalecem na Rocinha, mesmo após os eventos catastróficos resultantes das chuvas desse ano. Essa modificação decorre claramente da ação das obras realizadas entre os anos de 2008 e 2010 pela Fundação GEO-RIO.

A análise geral dos mapas de probabilidades atualizadas de deslizamentos porpostos nesta dissertação e do crescimento populacional da região constatou que os investimentos destinados à Rocinha proporcionaram a redução direta das áreas de probabilidade alta a deslizamentos entre os anos de 2008 e 2010. Contudo, a partir desse ano, a quantidade de pessoas expostas em áreas de alta probabilidade de deslizamentos aumentou em uma taxa de crescimento semelhante à taxa de crescimento populacional da Rocinha. Isto parece apontar para dois fatos comuns presentes em comunidades carentes do Rio de Janeiro, a saber: o retorno de pessoas às áreas de alta probabilidade de deslizamentos da qual haviam sido removidas, e o crescimento vertical das comunidades por meio da construção de pequenos edifícios nas áreas de alta probabilidade de deslizamentos. Esses pequenos edifícios vêm substituindo os chamados “puxadinhos” que existiam em décadas passadas. Este crescimento de áreas com alta probabilidade de deslizamentos foi de 30,31%. Constatou-se também que o custo per capita das obras representou 23,18% do custo estimado que seria necessário à remoção e à indenização das famílias que foram diretamente beneficiadas pelas intervenções, apontando a viabilidade econômica dos investimentos nas intervenções.

Logo conclui-se que a efetiva redução das áreas de alta probabilidade de deslizamentos perpassa por questões que vão além da ação técnica. A engenharia tem um papel fundamental na ação direta para alertas, evacuações, remoções, e realização obras de estabilização. Contudo, se faz igualmente necessária uma intervenção maior, de cunho social, agindo em parceria com as ações técnicas, para conscientização das populações expostas ao risco, bem como no devido assentamento dessas populações.

Conclui-se também que a metodologia proposta mostra-se satisfatória e enfatiza-se que o presente trabalho permite uma análise mais realista das possibilidades de movimentos de massa, valendo-se não somente da experiência

dos profissionais envolvidos nas vistorias e elaboração de mapas, mas também no histórico de deslizamentos locais. Estes fatos permitem a elaboração de melhores políticas públicas de redução de riscos a desastres relacionados a movimentos de massa.

## **6.2 Sugestões para trabalhos futuros**

Como sugestão para trabalhos futuros apresenta-se:

- Um estudo aprofundado sobre o IQR (Índice Quantitativo de Risco) para todos os setores da Rocinha, a partir dos dados de obra já levantados nesta pesquisa, a fim de aprimorar a técnica de estimativa de risco, como também prevê a GEO-RIO I (2014).
- Um estudo sobre a aplicabilidade dos estudos de Chaves (2016) para a comunidade da Rocinha, para a geração de um documento conjunto de mapas de probabilidades atualizadas de deslizamentos com os limiares de chuva vs escorregamento da Rocinha.
- Um o estudo para a determinação de técnicas de estimativa indireta de vulnerabilidade para a comunidade carente da Rocinha.

## REFERÊNCIAS

Augusto Filho, O. (1992). Caracterização Geológica-geotécnica voltada à Estabilização de Encostas: Uma proposta Metodológica. In Conferência Brasileira Sobre Estabilidade de Encostas, Rio de Janeiro. ABMS-ABGE-ISSMGE, Vol. 2, pp.721-733.

Aurélio. (24 de 09 de 2016). *Dicionário do Aurélio Online - Significado de fenômeno*. Acesso em 01 de 12 de 2016, disponível em Dicionário do Aurélio: <https://dicionariodoaurelio.com/fenomeno>

Chaves, F. L. (2016). Proposta de correlação chuva vs escorregamento. 122 p. *Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)*. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil: Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Dereczynski et al, C. (2017). Chuvas Extremas no Município do Rio de Janeiro: Histórico a partir do Século XIX. In: I. UFRJ, *Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ* (Vols. 40 - 2 / 2017, pp. 17-30). Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil: Instituto de Geociências da UFRJ.

DLF, GEO-RIO. (1977). Laudo de ocorrência 22/77. Diretoria de Fiscalização e Obras.

D'Orsi et al, R. N. (2016). *Os 50 maiores acidentes geológico-geotécnicos na cidade do Rio de Janeiro entre 1966 e 2016*. Rio de Janeiro: Fundação Geo-Rio.

FEC-UNICAMP. (2007). *Mecânica dos Solos*. Acesso em 10 de 12 de 2017, disponível em Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo: <http://www.fec.unicamp.br/~pjra/mecsolos.html>

Fernandes, M. (1998). Geoeologia do maciço da Tijuca-RJ: uma abordagem Geo-Hidroecológica. Dissertação de mestrado, Departamento de Geografia, IGEO/UFRJ, Rio de Janeiro, 141p.

Folha de São Paulo. (8 de Abril de 2010). *Dois corpos são encontrados na favela da Rocinha (RJ); total de mortos chega a 153*. Acesso em 31 de Julho de 2017, disponível em Bol Notícias: <https://noticias.bol.uol.com.br/brasil/2010/04/08/dois-corpos-sao-encontrados-na-favela-da-rocinha-rj-total-de-mortos-chega-a-153.jhtm>

GEO-RIO. (Junho de 1991). Carta de Setorização de Risco. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil: Fundação Instituto de Geotécnica do Rio de Janeiro (GEO-RIO).

GEO-RIO. (Janeiro de 1992). Carta de Setorização de Risco. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil: Fundação Instituto de Geotécnica do Rio de Janeiro.

GEO-RIO. (2008 de Março de 2008). Processo 06-100597-2008. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil: Fundação Instituto de Geotécnica do Rio de Janeiro.

GEO-RIO. (2015). Inventário de Risco - Rocinha. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil: Fundação Instituto de Geotécnica do Rio de Janeiro.

GEO-RIO. (2016). *Catálogo de Itens SCO-RIO*. Acesso em 31 de Janeiro de 2017, disponível em Sistema de Custos para Obras e Serviços de Engenharia: <http://www2.rio.rj.gov.br/sco/>

GEO-RIO I. (2010). Processo 06-100934.2010. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil: Fundação Instituto de Geotécnica do Rio de Janeiro.

GEO-RIO I. (2011). Processo 06-101815-2011. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil: Fundação Instituto de Geotécnica do Rio de Janeiro.

GEO-RIO I. (2012). Processo 06-101171-2012. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil: Fundação Instituto de Geotécnica do Rio de Janeiro.

GEO-RIO I. (2013). Processo 06-101286-2013. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil: Fundação Instituto de Geotécnica do Rio de Janeiro.

GEO-RIO I. (2014). *Manual Técnico de Encostas I* (2014 ed., Vol. I). Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil: Fundação GEO-RIO.

GEO-RIO II. (2010). Processo 06-102343-2010. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil: Fundação Instituto de Geotécnica do Rio de Janeiro.

GEO-RIO II. (2011). Processo 06-101816-2011. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil: Fundação Instituto de Geotécnica do Rio de Janeiro.

GEO-RIO II. (2012). Inventário de Risco - Rocinha. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil: Fundação Instituto de Geotécnica do Rio de Janeiro.

GEO-RIO II. (2013). Inventário de Risco - Rocinha. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil: Fundação Instituto de Geotécnica do Rio de Janeiro.

GEO-RIO II. (2014). *Manual Técnico de Encostas II* (Vol. II). Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil: Fundação GEO-RIO.

GEO-RIO III. (2011). Processo 06-101817-2011. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil: Fundação Instituto de Geotécnica do Rio de Janeiro.

GEO-RIO III. (2014). Inventário de Risco - Rocinha. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil: Fundação Instituto de Geotécnica do Rio de Janeiro.

GEO-RIO IV. (2011). Inventário de Risco - Rocinha. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil: Fundação Instituto de Geotécnica do Rio de Janeiro.

Gerscovich, D. M. (2012). *Estabilidade de Taludes. Oficina de Textos*. São Paulo, São Paulo, Brasil: Oficina de textos.

Google Earth. (2016). Acesso em 31 de Julho de 2017, disponível em Google Earth.

Google Maps. (2017). Acesso em 19 de Agosto de 2017, disponível em Google: <https://www.google.com.br/maps/place/Rocinha,+Rio+de+Janeiro+-+State+of+Rio+de+Janeiro/@-22.9885929,-43.2542361,3975m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x9bd427adbbdaeb:0x4cf95af6dc0096b9!8m2!3d-22.9879841!4d-43.2479825>

Governo do Estado do Rio de Janeiro. (09 de Janeiro de 2012). *DECRETO Nº 43.415 DE 09 DE JANEIRO DE 2012 - APROVA AS DIRETRIZES PARA A*

*DEMOLIÇÃO DE EDIFICAÇÕES E REALOCAÇÃO DE MORADORES EM ASSENTAMENTOS OU BAIRROS POPULARES E DÁ OUTRAS PROVIDÊNCIAS.*

Acesso em 04 de Julho de 2017, disponível em Jusbrasil - Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro (DOERJ) - Página 2 da Poder Executivo do Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro (DOERJ) de 11 de Janeiro de 2012: <https://www.jusbrasil.com.br/diarios/33524491/doerj-poder-executivo-11-01-2012-pg-2>

Guidicini, G., & Nieble, C. (1984). Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação. Edgard Blücher, São Paulo, 1 vol. 50-51.

Harr, M. E. (1987). Reliability-Based Design in Civil Engineering. United States of America: McGraw-Hill, Inc.

Humantech Gestão do Conhecimento. (13 de Julho de 2009). *Conceito de Inflação: O que é e como se forma?* Acesso em 31 de Julho de 2017, disponível em O Economista: <https://www.oeconomista.com.br/inflacao-o-que-e-e-como-se-forma/>

Hutchinson, J. (1968). "Mass movement". In: encyclopedia of Geomorphology. E. Fairbridge, R.W.(2ed). Reinhold Book Co. New York.

IBGE. (1991). *Censos Demográficos 1991*. Acesso em 14 de Julho de 2017, disponível em Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: [http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censodem/default\\_censo1991.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censodem/default_censo1991.shtm)

IBGE. (2000). *Censo Demográfico 2000: Características da População e dos Domicílios: Resultados do universo*. Acesso em 14 de Julho de 2017, disponível em Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2000/>

IBGE. (2010). *Censo 2010 - Resultados*. Acesso em 14 de Julho de 2017, disponível em Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: <http://censo2010.ibge.gov.br/resultados.html>

Inpe. (2016). Acesso em 01 de 12 de 2016, disponível em Secretaria da Educação do Paraná: <http://www.geografia.seed.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=234>

Lacerda, W. A., & Rosa, L. P. (1997). *Tormentas Cariocas*. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil: COPPE/UFRJ.

Lima, J. (2017). Elaboração de Mapa de Susceptibilidade ao Risco Geotécnico na Comunidade da Rocinha com utilização de Modelo Probabilístico e Ferramenta Geoestatística. 261 p. Tese (*Doutorado em Engenharia Civil*). Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil: Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Lucena, F. (24 de Janeiro de 2016). *História da Rocinha*. Acesso em 13 de Novembro de 2016, disponível em Diário do Rio de Janeiro: <http://diariodorio.com/historia-da-rocinha/>

Marshak, S. (2011). *Earth: Portrait of a Planet. Quarta Edição*. Universidade de Illinois. W. W Norton & Company, Inc.

Meyer, P. (1983). *Probabilidade: aplicações à estatística* (2ª ed.). (Ruy de C.B. Lourenço Filho, Trad.) Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora.

NASA, Landsat 5. (1984). *Evolução Urbana da Região Metropolitana do Rio de Janeiro - 1984 a 2016*. (Prefeitura do Rio de Janeiro, GEO-RIO) Acesso em 14 de Julho de 2017, disponível em Portal Geo - SIURB (Sistema Municipal de Informações Urbanas): <http://portalgeo.rio.rj.gov.br/comparario/>

NASA, Landsat 8. (26 de Agosto de 2016). *Evolução Urbana da Região Metropolitana do Rio de Janeiro - 1984 a 2016*. (Prefeitura do Rio de Janeiro, GEO-RIO) Acesso em 14 de Julho de 2017, disponível em Portal Geo - SIURB (Secretaria Municipal de Informações Urbanas): <http://portalgeo.rio.rj.gov.br/comparario/>

Neyman, J. (1954). *University of California Publications in Statistics, Vol. I, University of California Press*.

O Globo. (07 de Abril de 2010). *Chuva no Rio: após deslizamentos, Paes anuncia remoção de comunidades em Santa Teresa e na Rocinha*. Acesso em 04 de Julho de 2017, disponível em O Globo: <https://oglobo.globo.com/rio/chuva-no-rio-apos-deslizamentos-paes-anuncia-remocao-de-comunidades-em-santa-teresa-na-rocinha-3027921>

O Globo. (2017). *Em foco: Enchentes que arrasaram o Rio*. Acesso em 4 de Julho de 2017, disponível em Acervo O Globo: <http://acervo.oglobo.globo.com/fotogalerias/enchentes-que-arrasaram-rio-9362662>

Oliveira. (2008). *Condicionantes territoriais para a elaboração de estimativas populacionais para unidades submunicipais: considerações a partir do caso do Rio de Janeiro - Coleção Estudos Cariocas - Nº 20080703 - Julho - 2008*. Secretaria Municipal de Urbanismo - Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, Instituto Municipal de Urbanismo Pereira Passos. Rio de Janeiro: IPP/Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro.

Oliveira. (2014). *Engenharia de Custos (Apostila)*. Rio de Janeiro.

Pacheco, M. P. (2016). *Estudo dirigido em Métodos Probabilísticos em Geotecnia (Notas de aula)*. Rio de Janeiro: Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Portal EBC. (9 de Janeiro de 2016). *"Pior enchente" do Rio de Janeiro completa 50 anos*. Acesso em 4 de Julho de 2017, disponível em Empresa Brasil de Comunicação: <http://www.ebc.com.br/noticias/meio-ambiente/2015/12/pior-enchente-do-rio-de-janeiro-completa-50-anos>

Portal R7. (27 de Maio de 2016). *População da Rocinha já é maior*. Acesso em 18 de Agosto de 2017, disponível em R7.com: <http://noticias.r7.com/rio-de-janeiro/noticias/populacao-da-rocinha-ja-e-maior-que-a-de-92-das-cidades-brasileiras-20110521.html>

Rio Then . (30 de Junho de 2014). Acesso em 13 de Novembro de 2016, disponível em Rio Then - Digging through Rio's Past:

<https://riothem.files.wordpress.com/2014/03/screen-shot-2014-06-30-at-7-50-54-pm.png>

Rocinha.org. (14 de Março de 2011). *As várias fases da favela da Rocinha*. Acesso em 13 de Novembro de 2016, disponível em Rocinha.org - O Portal Oficial da Rocinha: <http://rocinha.org/rocinhanarede/view.asp?id=181>

Sales, L. S. (2016). Contribuição aos estudos de correlação chuva vs escorregamentos - aplicação às ocorrências da comunidade da Formiga no ano de 2010. 140 p. *Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)*. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil: Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Santos, A. (2004). A grande barreira da Serra do Mar: Trilha dos imigrantes. O Nome da Rosa, São Paulo, 39-45.

SEASDH. (Fevereiro de 2016). *Desenvolvimento social - aluguel social*. Acesso em 16 de Julho de 2017, disponível em Secretaria de Estdo de Assistência Social e Direitos Humanos: <http://www.rj.gov.br/web/seasdh/exibeconteudo?article-id=1519686>

Sefaz. (20 de Julho de 2011). *Decreto Nº 42.406/2010 - Regulamenta os procedimentos para a concessão, fiscalização e supervisão do aluguel social no estado do Rio de Janeiro*. Acesso em 04 de Julho de 2017, disponível em Secretaria de Fazenda do Estado do Rio de Janeiro, Governo do Estado do Rio de Janeiro: [http://www.fazenda.rj.gov.br/sefaz/content/conn/UCMServer/path/Contribution%20Folders/site\\_fazenda/legislacao/financeira/basica/decretos/2011/43.091.html](http://www.fazenda.rj.gov.br/sefaz/content/conn/UCMServer/path/Contribution%20Folders/site_fazenda/legislacao/financeira/basica/decretos/2011/43.091.html)

Terzaghi, K. (1928). Landslides in Central América. Technol. Ver., 31: 12-16.

Terzaghi, K. (1950). Mechanism of Landslides. In: S. Paige (Editor), Application of Geology to Engineering Practice (Berkey Volume). Geological Society of America, Washington, D. C., pp. 83-123.

Tominaga et al, L. K. (2009). *Desastres naturais - conhecer para prevenir*. São Paulo: Instituto Geológico de São Paulo.

UN-ISRD. (2004). *International Strategy for Disaster Reduction. 2004. Living with Risk. A global review of* (2004 ed., Vol. I). Geneva, Switzerland: United Nations.

UPP Rocinha. (20 de Setembro de 2012). *UPP Rocinha - Informações*. Acesso em 08 de Abril de 2016, disponível em UPP - Unidade de Polícia Pacificadora: <http://www.upprj.com/index.php/informacao/informacao-selecionado/ficha-tecnica-upp-rocinha/Rocinha>

USP-Veduca. (2016). *Curso de Probabilidade e Estatística*. Acesso em 2016, disponível em Veduca: <http://veduca.org/p/probabilidade-e-estatistica>

Vargas, M. (1981). *Introdução à Mecânica dos Solos*. New York: John Wiley & Sons.

Varnes. (1978). Slope Movement Types and Processes. *Landslides Analysis and Control*, WASHINGTON , D. C., National Academy of Sciences, pp.11-33.

Varnes, D. (1958). Landslide types and processes, in Eckel, E., ed., *Landslides and Engineering Practice*: Washington, D. C., Highway Research Board Special Report 29, p. 20-47.